



ISSN 1728-7901

Индекс 74231

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық
университеті

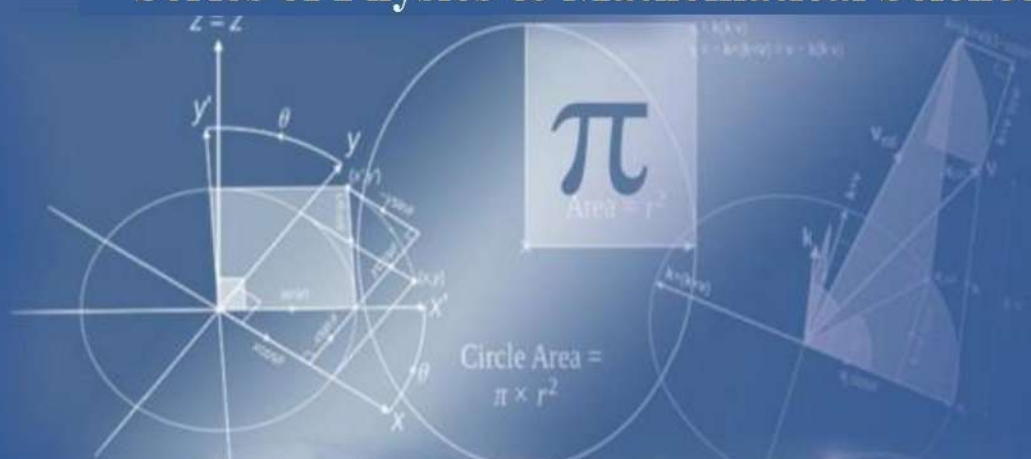
Казахский национальный педагогический
университет имени Абая

ЖАБАРШЫ ВЕСТНИК BULLETIN

«Физика-математика ғылымдары» сериясы

серия «Физико-математические науки»

Series of Physics & Mathematical Sciences



Circle Area =
 $\pi \times r^2$

$$E=mc^2$$

№ 3(79)

2022

ISSN 1728-7901

Индекс 74231

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

ХАБАРШЫ

«Физика-математика ғылымдары» сериясы
Серия «Физико-математические науки»
Series of Physics & Mathematical Sciences
№3(79)

Алматы, 2022

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті

ХАБАРШЫ
«Физика-математика ғылымдары»
сериясы №3 (79), 2022 ж.

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

Редакция алқасы:

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

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

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

© Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, 2022

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

Басуға 27.09.2022 қол қойылды
Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 40,125 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

Абдманапова П.Б., Темешева С.М., Жумагазықызы А. О применении семейства краевых задач для систем интегро- дифференциальных уравнений.....	7
Айтжанов С.Е., Қасымбекова А.С., Жұмағұл Ғ.О. Локалдік емес шекаралық шартты псевдогиперболалық тендеудің шешімділігі.....	14
Игенберлина А.Е., Кеулимжаева Ж.А. Двоичный интегральный модуль непрерывности и наилучшие приближения функции многих переменных полиномами Уолша	24
Прімхан Н.Т., Сыздыкова А.М., Шайхова Г.Н. Екі өлшемді киральды сыздықты емес Шредингер тендеуінің нақты шешімдері	32
Tutkusheva Zh.S. Application of the method of dividing a segment in half in global optimization based on an auxiliary function	39
Shakir A. Blow-up of solutions of the integro-differential Kelvin-Voight equation	46
Shaldykova B.A., Akhmanova D.M., Shamatayeva N.K., Amangeldiev M.D. Boundary value problem for a loaded heat conductivity operator ..	53
ЕСЕПТЕУ МАТЕМАТИКАСЫ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ	
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	
COMPUTER MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING	
Асилбеков Б.К., Акашева Ж.К., Болысбек Д.Ә., А.Б. Кульджабеков Численное исследование растворения карбонатной породы: влияние масштаба области.....	63
Berdyshev A.S., Alov R.D., Akbarova A.A., Abdiramanov Zh.A. Numerical solution of a mixed problem for a two-dimensional system of Saint-Venant equations.....	73
ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS	
Aizhulov D.Ye., Tungatarova M.S. Comparison of geostatistical methods for modeling infiltration type uranium deposits.....	83

Казахский национальный педагогический университет имени Абая

ВЕСТНИК
Серия «Физико-математические науки»
№3 (79), 2022 г.

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

© Казахский национальный педагогический университет им. Абая, 2022

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

Подписано в печать 27.09.2022.
Формат 60x84 1/8. Об. 40,125 уч.-изд.л.
Тираж 300 экз. Заказ 621.

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

Shayakhmetov N.M., Kurmanseit M.B., Alibayeva K.A.
Gravity effect on well screens alignment during the in-situ leaching ... 91

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

Абдуалиева Р.Е., Сеитова С.М.
Математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттілігін қалыптастыруда кейс технологиясын қолдануға қойылатын талаптар 99

Абылкасымова А.Е., Каппасова С.Е., Жадраева Л.У.
Мектеп оқушыларының математикалық сауаттылығын дискурстар көмегімен дамыту 110

Бекбауова А.У., Талипова М.Ж.
Математикалық білім беруде жаңа әдістерді қолдану 118

Қалдан С.Қ., Касенов С.Е., Рахмет Ш.Т.,
Сарсенбаева А.Н., Иманбаев Б.М.
Иррационалдық теңдеулер мен теңсіздіктер бойынша деңгейлік тапсырмаларды құрастыру жолдары 126

Оспанова Н.Б., Пак Н.И., Камалова Г.Б.
О подготовке будущего учителя математики к реализации STEAM-подхода в образовании 134

ИНФОРМАТИКА

COMPUTER SCIENCE

Aitim A.K., Satybaldiyeva R.Zh.
Linguistic ontology as means of modeling of a coherent text 143

Aitim A.K., Sembina G.K.
Development of systems for effective estimation of credit scores 150

Адамова А.Д., Жукабаева Т.К.
Реализация построения карты помещения с помощью алгоритма SLAM 157

Есмагамбетова М.М., Керibaева Т., Кошекoв К.Т.,
Алибеккызы К., Бельгинова С.
Нечеткая модель оценки качества мониторинга природных и техногенных угроз 164

Zhassuzak M., Ataniyazova A., Buribayev Zh.,
Dauletiya D., Amirgaliyeva Zh.
Tomato disease recognition based on optimized convolutional neural networks..... 179

Казбекова Г.Н., Исмагулова Ж.С., Изтлеуова Г.К.
SQL reporting қызметінің көмегімен ақпаратты талдау мүмкіндіктері 188

Кожирбаев Ж.М., Есенбаев Ж.А.
Интегральный (end-to-end) синтез речи для казахского языка . 196

Омаров Б.С., Базаркулова И.Е.
Терең оқыту көмегімен пневмонияны анықтау моделін құру .. 204

Омарова Г.С., Старовойтов В.В.,
Айтқожа Ж.Ж., Серикбаева С.К.
Комбинация адаптивного выравнивания гистограммы с ограничением контрастности и метода гамма-коррекции для улучшения медицинского изображения 215

Abai Kazakh National
Pedagogical University

BULLETIN
Ser. Physics & Mathematical Sciences

№3 (79), 2022.

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

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

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

Editorial board:

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

© Abai Kazakh National Pedagogical
University, 2022

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

Signed to print 27/09/2022
Format 60x84 1/8. Vol. 40, 125 p.
Printing 300 copies. Order 621.

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

Сапакова С.З.

Алматы қаласының жылжымайтын мүлік нарығында
машиналық оқыту әдістерін қолдану 228

Сейтбатталов Ж.Е., Атанов С.К., Қызырқанов А.Е.

Автоматизированная система мониторинга показателей
датчиков на основе граничных вычислений 238

Сейтбатталов Ж.Е., Атанов С.К., Молдамурат Х.

Интеллектуальная система распознавания государственных
номеров автомобилей на основе граничных вычислений 245

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.
БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ.
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE.
INFORMATIZATION OF EDUCATION

Бектемесов М.А., Исабаева Д.Н.

Эффективные технологии контроля и оценки учебных достижений
обучающихся для соблюдения академической честности 253

Бидайбеков Е.Ы., Гриншкун А.В., Шекербекова Ш.Т.,
Ревшенова М., Жабаев Е.Х.

Білім беруде толықтырылған виртуалдылық технологиясын
іске асыру мүмкіндіктері 264

Бидайбеков Е.Ы., Гриншкун А.В., Ошанова Н.Т.

Иммерсивті білім беру технологиялары жүйесіндегі
толықтырылған виртуалдылықтың орны 271

Бостанов Б.Ғ., Суранчиева З.Т., Тілеубай С.Ш.

Болашақ информатика мұғалімдерін оқытуда дискретті
математика элементтерін қолдану 278

Буканова А.К., Пак Н.И.

Болашақ информатика мұғалімдеріне «информатика тарихы»
курсын оқытудың тиімділігін эксперименттік тексеру 287

Ильясова М.Ж.

Педагог кадрлардың біліктілігін арттыру шеңберінде бағалау
құралының валидтілігі мен сенімділігі 296

Қиынова Ж.Қ., Ошанова Н.Т., Құрманқұлова Ә.Қ.

Орыс тілі мен әдебиеті пәнін оқытуда қолданылатын
цифрлық білім беру ресурстарының ерекшеліктері 303

Турганбаева А.Р., Тұрғантай А.Ә.

Электрондық портфолио болашақ мұғалімдердің
құзыреттілігін қалыптастырудың құралы ретінде 311

МАТЕМАТИКА

MATHEMATICS

МРНТИ 27.31.15, 27.31.21, 27.31.44
УДК 517.927.4, 517.912

<https://doi.org/10.51889/5128.2022.50.64.001>

П.Б. Абдимананова^{1,3*}, С.М. Темешева^{1,2}, А. Жумагазықызы¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

²Институт математики и математического моделирования, г.Алматы, Казахстан

³Алматинский технологический университет, г.Алматы, Казахстан

*e-mail: perizat74@mail.ru

О ПРИМЕНЕНИИ СЕМЕЙСТВА КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ СИСТЕМ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Аннотация

В статье рассматривается нелинейная нелокальная краевая задача для системы гиперболических уравнений. Путем введения новых неизвестных функций нелинейная нелокальная краевая задача для системы гиперболических уравнений сводится к эквивалентной краевой задаче для интегро-дифференциального уравнения в частных производных. Краевая задача, содержащая семейство задач Коши для системы интегро-дифференциальных уравнений Фредгольма с параметром и неизвестной функции исследуется с помощью метода введения дополнительных функциональных параметров. Предложен модифицированный алгоритм метода параметризации Д.С. Джумабаева нахождения решения семейства краевых задач. Применение метода параметризации приводит к возникновению системы нелинейных неявных интегральных уравнений типа Фредгольма относительно параметров. Для решения этой системы использованы итерационные методы. Установлены достаточные условия существования изолированного решения рассматриваемой нелинейной нелокальной краевой задачи для системы гиперболических уравнений.

Ключевые слова: система гиперболических уравнений, нелинейная краевая задача, нелокальная краевая задача, семейство краевых задач, интегро-дифференциальное уравнение, алгоритм, достаточные условия, изолированное решение.

Аңдатпа

П.Б. Абдимананова^{1,3}, С.М. Темешева^{1,2}, А. Жумагазықызы¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы қ., Қазақстан

³Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ИНТЕГРАЛДЫҚ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІ ҮШІН ШЕТТІК ЕСЕПТЕР ӘУЛЕТІНІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ ТУРАЛЫ

Ұсынылған мақалада гиперболалық тендеулер жүйесі үшін сызықтық емес бейлокал шеттік есеп қарастырылады. Жаңа белгісіз функция енгізу арқылы гиперболалық тендеулер жүйесі үшін сызықтық емес бейлокал шеттік есебі дербес туындылы интегралдық-дифференциалдық тендеулер үшін эквивалентті шеттік есепке келтіріледі. Параметрлі және белгісіз функциясы бар Фредгольм интегро-дифференциалдық тендеулер жүйесіне арналған Коши есептер тобын қамтитын шекті есеп қосымша функционалдық параметрлерді енгізу әдісі арқылы зерттеледі. Әулеттік шеттік есептердің шешімін табу үшін Д.С. Джумабаевтың параметрлеу әдісінің өзгертілген алгоритмі ұсынылған. Параметрлеу әдісін қолдану параметрлерге қатысты Фредгольм түріндегі сызықтық емес айқын емес интегралдық тендеулер жүйесінің пайда болуына әкеледі. Бұл жүйені шешу үшін итерациялық әдістер қолданылады. Гиперболалық тендеулер жүйесі үшін қарастырылып отырған сызықтық емес бейлокал шеттік есептің оқшауланған шешімінің жеткілікті шарттары анықталды.

Түйін сөздер: гиперболалық тендеулер жүйесі, сызықтық емес шеттік есеп, бейлокал шеттік есеп, шеттік есеп әулеті, интегралдық-дифференциалдық тендеу, алгоритм, жеткілікті шарттар, оқшауланған шешім.

Abstract

**ON THE APPLICATION OF A FAMILY OF BOUNDARY VALUE PROBLEMS
FOR SYSTEMS OF INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS**

Abdimanapova P.B.^{1,3}, Temesheva S.M.^{1,2}, Zhumagazykyzy A.¹

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

²*Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan*

³*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan*

In this paper we consider a nonlinear nonlocal boundary value problem for a system of hyperbolic equations. By introducing new unknown functions, the nonlinear nonlocal boundary value problem for a system of hyperbolic equations is reduced to an equivalent boundary value problem for the integral-differential partial differential equation. A boundary value problem containing a family of Cauchy problems for a system of integral-differential Fredholm equations with a parameter and an unknown function is investigated using the method of introducing additional functional parameters. A modified algorithm of D.S. Dzhumabayev's parameterization method of finding the solution of the family of boundary value problems is proposed. Application of the parameterization method leads to a system of non-linear implicit Fredholm-type integral equations with respect to parameters. Iterative methods are used to solve this system. Sufficient conditions for the existence of an isolated solution of the considered nonlinear nonlocal boundary value problem for the system of hyperbolic equations.

Keywords: system of hyperbolic equations, nonlinear boundary value problem, nonlocal boundary value problem, family of boundary value problems, integral-differential equation, algorithm, sufficient conditions, isolated solution.

Кіріспе

Қолданбалы математиканың көптеген бөлімдерінде дифференциалдық теңдеулер үшін шеттік есептер пайда болады. Әдетте, бұл есептер сызықтық емес. Сызықтық емес шеттік есептердің шешілімділік мәселелерін зерттеу және шешімдерін табудың жуық әдістерін құру елеулі қиындықтармен бірге жүретіні белгілі. Сондықтан көбіне әртүрлі процестерді модельдеуге қатысатын кейбір шамалардың аздығын болжайды және бастапқы есепті сызықтық шеттік есеппен ауыстырады. Бірақ сызықтандырылған есепті талдау негізінде сызықтық емес шеттік есептермен сипатталатын процестердің көптеген қасиеттерін толық анықтау мүмкін емес.

Математиктер қарастырған алғашқы дербес туындылы теңдеулердің бірі – гиперболалық типті теңдеу болып табылады. XVIII ғасырдың басында Ж.Л. Даламбер, Л. Эйлер, Д. Бернулли математика классиктерінің еңбектерінде жан-жақты зерттелген ішектің тербеліс теңдеуін Тейлор шығарған. Жылу беру және сұйықтық қозғалысын зерттеуге байланысты пайда болған жылуөткізгіштік теңдеуі мен Лаплас теңдеуі кейінірек зерттеле бастады. Алайда, бұған қарамастан эллиптикалық және параболалық теңдеулер үшін шеттік есептер теориясы бүгінгі күнге дейін гиперболалық теңдеулер үшін шеттік есептер теориясына қарағанда көбірек дамыған. Шамасы, бұл эллиптикалық және параболалық теңдеулер үшін шеттік есептерді зерттеуге қолданылатын функционалдық анализдің көптеген әдістері гиперболалық типті теңдеулерге қолданылмайтындығына байланысты болған.

Д.С. Джумабаев пен А.Т. Асанованың [1-4] еңбектерінде Джумабаевтың параметрлеу әдісі аралас туындылы сызықтық гиперболалық теңдеулер жүйелері үшін бейлокал шеттік есептерге қолданылған. Жаңа белгісіз функцияларды енгізу арқылы гиперболалық теңдеулер жүйесі үшін бейлокал шеттік есеп жәй дифференциалдық теңдеулер жүйелері үшін екі нүктелі шеттік есептер әулетін қамтитын эквивалентті есепке келтірілген. Гиперболалық теңдеулер жүйесі үшін сызықтық бейлокал шеттік есептің корректілі шешілімділігінің және сәйкес жәй дифференциалдық теңдеулер жүйелері үшін екі нүктелі шеттік есептер әулетінің корректілі шешілімділігінің эквиваленттілігі анықталған. Сызықтық емес бейлокал шеттік есептің корректілі шешілімділігінің коэффициенттік критерийлері алынған. Жәй дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін сызықтық шеттік есептер әулетінің және аралас туындылы гиперболалық теңдеулер жүйесі үшін сызықтық бейлокал шеттік есептің фредгольмдық еместігін көрсететін мысалдар құрылған. Сызықтық емес бейлокал шеттік есептер үшін шешімін табудың алгоритмдері ұсынылған және жинақталуын қамтамасыз ететін жеткілікті шарттары құрылған, және осы шарттар бастапқы есептің шешімінің бар болуын қамтамасыз ететінін көрсеткен. Ұсынылып отырған мақалада аралас туындылы гиперболалық теңдеулер жүйесі үшін сызықтық емес бейлокал шеттік есеп зерттеледі [6, 7].

Жаңа белгісіз функцияны енгізу арқылы бұл есеп дербес туындылы интегралдық-дифференциалдық теңдеуі үшін эквивалентті шеттік есепке келтіріледі, ал соңғы есепті сызықтық емес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін шеттік есептер әулеті деп қарастыруға болады.

Сондықтан интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін шеттік есептер әулетін зерттеу өз алдына қызығушылық тудырды. Мақалада параметрлеу әдісі негізінде интегралдық-дифференциалдық теңдеулер үшін шеттік есептер әулетінің шешімдерін табудың тиімді алгоритмдерін құрылып, оқшауланған шешімдердің бар болудың жеткілікті шарттары алынды.

Есептің қойылымы және зерттеу әдісі

$\bar{\Omega} = [0, \omega] \times [0, T]$ облысында аралас туындылы гиперболалық теңдеулер жүйесі үшін сызықтық емес бейлокал шеттік есепті қарастырамыз

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = f(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x}), \quad u \in \mathbb{R}^n, \quad (1)$$

$$u(0, t) = 0, \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

$$g(x, u_x(x, 0), u_x(x, T)) = 0, \quad (3)$$

мұндағы $f: \bar{\Omega} \times \mathbb{R}^{2n} \rightarrow \mathbb{R}^n$, $g: [0, \omega] \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ – үзіліссіз функциялар.

(1)–(3) есебінің шешімі деп $\bar{\Omega}$ -да өзінің $u_x^*(x, t) \in C(\bar{\Omega}, \mathbb{R}^n)$, $u_{xt}^*(x, t) \in C(\bar{\Omega}, \mathbb{R}^n)$ дербес туындыларымен бірге (1)-ші сызықтық емес гиперболалық теңдеулер жүйесін қанағаттандыратын, $x = 0$ сипаттамасында (2)-ші шартты қанағаттандыратын және $u_x^*(x, 0)$, $u_x^*(x, T)$ $u_x^*(x, 0)$, $u_x^*(x, T)$ мәндері үшін (3) теңдік орындалатын $u^*(x, t) \in C(\bar{\Omega}, \mathbb{R}^n)$ функциясын айтамыз.

Жаңа белгісіз $v(x, t) = u_x(x, t)$ функциясының көмегімен (1)–(3) есебінен дербес туындылы интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін эквивалентті шеттік есепке көшеміз

$$\frac{\partial v}{\partial t} = f(x, t, \int_0^x v(\xi, t) d\xi, v), \quad (x, t) \in \bar{\Omega}, \quad v \in \mathbb{R}^n, \quad (4)$$

$$g(x, v(x, 0), v(x, T)) = 0, \quad x \in [0, \omega]. \quad (5)$$

Мұндағы (2)-ші шарт

$$u(x, t) = \int_0^x v(\xi, t) d\xi, \quad (x, t) \in \bar{\Omega} \quad (6)$$

қатынасында ескерілген, енді $[0, \omega]$ аралығында өзгеретін x шамасын әулет параметрі ретінде қарастырсақ болады.

Егер $u^*(x, t)$ функциясы (1)–(3) есебінің шешімі болса, онда $v^*(x, t) = u_x^*(x, t)$ функциясы (4), (5) есебінің шешімі болады. Және де, егер $v(x, t)$ – (4), (5) есебінің шешімі болса, онда (6)-шы теңдікпен анықталатын $u(x, t)$ функциясы (1)–(3) есебінің шешімі болады.

Келесі белгілеулерді қолданамыз:

$$C(\bar{\Omega}, \Omega_r, \mathbb{R}^{nN}) \text{ – нормасы } \|v\|_2 = \max_{r=1, N} \sup_{(x, t) \in \Omega_r} \|v_r(x, t)\| \text{ болатын } v(x, [t]) = (v_1(x, t), v_2(x, t), \dots, v_N(x, t))$$

функциялар жүйелерінің кеңістігі, мұндағы $v_r: \Omega_r \rightarrow \mathbb{R}^n$ функциясы үзіліссіз және $[0, \omega]$ аралығында өзгеретін әр бір x -ке қарағанда бірқалыпты $t \rightarrow rh - 0$ ақырлы шегі бар ($r = \overline{1, N}$);

$$C([0, \omega], \mathbb{R}^{n(N+1)}) \text{ – нормасы } \|\lambda\|_3 = \max_{x \in [0, \omega]} \max_{r=1, N+1} \|\lambda_r(x, t)\| \text{ болатын } \lambda(x) = (\lambda_1(x), \lambda_2(x), \dots, \lambda_{N+1}(x))$$

функциялар кеңістігі, мұндағы $\lambda_r: [0, \omega] \rightarrow \mathbb{R}^n$ функциясы үзіліссіз, $r = \overline{1, N+1}$;

$$[0, \omega] \times [0, T] = \bigcup_{r=1}^N \Omega_r, \text{ мұндағы } \Omega_r = [0, \omega] \times [(r-1)h, rh], \quad r = \overline{1, N}, \quad h > 0: Nh = T \quad (N \in \mathbb{N});$$

Интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйелерінің әулеті үшін (4), (5) шеттік есебін Джумабаевтың параметрлеу әдісі көмегімен зерттейміз.

Белгісіз $v(x, t)$ функциясының Ω_r -ға тарылуын $v_r(x, t)$ арқылы белгілейміз, яғни $v_r(x, t) = v(x, t)$, $(x, t) \in \Omega_r$, $r = \overline{1, N}$. Онда (4), (5) шеттік есебі

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} = f(x, t, \int_0^x v_r(\xi, t) d\xi, v_r), \quad (x, t) \in \Omega_r, \quad r = \overline{1, N}, \quad (7)$$

$$g(x, v_1(x, 0), \lim_{t \rightarrow Nh-0} v_N(x, t)) = 0, \quad x \in [0, \omega]. \quad (8)$$

$$\lim_{t \rightarrow sh-0} v_s(x, t) = v_{s+1}(x, sh), \quad x \in [0, \omega], \quad s = \overline{1, N-1}, \quad (9)$$

параметр енгізілген эквивалентті көп нүктелі шеттік есептер әулетіне көшеді.

Мұндағы (9) – бөліктелген $\overline{\Omega}$ аймақтың ішкі сызықтарындағы шешімнің үзіліссіздік шарты және $\lim_{t \rightarrow rh-0} v_r(x, t)$ біржақты шектері $[0, \omega]$ аралығында өзгертін әр бір x -ке қатысты бірқалыпты үзіліссіз, $r = \overline{1, N}$. (7)-(9) есебі $x \in [0, \omega]$ бекітілген мәндерінде Фредгольмнің интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін сызықтық емес көп нүктелі шеттік есептер әулеті екенін байқаймыз.

Ω_r -да $\tilde{v}_r(x, t) = v_r(x, t) - \lambda_r(x)$, $(x, t) \in \Omega_r$ алмастыруын енгіземіз, мұндағы $\lambda_r(x) = v_r(x, (r-1)h)$, $x \in [0, \omega]$, $r = \overline{1, N}$, $\lambda_{N+1}(x) = \lim_{t \rightarrow T-0} v_N(x, t)$ және функционалдық параметрлі эквивалентті есепке көшеміз

$$\frac{\partial \tilde{v}_r}{\partial t} = f(x, t, \int_0^x \lambda_r(\xi) d\xi + \int_0^x \tilde{v}_r(\xi, t) d\xi, \lambda_r(x) + \tilde{v}_r), \quad (x, t) \in \Omega_r, \quad r = \overline{1, N}, \quad (10)$$

$$\tilde{v}_r(x, (r-1)h) = 0, \quad x \in [0, \omega], \quad r = \overline{1, N}, \quad (11)$$

$$g(x, \lambda_1(x), \lambda_{N+1}(x)) = 0, \quad x \in [0, \omega], \quad (12)$$

$$\lambda_s(x) + \lim_{t \rightarrow sh-0} \tilde{v}_s(x, t) - \lambda_{s+1}(x) = 0, \quad x \in [0, \omega], \quad s = \overline{1, N}. \quad (13)$$

(10)-(13) есебінің шешімі деп элементтері $\lambda^*(x) = (\lambda_1^*(x), \lambda_2^*(x), \dots, \lambda_{N+1}^*(x)) \in C([0, \omega], \mathbf{R}^{n(N+1)})$, $v^*(x, [t]) = (v_1^*(x, t), v_2^*(x, t), \dots, v_{N+1}^*(x, t)) \in C(\overline{\Omega}, \Omega_r, \mathbf{R}^{nN})$ болатын, барлық $t \in [(r-1)h, rh]$ үшін үзіліссіз дифференциалданатын $v_r^*(x, t)$ функциясы (10)-шы теңдікті қанағаттандыратын, $\tilde{v}_r^*(x, (r-1)h) = 0$, $r = \overline{1, N}$, шарты және λ_r^* үшін $\lambda_s(x) + \lim_{t \rightarrow sh-0} \tilde{v}_s(x, t) - \lambda_{s+1}(x) = 0$, $s = \overline{1, N}$, (12), (13) теңдіктері орындалатын $(\lambda^*(x), \tilde{v}^*(x, [t]))$ жұбын айтамыз.

$(\lambda^*(x), \tilde{v}^*(x, [t]))$ – (10)-(13) есебінің шешімі болсын. Онда

$$v^*(x, t) = \begin{cases} \lambda_r^*(x) + \tilde{v}_r^*(x, t), & (x, t) \in \Omega_r, \quad r = \overline{1, N}, \\ \lambda_{N+1}^*(x), & (x, t) \in [0, \omega] \cup \{T\} \end{cases}$$

функциясы (4), (5) сызықтық емес шеттік есебінің шешімі, ал $u^*(x, t) = \int_0^x v^*(\xi, t) d\xi$, $(x, t) \in \overline{\Omega}$

функциясы (1)-(3) есебінің шешімі болады. Барлық $r = \overline{1, N+1}$ және $x \in [0, \omega]$ үшін $\lambda_r(x)$ функционалдық параметрлері белгілі болсын деп ұйғарамыз. Онда $\tilde{v}_r(x, t)$ функциясын, Ω_r облысында (10), (11) Коши есебінен анықтауға болады ($r = \overline{1, N}$). Бұл есеп әрбір бекітілген $x \in [0, \omega]$ үшін аралас типтегі интегралдық теңдеулер жүйесі әулетіне эквивалентті болады

$$\tilde{v}_r(x, t) = \int_{(r-1)h}^t f(x, \tau, \int_0^x \lambda_r(\xi) d\xi + \int_0^x \tilde{v}_r(\xi, \tau) d\xi, \lambda_r(x) + \tilde{v}_r(x, \tau)) d\tau. \quad (14)$$

(14)-тен $\lim_{t \rightarrow rh-0} \tilde{v}_r(x, t)$ шектерді анықтап, табылған мәндерді (12)-ші және (13)-ші теңдеулерге қойып,

$\lambda(x) = (\lambda_1(x), \lambda_2(x), \dots, \lambda_{N+1}(x))$ параметріне қатысты сызықтық емес функционалдық теңдеулер жүйесін аламыз:

$$g(x, \lambda_1(x), \lambda_{N+1}(x)) = 0, \quad (15)$$

$$\lambda_s(x) + \int_{(s-1)h}^{sh} f\left(x, t, \int_0^x (\lambda_s(\xi) + \tilde{v}_s(\xi, \tau)) d\xi, \lambda_s(x) + \tilde{v}_s(x, t)\right) dt - \lambda_{s+1}(x) = 0, \quad s = \overline{1, N}. \quad (16)$$

(15), (16) функционалдық теңдеулер жүйесін келесі түрде жазамыз

$$Q_{1,h}(x, \lambda(x), \int_0^x \lambda(\xi) d\xi, \tilde{v}) = 0, \quad \lambda(x) \in \mathbf{R}^{n(N+1)}, \quad x \in [0, \omega]. \quad (17)$$

Шарт 1. Кейбір $h > 0: Nh = T$ ($N \in \mathbf{N}$) үшін $\lambda(x)$ параметріне қатысты Фредгольм типті айқын емес сызықтық емес теңдеулер жүйесі әулетінің

$$Q_{1,h}(x, \lambda(x), \int_0^x \lambda(\xi) d\xi, 0) = 0 \quad (18)$$

$\lambda^{(0)}(x) = (\lambda_1^{(0)}(x), \lambda_2^{(0)}(x), \dots, \lambda_{N+1}^{(0)}(x))$ шешімі бар.

1-ші шарт орындалсын. (10), (11) Коши есебінің $\lambda_r(x) = \lambda_r^{(0)}(x)$ болғанда шешімін $\tilde{v}_r^{(0)}(x, t)$ арқылы белгілейміз. $\tilde{v}^{(0)}(x, [t]) = (\tilde{v}_1^{(0)}(x, t), \tilde{v}_2^{(0)}(x, t), \dots, \tilde{v}_N^{(0)}(x, t))$ функциялар жүйесін құрып аламыз. Енді

$$v^{(0)}(x, t) = \begin{cases} \lambda_r^{(0)}(x) + \tilde{v}_r^{(0)}(x, t), & (x, t) \in \Omega_r, \quad r = \overline{1, N}, \\ \lambda_{N+1}^{(0)}(x), & (x, t) \in [0, \omega] \cup \{T\}, \end{cases}$$

және

$$u^{(0)}(x, t) = \int_0^x v^{(0)}(\xi, t) d\xi, \quad (x, t) \in \overline{\Omega}$$

функцияларды құрып аламыз.

$\rho_\lambda > 0, \rho_{\tilde{v}} > 0, \rho_v > 0, \rho_u > 0$ сандарын таңдап, жиындарды анықтаймыз:

$$S(\lambda^{(0)}(x), \rho_\lambda) = \{\lambda(x) \in C([0, \omega], \mathbf{R}^{n(N+1)}) : \|\lambda - \lambda^{(0)}\|_3 = \max_{x \in [0, \omega]} \max_{r=1, N+1} \|\lambda_r(x) - \lambda_r^{(0)}(x)\| < \rho_\lambda\},$$

$$S(\tilde{v}^{(0)}(x, [t]), \rho_{\tilde{v}}) = \{\tilde{v}(x, [t]) \in C(\overline{\Omega}, \Omega_r, \mathbf{R}^{nN}) : \|\tilde{v} - \tilde{v}^{(0)}\|_2 < \rho_{\tilde{v}}\},$$

$$S(v^{(0)}(x, t), \rho_v) = \{v(x, t) \in C(\overline{\Omega}, \mathbf{R}^n) : \max_{(x,t) \in \overline{\Omega}} \|v(x, t) - v^{(0)}(x, t)\| < \rho_v\},$$

$$S(u^{(0)}(x, t), \rho_u) = \{u(x, t) \in C(\overline{\Omega}, \mathbf{R}^n) : \max_{(x,t) \in \overline{\Omega}} \|u(x, t) - u^{(0)}(x, t)\| < \rho_u\},$$

$$G_f(x, \rho_u, \rho_v) = \{(x, t, u, v) \in \overline{\Omega} \times \mathbf{R}^{2n} : (x, t) \in \overline{\Omega}, \|u - u^{(0)}(x, t)\| < \rho_u, \|v - v^{(0)}(x, t)\| < \rho_v\},$$

$$G_g(x, \rho_\lambda) = \{(x, w_1, w_2) \in [0, \omega] \times \mathbf{R}^{2n} : \|w_1 - v^{(0)}(x, 0)\| < \rho_\lambda, \|w_2 - v^{(0)}(x, T)\| < \rho_\lambda\}.$$

Шарт 2. (i) $f(x, t, u, v)$ функциясы үшін $G_f(x, \rho_u, \rho_v)$ жиынында бірқалыпты үзіліссіз дербес туындылары $\frac{\partial f}{\partial u}, \frac{\partial f}{\partial v}$ бар және келесі теңсіздіктер орындалады

$$\left\| \frac{\partial f}{\partial u} \right\| \leq L_1, \quad \left\| \frac{\partial f}{\partial v} \right\| \leq L_2, \quad (x, t, u, v) \in G_f(x, \rho_u, \rho_v)$$

(ii) $g(x, w_1, w_2)$ функциясы үшін, $G_g(x, \rho_\lambda)$ жиынында бірқалыпты үзіліссіз дербес туындылары

$\frac{\partial g}{\partial w_1}, \frac{\partial g}{\partial w_2}$ бар және келесі теңсіздіктер орындалады

$$\left\| \frac{\partial g}{\partial w_1} \right\| \leq L_3, \quad \left\| \frac{\partial g}{\partial w_2} \right\| \leq L_4, \quad (x, w_1, w_2) \in G_g(x, \rho_\lambda)$$

мұндағы L_i – тұрақты ($i = \overline{1, 4}$).

$\lambda^{(0)}(x)$ және $\tilde{v}^{(0)}(x, [t])$ алайық және төмендегі алгоритм бойынша $\lambda^{(k)}(x)$ және $\tilde{v}^{(k)}(x, [t])$, $k \in \mathbb{N}$ тізбектерін құрастырамыз.

Қадам-1.

a) Сызықтық емес теңдеулер жүйелерінің әулетінен

$$Q_{1,h}(x, \lambda(x), \int_0^x \lambda(\xi) d\xi, \tilde{v}^{(0)}) = 0, \quad \lambda(x) \in \mathbb{R}^{n(N+1)}, \quad x \in [0, \omega],$$

$\lambda^{(1)}(x) = (\lambda_1^{(1)}(x), \lambda_2^{(1)}(x), \dots, \lambda_{N+1}^{(1)}(x))$ параметрін табамыз.

b) $\lambda_r(x) = \lambda_r^{(1)}(x)$ болғанда (10), (11) Коши есептерінің әулетін шеше отырып, $\tilde{v}^{(1)}(x, [t]) = (\tilde{v}_1^{(1)}(x, t), \tilde{v}_2^{(1)}(x, t), \dots, \tilde{v}_N^{(1)}(x, t))$ функциялар жүйесін табамыз, $x \in [0, \omega]$, $r = \overline{1, N}$.

Табылған функциялар бойынша

$$v^{(1)}(x, t) = \begin{cases} \lambda_r^{(1)}(x) + \tilde{v}_r^{(1)}(x, t), & (x, t) \in \Omega_r, \quad r = \overline{1, N}, \\ \lambda_{N+1}^{(1)}(x), & (x, t) \in [0, \omega] \cup \{T\}, \end{cases}$$

және

$$u^{(1)}(x, t) = \int_0^x v^{(1)}(\xi, t) d\xi, \quad (x, t) \in \overline{\Omega}$$

функцияларды құрып аламыз.

Қадам-2.

a) Сызықтық емес теңдеулер жүйелерінің әулетінен

$$Q_{1,h}(x, \lambda(x), \int_0^x \lambda(\xi) d\xi, \tilde{v}^{(1)}) = 0, \quad \lambda(x) \in \mathbb{R}^{n(N+1)}, \quad x \in [0, \omega],$$

$\lambda^{(2)}(x) = (\lambda_1^{(2)}(x), \lambda_2^{(2)}(x), \dots, \lambda_{N+1}^{(2)}(x))$ параметрін табамыз.

b) $\lambda_r(x) = \lambda_r^{(2)}(x)$ болғанда (10), (11) Коши есептерінің әулетін шеше отырып, $\tilde{v}^{(2)}(x, [t]) = (\tilde{v}_1^{(2)}(x, t), \tilde{v}_2^{(2)}(x, t), \dots, \tilde{v}_N^{(2)}(x, t))$ функциялар жүйесін анықтаймыз, $x \in [0, \omega]$, $r = \overline{1, N}$.

Табылған функциялар бойынша

$$v^{(2)}(x, t) = \begin{cases} \lambda_r^{(2)}(x) + \tilde{v}_r^{(2)}(x, t), & (x, t) \in \Omega_r, \quad r = \overline{1, N}, \\ \lambda_{N+1}^{(2)}(x), & (x, t) \in [0, \omega] \cup \{T\}, \end{cases}$$

және

$$u^{(2)}(x, t) = \int_0^x v^{(2)}(\xi, t) d\xi, \quad (x, t) \in \overline{\Omega}$$

функцияларды құрып аламыз.

Т.с.с. $\lambda^{(k-1)}(x) = (\lambda_1^{(k-1)}(x), \lambda_2^{(k-1)}(x), \dots, \lambda_{N+1}^{(k-1)}(x))$ және $\tilde{v}^{(k-1)}(x, [t]) = (\tilde{v}_1^{(k-1)}(x, t), \tilde{v}_2^{(k-1)}(x, t), \dots, \tilde{v}_N^{(k-1)}(x, t))$ белгілі деген болжаммен k -шы қадамда $\lambda^{(k)}(x)$ және $\tilde{v}^{(k)}(x, [t])$ табамыз. Табылған функциялар бойынша

$$v^{(k)}(x, t) = \begin{cases} \lambda_r^{(k)}(x) + \tilde{v}_r^{(k)}(x, t), & (x, t) \in \Omega_r, \quad r = \overline{1, N}, \\ \lambda_{N+1}^{(k)}(x), & (x, t) \in [0, \omega] \cup \{T\}, \end{cases}$$

және

$$u^{(k)}(x, t) = \int_0^x v^{(k)}(\xi, t) d\xi, \quad (x, t) \in \overline{\Omega}.$$

функцияларды құрып аламыз.

Шарт 3. (i) Кейбір $h > 0: Nh = T$ ($N \in \mathbb{N}$), $\rho_\lambda > 0$, $\rho_\mu > 0$, $\rho_v > 0$, $\rho_u > 0$ сандары үшін Шарт 1 және Шарт 2 орындалады, (ii) барлық $(\lambda(x), \tilde{v}(x, [t])) \in S(\lambda^{(0)}(x), \rho_\lambda) \times S(\tilde{v}^{(0)}(x, [t]), \rho_{\tilde{v}})$ үшін

$(n(N+1) \times n(N+1))$ өлшемді $\frac{\partial Q_{1,h}(x, \tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \tilde{v})}{\partial \tilde{w}_1}$ Якоби матрицасының кері матрицасы бар (мұндағы $\tilde{w}_1 = \lambda(x)$, $\tilde{w}_2 = \int_0^x \lambda(\xi) d\xi$).

Негізгі нәтиже

Функционалдық параметрлі (10)–(13) шеттік есептің оқшауланған шешімінің бар болуын қамтамасыз ететін ұсынылған алгоритмнің орындылығы мен жинақтылығының жеткілікті шарттары

Теорема 1. Шарт 3 және келесі теңсіздіктер орындалсын:

$$[i] \left\| \left(\frac{\partial}{\partial \tilde{w}_1} Q_{1,h}(x, \lambda(x), \int_0^x \lambda(\xi) d\xi, \tilde{v}) \right)^{-1} \right\| \leq \gamma_1(h), \quad x \in [0, \omega], \quad \gamma_1(h) - const,$$

$$[ii] (L_1\omega + L_2)h < 1,$$

$$[iii] q_1(h) = \gamma_1(h) e^{\gamma_1(h)hL_1\omega} \frac{(L_1\omega + L_2)^2 h^2}{1 - (L_1\omega + L_2)h} < 1,$$

$$[iv] \frac{\gamma_1(h)}{1 - q_1(h)} e^{\gamma_1(h)hL_1\omega} \max_{x \in [0, \omega]} \left\| Q_{1,h}(x, \lambda^{(0)}(x), \int_0^x \lambda^{(0)}(\xi) d\xi, \tilde{v}^{(0)}) \right\| < \rho_\lambda,$$

$$[v] \frac{\gamma_1(h)}{1 - q_1(h)} e^{\gamma_1(h)hL_1\omega} \cdot \frac{(L_1\omega + L_2)h}{1 - (L_1\omega + L_2)h} \max_{x \in [0, \omega]} \left\| Q_{1,h}(x, \lambda^{(0)}(x), \int_0^x \lambda^{(0)}(\xi) d\xi, \tilde{v}^{(0)}) \right\| < \rho_{\tilde{v}},$$

$$[vi] \rho_\lambda + \rho_{\tilde{v}} < \rho_v, \quad (\rho_\lambda + \rho_{\tilde{v}})\omega < \rho_u.$$

Онда алгоритм бойынша анықталған $u^{(k)}(x, t)$ функциялар тізбегі $S(u^{(0)}(x, t), \rho_u)$ шарына тиісті және (1)–(3) есебінің $S(u^{(0)}(x, t), \rho_u)$ шарында $u^*(x, t)$ оқшауланған шешіміне жинақталады. Бұл теорема [5]-і еңбектегі 1-ші теореманың дәлелдеу сұлбасы бойынша дәлелденді.

Қорытынды

Сонымен, (4), (5) сызықтық емес интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін шеттік есептер әулетін зерттеу арқылы (1) – (3) аралас туындылы гиперболалық теңдеулер жүйесі үшін сызықтық емес бейлокал шеттік есептің шешімі бар және оқшауланған болудың жеткілікті шарттары алынды.

References:

- 1 Dzhumabaev D.S., Asanova A.T., "Priznaki korrektnoj razreshimosti linejnoy nelokal'noj kraevoj zadachi dlya sistem giperbolicheskikh uravnenij [Indications of correct solvability of linear nonlocal boundary value problems for systems of hyperbolic equations]" *Dopovidi (Doklady) NAN Ukraine*, 4 (2010), 7–11. [in Russian]
- 2 Asanova A. T., Dzhumabaev D. S., "Periodic solutions of systems of hyperbolic equations bounded on a plane" *Ukr. Math. J.*, 56:4 (2004), 682 - 694.
- 3 Asanova A.T. , "A Nonlocal Boundary Value Problem for Systems of Quasilinear Hyperbolic Equations" *Doklady Mathematics*, 74:3 (2006), 787-790.
- 4 Asanova A.T. , Dzhumabaev D. S. , "Well-Posed Solvability of Nonlocal Boundary Value Problems for Systems of Hyperbolic Equations" *Differ. Equ.*, 41:3 (2005), 352-363.
- 5 Dzhumabaev D. S. , Temesheva S. M. , "A parametrization method for solving nonlinear two-point boundary value problems" *Comput. Math. Math. Phys.*, 47:1 (2007), 37–61.
- 6 Temesheva S.M., Abdimanapova P.B., Borisov D.I. "Ob odnom metode resheniya semejstva nelinejnyh kraevyh zadach dlya obyknovennyh differencial'nyh uravnenij [On a method for solving a family of nonlinear boundary value problems for ordinary differential equations]" *Vestnik KazNPU imeni Abaya, «Fiziko-matematicheskie nauki»*, 73:1(2021), 70-76.
- 7 Temesheva S.M., Abdimanapova P.B. "O vybore nachal'nogo priblizheniya nelinejnoj nelokal'noj kraevoj zadachi dlya giperbolicheskogo uravneniya [On the choice of an initial approximation of a nonlinear nonlocal boundary value problem for a hyperbolic equation]" *Tradicionnaya aprel'skaya mezhdunarodnaya matematicheskaya konferenciya v chest' Dnya rabotnikov nauki Respubliki Kazahstan. Tezisy dokladov*, 2022, 107-108.

С.Е. Айтжанов^{1*}, А.С. Қасымбекова¹, Ғ.О. Жұмағұл²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
²Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: Aitzhanov.serik81@gmail.com

ЛОКАЛДІК ЕМЕС ШЕКАРАЛЫҚ ШАРТТЫ ПСЕВДОГИПЕРБОЛАЛЫҚ ТЕНДЕУДІҢ ШЕШІМДІЛІГІ

Аңдатпа

Бұл жұмыста локалдік емес шекаралық шартты псевдогиперболаалық тендеу үшін шеттік есебінің шешімділігі зерттелінген. Зерттелініп отырған тендеуді кейде Кирхгоф, Клейн-Гордон жалпы жағдайда Соболев тендеуі деп те атайды. Бұл жұмыстағы шекаралық шарттың локалдік емес және сызықты еместігімен ерекшеленеді. Қойылған есептің әлсіз жалпылама шешімнің бар және жалғыздығы дәлелденген. Әлсіз жалпыланған шешімнің бар және жалғыздығы үшін уақыт бойынша локалдік теорема дәлелденді. Есептің шешімнің бар және жалғыздығын дәлелдеуде Галеркин әдісі, жуық шешімдерінің априорлық бағалаулары, қажетті интерполяциялық теңсіздіктер, Юнг, Гельдер және Минковский теңсіздіктері, Гронуолла және Бихари леммалары қолданылды. Сызықты емес псевдогиперболаалық тендеу үшін бастапқы-шеттік есептерді қарастыру және зерттеу қажеттілігі практикалық мұқтаждықтардан туындайды. Бұл жұмыста тендеуге қатысатын шешімнің уақыт бойынша барлық туындыларына $L_2(Q_T)$ кеңістігіне тиісті болатындығы көрсетілді.

Түйін сөздер: псевдогиперболаалық тендеу, шешімділік, жалғыздық, сызықты емес тендеу, локалдік емес шекаралық шарт.

Аннотация

С.Е. Айтжанов¹, А.С. Қасымбекова¹, Ғ.О. Жұмағұл²
¹Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
²Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

РАЗРЕШИМОСТЬ ПСЕВДОГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С НЕЛОКАЛЬНЫМ ГРАНИЧНЫМ УСЛОВИЕМ

В работе исследована разрешимость краевой задачи с нелокальным граничным условием для псевдогиперболического уравнения. Изучаемое уравнение иногда называют уравнением Кирхгофа, Клейн-Гордона, в общем случае – уравнением Соболева. Граничное условие в данной работе отличается нелокальностью и нелинейностью. Доказано существование и единственность слабого обобщенного решения поставленной задачи. Доказана теорема о локальности во времени для существования и единственности слабого обобщенного решения. При доказательстве существования и единственности решения задачи использовались метод Галеркина, априорные оценки приближенных решений, необходимые интерполяционные неравенства, неравенства Юнга, Гелдера и Минковского, леммы Гронуолла и Бихари. Необходимость рассмотрения и исследования начально-краевых задач для нелинейного псевдогиперболического уравнения вытекает из практических потребностей. В данной работе показано, что все производные по времени решения, участвующего в уравнении, принадлежат пространству $L_2(Q_T)$.

Ключевые слова: псевдогиперболическое уравнение, разрешимость, единственность, нелинейное уравнение, нелокальное граничное уравнение.

Abstract

SOLVABILITY OF A PSEUDOHYPERBOLIC EQUATION WITH A NONLOCAL BOUNDARY CONDITION

Aitzhanov S.E.¹, Kassymbekova A.S.¹, Zhumagul G.O.²
¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

In the paper the solvability of a boundary value problem with a non-local boundary condition for a pseudo-hyperbolic equation is investigated. The studied equation is sometimes called the Kirchhoff equation, Klein-Gordon equation and in general case, the Sobolev equation. The boundary condition in this paper is distinguished by nonlocality and nonlinearity. The existence and uniqueness of a weak generalized solution of the problem is proved. A time locality theorem is proved for the existence and uniqueness of a weak generalized solution. The Galerkin method, a priori estimates of approximate

solutions, the necessary interpolation inequalities, the inequalities of Young, Gelder and Minkowski, the lemmas of Gronwall and Bihari were used to prove the existence and uniqueness of the problem's solution. The need to consider and study initial boundary value problems for a nonlinear pseudo-hyperbolic equation follows from practical needs. In this paper, it is shown that all derivatives of the solution in time involved in the equation belong to the space L .

Keywords: pseudohyperbolic equation, solvability, uniqueness, non-linear equation, non-local boundary equation.

1 Кіріспе

Қазіргі уақытта гиперболалық типтегі теңдеулермен сипатталған сызықтық және сызықтық емес есептер белсенді зерттелуде. Сызықтық гиперболалық теңдеулер жүйелері мен гиперболалық типтегі сызықтық емес теңдеулер иілгіш құрылымдардың тербелісін, реттелетін тұтқыр серпімділік моделін және кері байланысы бартұтқыр демпингті зерттеуде кеңінен қолданылады. Осы тақырыпқа байланысты алғашқы жұмыстардың бірі 20 ғасырдың басында ұсынылған гиперболалық дифференциалдық теңдеулер жүйесімен сипатталған көлденең ығысу деформациясын ескере отырып, Балка динамикасын сипаттайтын Р.С. Тимошенконың [1] жұмысын атауға болады. Ондаған жылдар бойы көптеген зерттеулер осы модельді зерттеуге арналып, жүйенің дұрыстығы мен ұзақ мерзімдегі ерекшеліктеріне қатысты нәтижелер алынды [2-5].

Сызықтық емес гиперболалық теңдеулерді зерттеуге арналған жұмыстардың ішінде логарифмдік сызықтық емес артта қалған толқындарды сипаттайтын келесі есепті келтіруге болады [6].

Соңғы онжылдықта көптеген зерттеушілер тұрақты көрсеткіштері бар сызықтық емес толқындық теңдеулерге қызығушылық танытты [7] жұмысты келтіруге болады. Мұндай типтегі есептер физиканың ядролық физика, оптика және геофизика сияқты көптеген салаларында кездеседі. Логарифмдік сызықтық емес жағдайлар суперсимметриялық өріс теориясында табиғи түрде пайда болатыны кванттық өріс теориясынан белгілі. Мұндай жүйелер электрореологиялық сұйықтықтарда немесе температураға тәуелді тұтқырлығы бар сұйықтықтарда, сызықтық емес тұтқырлықта, кеуекті орта арқылы сүзу процестерінде пайда болады. [8] жұмыста Vall J. демпингтік мүшенің болмауы $|u_t|^{m-2} u_t$, $|u|^{p-2} u$ бастапқы мүше, шектеулі уақытта теріс бастапқы энергия шешімдерінің қирауына әкелетінін көрсетті. Naroux A, Zuazua E. [9] бастапқы мүше болмаған кезде демпингтік мүше ерікті бастапқы деректер үшін глобалді шешімділігін дәлелдеді. $m = 2$ сызықтық әлсіреу жағдайында, Levine H. [10] теріс бастапқы энергия үшін шешімнің шектеулі уақытта жойылуын анықтады.

Cavalcanti және басқа да ғалымдар [11] келесі есепті қарастырды:

$$|u_t|^\rho u_{tt} - \Delta u - \Delta u_{tt} + \int_0^t g(t-s)\Delta u(s)ds - \gamma \Delta u_t = 0, (x, t) \in \Omega \times (0, \infty), \quad (*)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), u_t(x, 0) = u_1(x), x \in \Omega.$$

Мұндағы $\Omega - R^n$ ($n \geq 1$) тиісті шенелген аймақ, $\partial\Omega$ -тегіс, шенелген, ρ -кейбір шарттарды қанағаттандыратын оң нақты сан, ал $g(t-s)$ - оң экспоненциалды кемитін функция. Олар $\gamma \geq 0$ болғанда глобалді шешімнің және $\gamma > 0$ үшін экспоненциалды кемитін шешімінің бар екенін көрсетті.

Ұсынылған жұмыс сызықтық емес шекаралық шарты бар квазисызықты псевдогиперболалық теңдеуді одан әрі іргелі зерттеу болып табылады. Псевдопараболалық және псевдогиперболалық теңдеулерді зерттеуге арналған ғылыми жұмыстар [11-15] (және сондағы әдебиеттерді қараңыз) баршылық, алайда псевдогиперболалық теңдеулер әлі толық зерттелмеген.

$Q_T = \{(x, t) : x \in \Omega, \Omega \subset R^n, 0 < t < T\}$ цилиндрда псевдогиперболалық теңдеу үшін

$$u_{tt} - \chi \Delta u_t - a \Delta u + cu + |u_t|^{q-2} u_t = b |u|^{p-2} u + f(x, t), \quad (1)$$

локалді емес шекаралық шартты

$$\frac{\partial u}{\partial n} + K \int_0^t g(t-\tau) |u(\tau)|^{\sigma-2} u(\tau) d\tau \Big|_\Gamma = 0, \quad \Gamma = \partial\Omega \times (0, T), \quad (2)$$

және бастапқы шартты

$$u(x, 0) = u_0(x), u_t(x, 0) = u_1(x), x \in \Omega \quad (3)$$

қанағаттандыратын $u(x, t)$ функцияны табуды қарастырамыз. Мұндағы $\Omega \subset R^n$, $n \geq 3$ шектелген аймақ, $\partial\Omega$ шекарасы жеткілікті тегіс, χ, a, p, σ, b және K оң тұрақтылар.

$f(x, t)$, $u_0(x)$ және $u_1(x)$ функциялары келесі шарттарды қанағаттандырысын:

$$\begin{aligned} f &\in L_2(Q_T), f_t \in L_2(Q_T), g(t) \in C^2[0, T], \\ u_0(x) &\in W_2^2(\Omega), u_1(x) \in W_2^2(\Omega) \cap L_q(\Omega). \end{aligned} \quad (4)$$

Анықтама. $u(x, t)$ функциясы $u \in L_\infty(0, T; H^1(\Omega))$, $u_t \in L_\infty(0, T; L_\sigma(\Gamma))$, $\nabla u_t \in L_2(Q_T)$, $u_t \in L_q(Q_T)$, $u_t \in L_\infty(0, T; L_2(\Omega))$, $u_{tt} \in L_\infty(0, T; L_2(\Omega))$, $\nabla u_{tt} \in L_2(Q_T)$ болатын және келесі интегралдық тепе-теңдікті қанағаттандыратын

$$\begin{aligned} &\int_0^T \int_\Omega u_{tt} \eta(x) \phi(t) dx dt + \int_0^T \int_\Omega (\chi \nabla u_t \nabla \eta + a \nabla u \nabla \eta + c u \eta) \phi(t) dx dt + \\ &+ \int_0^T \int_0^t \int_\Gamma (a K g(t - \tau) + \chi K g'(t - \tau)) |u(\tau)|^{\sigma-2} u(\tau) \eta \phi(t) d\Gamma d\tau dt + \\ &+ \chi K g(0) \int_0^T \int_\Gamma |u|^{\sigma-2} u \eta \phi(t) d\Gamma dt + \\ &+ \int_0^T \int_\Omega |u_t|^{q-2} u_t \eta \phi(t) dx dt = \\ &= b \int_0^T \int_\Omega |u|^{p-2} u \eta \phi(t) dx dt + \int_0^T \int_\Omega f \eta \phi(t) dx dt, \end{aligned} \quad (5)$$

функцияны (1)-(3) есебінің әлді жалпылама шешімі деп айтамыз, мұндағы $\phi(t) \in L_2(0, T)$, $\eta(x) \in H^1(\Omega)$.

2 Әлсіз жалпылама шешімнің бар болуы

Теорема 1. Айталық (4) және $2 < p < \frac{2N}{N-2}$, $2 \leq \sigma \leq \frac{2(N-1)}{N-2}$, $N \geq 3$ шарттар орындалсын. Онда $(0, T)$, $T < T_0$, интервалында (1)-(3) есебінің $u(x, t)$ әлді жалпылама шешімі бар.

Дәлелдеуі. $H^1(\Omega)$ кеңістігінен $\{\Psi_j(x)\}$ кейбір функциялар жүйесін алайық, бұлар $H^1(\Omega)$ кеңістігінде базис құрсын. $H^1(\Omega)$ сепарабельді кеңістік болғандықтан, ондай функциялар жүйесі табылады. (1)-(3) есебінің жуық шешімін келесі түрде іздейміз

$$u_m(x, t) = \sum_{k=1}^m C_{mk}(t) \Psi_k(x) \quad (6)$$

мұндағы $C_{mk}(t)$ белгісіз коэффициенттер келесі Коши есебінен анықталады:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=1}^m C''_{mk}(t) \int_{\Omega} \Psi_k \Psi_j dx + \chi \sum_{k=1}^m C'_{mk}(t) \int_{\Omega} \nabla \Psi_k \nabla \Psi_j dx + \\
 & + a \sum_{k=1}^m C_{mk}(t) \int_{\Omega} \nabla \Psi_k \nabla \Psi_j dx + c \sum_{k=1}^m C_{mk}(t) \int_{\Omega} \Psi_k \Psi_j dx + \\
 & + \sum_{k=1}^m \int_0^t (aKg(t-\tau) + \chi Kg'(t-\tau)) C_{mk}(\tau) \int_{\Gamma} |u(\tau)|^{\sigma-2} \Psi_k \Psi_j d\Gamma d\tau + \\
 & + \chi Kg(0) \sum_{k=1}^m C_{mk}(t) \int_{\Gamma} |u_m|^{\sigma-2} \Psi_k \Psi_j d\Gamma + \\
 & + \sum_{k=1}^m C'_{mk}(t) \int_{\Omega} |u_m|^{q-2} \Psi_k \Psi_j dx = b \sum_{k=1}^m C_{mk}(t) \int_{\Omega} |u_m|^{p-2} \Psi_k \Psi_j dx + \\
 & + \int_{\Omega} f \cdot \Psi_j dx, \quad 1 \leq j \leq m.
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$u_{m0} = u_m(0) = \sum_{k=1}^m C_{mk}(0) \Psi_k = \sum_{k=1}^m \alpha_{0k} \Psi_k, \tag{8}$$

$$u_{m1} = u'_m(0) = \sum_{k=1}^m C'_{mk}(0) \Psi_k = \sum_{k=1}^m \alpha_{1k} \Psi_k$$

сонымен бірге $m \rightarrow \infty$ өткенде $H^2(\Omega)$ кеңістігінде әлді $u_{m0} \rightarrow u_0$ және $u_{m1} \rightarrow u_1$. (9)

3 Априорлық бағалаулар

(7) қатысты $C'_{mj}(t)$ көбейтіп, содан соң, шыққан қатыстың екі жағынан $j = \overline{1, m}$ қосындыласақ және τ бойынша 0 ден t -ға дейін интегралдасақ, сонда

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{2} \int_{\Omega} [|\partial_t u_m(t)|^2 + a |\nabla u_m(t)|^2 + c |u|^2] dx + \frac{\chi Kg(0)}{\sigma} \int_{\Gamma} |u_m|^{\sigma} d\Gamma + \\
 & + \chi \int_0^t \int_{\Omega} |\nabla \partial_t u_m(\tau)|^2 dx d\tau + \int_0^t \int_{\Omega} |\partial_t u_m(\tau)|^q dx d\tau = \\
 & = \frac{1}{2} \int_{\Omega} [|\partial_t u_m(x,0)|^2 + a |\nabla u_m(x,0)|^2 + c |u_m(x,0)|^2] dx + \\
 & + \frac{\chi Kg(0)}{\sigma} \int_{\Gamma} |u_m(x,0)|^{\sigma} d\Gamma + b \int_0^t \int_{\Omega} |u_m|^{p-2} u_m \partial_t u_m(\tau) dx d\tau - \\
 & - \int_0^t \int_0^{\tau} (aKg(\tau-s) + \chi Kg'(\tau-s)) \int_{\Gamma} |u_m(s)|^{\sigma-2} u_m(s) \partial_t u_m(\tau) d\Gamma ds d\tau + \\
 & + \int_0^t \int_{\Omega} f \partial_t u_m(\tau) dx d\tau.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Лемма 1 (O.A. Ladyzhenskaia, V.A. Solonnikov, N.N. Uraltseva, Linear and Quasi-linear Equations of Parabolic Type Translations of Mathematical Monographs, 23. Providence, RI: American Mathematical Society, 1968. Zbl 0174.15403.). Кез келген $u \in W_2^1(\Omega)$ функциясы үшін

$$\begin{aligned}
 \|u\|_{p,\Omega}^p & \leq C_1 \left(\|\nabla u\|_{2,\Omega}^2 + \|u\|_{2,\Omega}^2 \right)^{\frac{\theta p}{2}} \|u\|_{2,\Omega}^{(1-\theta)p} \leq \\
 & \leq C_1 \left(\|\nabla u\|_{2,\Omega}^2 + \|u\|_{2,\Omega}^2 \right)^{\frac{\theta p + (1-\theta)p}{2}} \leq C_1 \left(\|\nabla u\|_{2,\Omega}^2 + \|u\|_{2,\Omega}^2 \right)^{\frac{p}{2}},
 \end{aligned}$$

теңсіздігі орындалады, мұндағы

$$C_1 = \left(\frac{2(n-1)}{n-2} \right)^{\theta p}, \quad \theta = \frac{(p-2)n}{2p}, \quad 0 < \theta < 1, \quad 2 < p < \frac{2n}{n-2}, \quad n \geq 3.$$

$$\begin{aligned} \|u\|_{q,\Gamma}^q &\leq C_1 \left(\|\nabla u\|_{2,\Omega}^2 + \|u\|_{2,\Omega}^2 \right)^{\frac{\theta q}{2}} \|u\|_{2,\Omega}^{(1-\theta)q} \leq \\ &\leq C_1 \left(\|\nabla u\|_{2,\Omega}^2 + \|u\|_{2,\Omega}^2 \right)^{\frac{\theta q + (1-\theta)q}{2}} \leq C_1 \max\{1; \chi\} \left(\chi \|\nabla u\|_{2,\Omega}^2 + \|u\|_{2,\Omega}^2 \right)^{\frac{q}{2}}, \end{aligned}$$

теңсіздігі орындалады, мұндағы

$$C_1 = \left(\frac{2(n-1)}{n-2} \right)^{\theta q}, \quad \theta = \frac{(q-2)n+2}{2q}, \quad 0 < \theta < 1, \quad 2 < q < \frac{2(n-1)}{n-2}, \quad n \geq 3.$$

Лемма 2. (Лионс Ж.-Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач. М.: Наука, 1972, 588

б. 20 беттегі лемма 1.2). Егер $f \in L_p(0, T; X)$ және $\frac{\partial f}{\partial t} \in L_p(0, T; X)$, $1 \leq p \leq \infty$, онда f функциясы $[0, T] \rightarrow X$ үзіліссіз бейнелеу болады, $(0, T)$ аралығында нөлдік өлшеммен өзгеруі мүмкін.

Енді (10) тепе-теңдіктің оң жағына 1 лемманы, Юнг және Гельдер теңсіздіктерін, сонымен бірге Бихари леммасын қолдансақ, нәтижеде априорлық бағалауды аламыз

$$\begin{aligned} \|u_m\|_{2,\Omega}^2 + a \|\nabla u_m\|_{2,\Omega}^2 + c \|u_m\|_{2,\Omega}^2 + \frac{2\chi Kg(0)}{\sigma} \int_{\Gamma} |u_m|^\sigma d\Gamma \leq \\ \leq \frac{y(0) + C_4}{\left[1 - C_5(p-2)t(y(0) + C_4)^{p-2} \right]^{\frac{1}{p-2}}}. \end{aligned}$$

Осы бағалаудан $T_0 > 0$ бар және барлық $t \in [0, T]$, $T < T_0$, үшін

$$\|u_m\|_{2,\Omega}^2 + a \|\nabla u_m\|_{2,\Omega}^2 + c \|u_m\|_{2,\Omega}^2 + \frac{2\chi Kg(0)}{\sigma} \int_{\Gamma} |u_m|^\sigma d\Gamma \leq C_6, \quad (11)$$

орындалады, мұндағы C_6 тұрақтысы $m \in N$ тәуелсіз.

(10) қатыстан және (11) ескере отырып, тағы бір бағалауды аламыз:

$$\chi \int_0^T \int_{\Omega} |\nabla \partial_t u_m|^2 dx dt + \int_0^T \int_{\Omega} |\partial_t u_m|^q dx dt \leq C_7. \quad (12)$$

(7) қатыстан келесі теңдік алынады

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m C_{mk}''(0) \int_{\Omega} \Psi_k \Psi_j dx + \chi \sum_{k=1}^m C_{mk}'(0) \int_{\Omega} \nabla \Psi_k \nabla \Psi_j dx + \\ + a \sum_{k=1}^m C_{mk}(0) \int_{\Omega} \nabla \Psi_k \nabla \Psi_j dx + c \sum_{k=1}^m C_{mk}(0) \int_{\Omega} \Psi_k \Psi_j dx + \\ + \chi Kg(0) \sum_{k=1}^m C_{mk}(0) \int_{\Gamma} |u_m(0)|^{\sigma-2} \Psi_k \Psi_j d\Gamma + \\ + \sum_{k=1}^m C_{mk}'(0) \int_{\Omega} |u_m(0)|^{q-2} \Psi_k \Psi_j dx = b \sum_{k=1}^m C_{mk}(0) \int_{\Omega} |u_m(0)|^{p-2} \Psi_k \Psi_j dx + \\ + \int_{\Omega} f(0) \cdot \Psi_j dx, \quad 1 \leq j \leq m. \end{aligned} \quad (13)$$

$\frac{\partial f}{\partial t} \in L_2(Q_T)$ болғандықтан және 2 леммадан $f(0) \in L_2(\Omega)$, сонымен бірге $W_2^2(\Omega)$ кеңістігінде $u_{0m} \rightarrow u_0$ әлді, $|\Delta u_{0m}| \leq const$, $W_2^2(\Omega)$ кеңістігінде $u_{1m} \rightarrow u_1$ әлді, $u_0 \in W_2^2(\Omega)$, $u_1 \in W_2^2(\Omega) \cap L_q(\Omega)$ $q > 2$, $2 < p < \frac{2(n-1)}{n-2}$, $\sigma \leq \frac{2n-3}{n-2}$, $N \geq 3$, $|u_{1m}|^{q-2} u_{1m}$, $|u_{0m}|^{p-2} u_{0m}$ және $|u_{0m}|^{\sigma-2} u_{0m}$ функциялары $L_2(\Omega)$ кеңістігінде тиісті. Бұдан (13) теңдікті $C''_{nj}(0)$ көбейтіп $j = \overline{1, m}$ бойынша қосындыласақ, нәтижеде

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} |u''_m(0)|^2 dx &\leq a \int_{\Omega} |\Delta u_{0m}|^2 dx + \chi \int_{\Omega} |\Delta u_{1m}|^2 dx + \chi K g(0) \int_{\Gamma} |u_{0m}|^{2(\sigma-1)} d\Gamma + \\ &+ c \int_{\Omega} |u_{0m}|^2 dx + \int_{\Omega} |u_{1m}|^{2(q-1)} dx + b \int_{\Omega} |u_{0m}|^{2(p-1)} dx + \int_{\Omega} |f(0)|^2 dx \leq C. \end{aligned} \quad (14)$$

Бұдан біз (7) қатысты дифференциалдауға негіз болатындығын аламыз. Енді (7) қатысты t бойынша дифференциалдайық

$$\begin{aligned} &\sum_{k=1}^m C'''_{mk}(t) \int_{\Omega} \Psi_k \Psi_j dx + \chi \sum_{k=1}^m C''_{mk}(t) \int_{\Omega} \nabla \Psi_k \nabla \Psi_j dx + \\ &+ a \sum_{k=1}^m C'_{mk}(t) \int_{\Omega} \nabla \Psi_k \nabla \Psi_j dx + c \sum_{k=1}^m C'_{mk}(t) \int_{\Omega} \Psi_k \Psi_j dx + \\ &+ \sum_{k=1}^m (aKg(0) + \chi Kg'(0)) C_{mk}(t) \int_{\Gamma} |u(t)|^{\sigma-2} \Psi_k \Psi_j d\Gamma d\tau + \\ &+ \sum_{k=1}^m \int_0^t (aKg'(t-\tau) + \chi Kg''(t-\tau)) C_{mk}(\tau) \int_{\Gamma} |u(\tau)|^{\sigma-2} \Psi_k \Psi_j d\Gamma d\tau + \\ &+ \chi Kg(0)(\sigma-1) \int_{\Gamma} |u_m|^{\sigma-2} u_{mt} \Psi_j d\Gamma + (q-1) \int_{\Omega} |u_{mt}|^{q-2} u_{mtt} \Psi_j dx = \\ &= b(p-1) \int_{\Omega} |u_m|^{p-2} u_{mt} \Psi_j dx + \int_{\Omega} f_t \cdot \Psi_j dx, \quad 1 \leq j \leq m. \end{aligned} \quad (15)$$

(15) қатысты $C''_{mj}(t)$ көбейтіп, оны $j = \overline{1, m}$ бойынша қосындыласақ

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_{\Omega} |u_{mtt}(t)|^2 dx + \chi \int_{\Omega} |\nabla u_{mtt}(t)|^2 dx + (q-1) \int_{\Omega} |u_{mt}(t)|^{q-2} |u_{mtt}(t)|^2 dx + \\ &+ a \int_{\Omega} \nabla u_{mt}(t) \nabla u_{mtt}(t) dx + c \int_{\Omega} u_{mt}(t) u_{mtt}(t) dx + \\ &+ (aKg(0) + \chi Kg'(0)) \int_{\Gamma} |u_m(t)|^{\sigma-2} u_m(t) u_{mtt}(t) d\Gamma + \\ &+ \int_0^t (aKg'(t-\tau) + \chi Kg''(t-\tau)) \int_{\Gamma} |u_m(\tau)|^{\sigma-2} u_m(\tau) u_{mtt}(\tau) d\Gamma d\tau + \\ &+ \chi Kg(0)(\sigma-1) \int_{\Gamma} |u_m|^{\sigma-2} u_{mt} u_{mtt}(t) d\Gamma + \\ &= b(p-1) \int_{\Omega} |u_m(t)|^{p-2} u_{mt}(t) u_{mtt}(t) dx + \int_{\Omega} f'(t) u_{mtt}(t) dx. \end{aligned} \quad (16)$$

Осы (16) теңдікке Юнг және Гельдер теңсіздіктерін, 1 лемманы, сонымен бірге (11) және (12) бағалауларды қолдансақ, нәтижеде бізге қажетті априорлық бағалау алынады

$$\operatorname{ess.\,sup}_{0 \leq t \leq T} \int_{\Omega} |u_{mt}(t)|^2 dx + \chi \int_0^T \int_{\Omega} |\nabla u_{mt}(t)|^2 dx dt + (q-1) \int_0^T \int_{\Omega} |u_{mt}(t)|^{q-2} |u_{mt}(t)|^2 dx dt \leq C_{12}. \quad (17)$$

Осы алынған (11), (12) және (17) бағалаулардан (7) қатысты 0 ден T-ға дейін интегралдап, шекке көшуге болады, нәтижеде біз әлді жалпылама шешімнің анықтамасындағы тепе-теңдікке келеміз.

4 Шешімнің жалғыздығы

Теорема 2. Айталық (4) және $p \leq 2 + \frac{2}{N-2}$, $\sigma \leq 2 + \frac{1}{N-2}$, $N \geq 3$ шарттар орындалсын. Онда (1)-(3) есебінің $(0, T)$ интервалында әлді жалпылама шешімі жалғыз.

Дәлелдеуі. Кері жорық, (1)-(3) есебінің шешімі екеу $u_1(x, t)$ және $u_2(x, t)$ болсын. Онда олардың айырымы $u(x, t) = u_1(x, t) - u_2(x, t)$ біртекті бастапқы шарттарды $u(x, 0) = 0$, $u_t(x, 0) = 0$ және келесі интегралдық тепе-теңдікті қанағаттандырады

$$\begin{aligned} & \int_0^t \int_{\Omega} u_{\tau\tau} \eta(x) \phi(\tau) dx d\tau + \int_0^t \int_{\Omega} (\chi \nabla u_{\tau} \nabla \eta + a \nabla u \nabla \eta + c u \eta) \phi(\tau) dx d\tau + \\ & + \int_0^t \int_{\Gamma} (a K g(\tau - s) + \chi K g'(\tau - s)) (|u_1(s)|^{\sigma-2} u_1(s) - |u_2(s)|^{\sigma-2} u_2(s)) \eta(x) \phi(\tau) d\Gamma ds d\tau + \\ & + \chi K g(0) \int_0^t \int_{\Gamma} (|u_1(\tau)|^{\sigma-2} u_1(\tau) - |u_2(\tau)|^{\sigma-2} u_2(\tau)) \eta(x) \phi(\tau) d\Gamma d\tau + \\ & + \int_0^t \int_{\Omega} (|u_{1\tau}|^{q-2} u_{1\tau} - |u_{2\tau}|^{q-2} u_{2\tau}) \eta(x) \phi(\tau) dx d\tau = b \int_0^t \int_{\Omega} (|u_1|^{p-2} u_1 - |u_2|^{p-2} u_2) \eta(x) \phi(\tau) dx d\tau. \end{aligned} \quad (18)$$

Бұл (18) қатыс кез келген $\phi(t) \in L_2(0, T)$ функциясы үшін орындалатындықтан, онда бекітілген $\tau \in (0, t)$ үшін

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} u_{\tau\tau} \eta(x) dx + \int_{\Omega} (\chi \nabla u_{\tau} \nabla \eta + a \nabla u \nabla \eta + c u \eta) dx + \\ & + \int_0^t \int_{\Gamma} (a K g(t - \tau) + \chi K g'(t - \tau)) (|u_1(\tau)|^{\sigma-2} u_1(\tau) - |u_2(\tau)|^{\sigma-2} u_2(\tau)) \eta(x) d\Gamma ds + \\ & + \chi K g(0) \int_{\Gamma} (|u_1(t)|^{\sigma-2} u_1(t) - |u_2(t)|^{\sigma-2} u_2(t)) \eta(x) d\Gamma + \\ & + \int_{\Omega} (|u_{1\tau}|^{q-2} u_{1\tau} - |u_{2\tau}|^{q-2} u_{2\tau}) \eta(x) dx = b \int_{\Omega} (|u_1|^{p-2} u_1 - |u_2|^{p-2} u_2) \eta(x) dx \end{aligned}$$

теңдік орынды.

$\eta(x) \in W_2^1(\Omega)$ болғандықтан, $\eta = u_t(x, t)$ деп алайық, сонда

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} u_{\tau\tau} u_t dx + \int_{\Omega} (\chi \nabla u_{\tau} \nabla u_t + a \nabla u \nabla u_t + c u u_t) dx + \\ & + \int_0^t \int_{\Gamma} (a K g(t - \tau) + \chi K g'(t - \tau)) (|u_1(\tau)|^{\sigma-2} u_1(\tau) - |u_2(\tau)|^{\sigma-2} u_2(\tau)) u_t(\tau) d\Gamma ds + \\ & + \chi K g(0) \int_{\Gamma} (|u_1(t)|^{\sigma-2} u_1(t) - |u_2(t)|^{\sigma-2} u_2(t)) u_t(t) d\Gamma + \\ & + \int_{\Omega} (|u_{1\tau}|^{q-2} u_{1\tau} - |u_{2\tau}|^{q-2} u_{2\tau}) u_t(t) dx = b \int_{\Omega} (|u_1|^{p-2} u_1 - |u_2|^{p-2} u_2) u_t(t) dx \end{aligned} \quad (19)$$

қатысты аламыз.

Келесі теңсіздіктерді қолданайық

$$||u_1|^q u_1 - |u_2|^q u_2| \leq (q+1)(|u_1|^q + |u_2|^q)|u_1 - u_2|, \text{ мұндағы } q > 0,$$

$$\left| (|u_1|^q u_1 - |u_2|^q u_2)(u_1 - u_2) \right| \geq |u_1 - u_2|^{q+2}, \text{ мұндағы } q > 0.$$

Онда (19) қатысты келесі түрде жазамыз

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \int_{\Omega} |u_t|^2 dx + \frac{1}{2} \int_{\Omega} (a|\nabla u|^2 + c|u|^2) dx + \chi \int_0^t \int_{\Omega} |\nabla u_{\tau}|^2 dx d\tau + \int_0^t \int_{\Omega} |u_{\tau}|^q dx d\tau \leq \\ & \leq \int_0^t \int_0^{\tau} \int_{\Gamma} g_1(\tau-s) (|u_1(s)|^{\sigma-2} u_1(s) - |u_2(s)|^{\sigma-2} u_2(s)) u_{\tau}(\tau) d\Gamma ds d\tau + \chi K g(0) \int_0^t \int_{\Gamma} (|u_1(\tau)|^{\sigma-2} u_1(\tau) - \\ & - |u_2(\tau)|^{\sigma-2} u_2(\tau)) u_{\tau}(\tau) d\Gamma d\tau + b \int_0^t \int_{\Omega} (|u_1|^{p-2} u_1 - |u_2|^{p-2} u_2) u_{\tau}(\tau) dx d\tau. \end{aligned} \quad (20)$$

(20) теңсіздіктің оң жағына Гельдер және Минковский теңсіздіктерін, сонымен қатар Соболев кеңістігінде енгізу теоремаларын $H^1(\Omega) \subset L_r(\Omega)$ және $H^1(\Omega) \subset L_{2r(p-2)/(r-2)}(\Omega)$, $r = \frac{2N}{N-2}$, $p \leq 2 + \frac{2}{N-2}$, $N \geq 3$. $u_1(x,t)$ және $u_2(x,t)$ функцияларының тегістік қасиеттерін қолданып келесі бағалау алынады

$$\left| b \int_0^t \int_{\Omega} (|u_1|^{p-2} u_1 - |u_2|^{p-2} u_2) u_{\tau}(\tau) dx d\tau \right| \leq \frac{1}{6} \int_0^t \int_{\Omega} u_{\tau}^2(\tau) dx d\tau + C_{13} \int_0^t (a \|\nabla u(\tau)\|_{2,\Omega}^2 + c \|u(\tau)\|_{2,\Omega}^2) d\tau. \quad (21)$$

Осыған ұқсас оң жақтағы қалған қосылғыштар $\sigma \leq 2 + \frac{1}{N-2}$, $N \geq 3$ үшін бағаланады

$$\begin{aligned} & \left| \chi K g(0) \int_0^t \int_{\Gamma} (|u_1(\tau)|^{\sigma-2} u_1(\tau) - |u_2(\tau)|^{\sigma-2} u_2(\tau)) u_{\tau}(\tau) d\Gamma d\tau \right| \leq \\ & \leq \frac{1}{6} \int_0^t \int_{\Omega} u_{\tau}^2(\tau) dx d\tau + C_{14} \int_0^t (a \|\nabla u(\tau)\|_{2,\Omega}^2 + c \|u(\tau)\|_{2,\Omega}^2) d\tau. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left| \int_0^t \int_0^{\tau} \int_{\Gamma} g_1(\tau-s) (|u_1(s)|^{\sigma-2} u_1(s) - |u_2(s)|^{\sigma-2} u_2(s)) u_{\tau}(\tau) d\Gamma ds d\tau \right| \leq \\ & \leq \frac{1}{6} \int_0^t \int_{\Omega} u_{\tau}^2(\tau) dx d\tau + C_{15} \int_0^t (a \|\nabla u(\tau)\|_{2,\Omega}^2 + c \|u(\tau)\|_{2,\Omega}^2) d\tau. \end{aligned} \quad (22)$$

Алынған (21) және (22) теңсіздіктерден

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} |u_t|^2 dx + \int_{\Omega} (a|\nabla u|^2 + c|u|^2) dx + 2\chi \int_0^t \int_{\Omega} |\nabla u_{\tau}|^2 dx d\tau + 2 \int_0^t \int_{\Omega} |u_{\tau}|^q dx d\tau \leq \\ & \leq C_{16} \int_0^t \left(\int_{\Omega} u_{\tau}^2(\tau) dx + \int_{\Omega} (a|\nabla u|^2 + c|u|^2) dx \right) d\tau, \end{aligned}$$

шығады, бұдан Грануолла леммасынан $(0, T)$ интервалының барлық жерде дерлік уақытында

$$\int_{\Omega} |u_t|^2 dx + \int_{\Omega} (a|\nabla u|^2 + c|u|^2) dx = 0 \text{ теңдігі алынады. Осыдан (1)-(3) есебінің әлді жалпылама}$$

шешімі жалғыздығы шығады.

Қорытынды

Жұмыста псевдогиперболалық теңдеу үшін сызықты емес динамикалық шекаралық шартты шеттік есебі зерттелген. Бқл есептің қиындығы теңдеудің өзі сызықты емес және шекаралық шарты сызықты емес, сонымен қатар локалді еместігінде. Сызықты емес есептерді зерттеу қазіргі таңда математиктер, механиктер мен физиктердің қызығушылығын тудыруда. Себебі сызықты емес есептердің қолданылулар аумағы өте кең.

Бұл жұмыста шеттік есептің шешімі бар және жалғыздығы соболев кеңістігінде дәлелденді. Бұл жұмыста алынған нәтижелер мен әдістер басқа да сызықты емес есептерде қолданыстарын табады.

Жұмыс ҚР БҒМ АР 08052425 жобасын гранттық қаржыландыру есебінен орындалды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Timoshenko P.S. On the correction for shear of the differential equation for transverse vibrations of prismatic bars // *The London, Edinburgh, and Dublin Philos. Mag. J. Sci.* -1921.-41.-P.744–746. <https://doi.org/10.1080/14786442108636264>
- 2 Feng D., Shi D., and Zhang W. Boundary feedback stabilization of Timoshenko beam with boundary dissipation // *Sci. China Math.* -1998.- 4.-P.483–490. <https://doi.org/10.1007/BF02879936>
- 3 Kim J.U. and Renardy Y. Boundary control of the Timoshenko beam // *SIAM J. Contr. Optim.* -1987-25.-P. 1417–1429.
- 4 Messaoudi S.A. and Mustafa M.I. On the internal and boundary stabilization of Timoshenko beams // *Nonlin. Diff. Eq. Appl.* -2008.-15.-P. 655–671. <https://doi.org/10.1007/s00030-008-7075-3>
- 5 Raposo C., Ferreira J., Santos M. and Castro N. Exponential stability for the Timoshenko system with two weak dampings // *Appl. Math. Lett.* -2005. -Vol.18,-P. 535–541. <https://doi.org/10.1016/j.aml.2004.03.017>
- 6 Kafini M. and Messaoudi S.A. Local existence and blow up of solutions to a logarithmic nonlinear wave equation with delay // *Appl Anal.* -2018. -Vol. 46. -P.530-547. <https://doi.org/10.1080/00036811.2018.1504029>
- 7 Ghegal S., Hamchi I. Messaoudi S. A. Global existence and stability of a nonlinear wave equation with variable-exponent nonlinearities // *Appl Anal.* -2018.-P.1333-1343. <https://doi.org/10.1080/00036811.2018.1530760>
- 8 Ball J. Remarks on blow-up and nonexistence theorems for nonlinear evolution equations // *Quart J Math.* - 1977. -Vol. 28. -P. 473–486.
- 9 Haraux A, Zuazua E. Decay estimates for some semilinear damped hyperbolic problems // *Arch Ration Mech Anal.* -1988. -Vol.150, -P. 191–206. <https://doi.org/10.1007/BF00282203>
- 10 Levine H. Some additional remarks on the nonexistence of global solutions to nonlinear wave equations // *SIAM J Math Anal.* -1974. -Vol. 5, -P. 138–146. <https://doi.org/10.1137/0505015>
- 11 Cavalcanti M.M., Domingos Cavalcanti V.N., Ferreira J. Existence and uniform decay for nonlinear viscoelastic equation with strong damping // *Math Methods Appl Sci.* -2001. - Vol.24, -P. 1043–1053. <http://dx.doi.org/10.1002/mma.250>
- 12 Korpusov M.O. On blow up of solutions to a Kirchhoff type dissipative wave equation with a source and positive energy // *Sib Math J.* -2012. -Vol.53, 702–717. <https://doi.org/10.1134/S003744661204012X>
- 13 Showalter R. E. Existence and representation theorems for a semilinear Sobolev equation in Banach space // *SIAM J. Math. Anal.* -1972. -Vol.3, № 3. -P. 527-543.
- 14 Korpusov M.O. Blow-up of ion-sound waves in plasma with non-linear sources on the boundary // *Izv.: Mathematics.* -2012. -Vol. 76(2). -P.310-345. <https://doi.org/10.1070/IM2012v076n02ABEH002584>
- 15 Айтжанов С.Е., Бекенаева К.С., Жумагул Г.О. Разрешимость псевдогиперболического уравнения с нелинейным граничным условием // *Вестник КазНУ. Серия математика, механика, информатика.* 2020. -Т.108. №4. -С. 26-37. <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2020.v108.i4.03>

Reference:

- 1 Timoshenko P.S. (1921) On the correction for shear of the differential equation for transverse vibrations of prismatic bars // *The London, Edinburgh, and Dublin Philos. Mag. J. Sci.* 41, P.744-746.
- 2 Feng D., Shi D., and Zhang W. (1998) Boundary feedback stabilization of Timoshenko beam with boundary dissipation // *Sci. China Math.* 41,-P.483–490.
- 3 Kim J.U. and Renardy Y. (1987) Boundary control of the Timoshenko beam // *SIAM J. Contr. Optim.* 25, -P. 1417–1429.
- 4 Messaoudi S.A. and Mustafa M.I. (2008) On the internal and boundary stabilization of Timoshenko beams *Nonlin. Diff. Eqs. Appl.* 15 -P. 655–671.
- 5 Raposo C., Ferreira J., Santos M. and Castro N. (2005) Exponential stability for the Timoshenko system with two weak dampings // *Appl. Math. Lett.*18,-P. 535–541.

- 6 Kafini M. and Messaoud S.A. (2018) Local existence and blow up of solutions to a logarithmic nonlinear wave equation with delay // *Appl Anal.* -P.530-547.
- 7 Ghegal S., Hamchi I. Messaoudi S. A. (2018) Global existence and stability of a nonlinear wave equation with variable-exponent nonlinearities // *Appl Anal.* -P.1333-1343.
- 8 Ball J. (1977) Remarks on blow-up and nonexistence theorems for nonlinear evolution equations // *Quart J Math.* 28, -P. 473–486.
- 9 Haraux A, Zuazua E. (1988) Decay estimates for some semilinear damped hyperbolic problems // *Arch Ration Mech Anal.* 150, -P. 191–206.
- 10 Levine H. (1974) Some additional remarks on the nonexistence of global solutions to nonlinear wave equations // *SIAM J Math Anal.*5, -P. 138–146.
- 11 Cavalcanti M.M., Domingos Cavalcanti V.N., Ferreira J. (2001) Existence and uniform decay for nonlinear viscoelastic equation with strong damping // *Math Methods Appl Sci.*24, -P. 1043–1053.
- 12 Korpusov M.O.(2012) On blow up of solutions to a Kirchhoff type dissipative wave equation with a source and positive energy // *Sib Math J.* -Vol.53, 702–717.
- 13 Showalter R. E. (1972) Existence and representation theorems for a semilinear Sobolev equation in Banachspace // *SIAM J. Math. Anal.* -3, № 3. -P. 527-543.
- 14 Korpusov M.O. (2012) Blow-up of ion-sound waves in plasma with non-linear sources on the boundary // *Izv.: Mathematics.* -Vol. 76(2). -P.310-345.
- 15 Aitzhanov S.E., Bekenayeva K.S., Zhmagul G.O. Razreshimost' psevdogiperbolicheskogo uravneniya s nelineynym granichnym usloviyem [Solvability of a pseudo-hyperbolic equation with a nonlinear boundary condition]. *Vestnik KazNU. Seriya matematika, mekhanika, informatika.* 2020. -T.108. №4. -C. 26-37. (In Russian)

А.Е. Игенберлина¹, Ж.А. Кеулимжаева^{2*}

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, г.Нур-Султан, Казахстан

²Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г.Нур-Султан, Казахстан

*e-mail: zh.keulimzhayeva@mail.ru

ДВОИЧНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ НЕПРЕРЫВНОСТИ И НАИЛУЧШИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИИ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ ПОЛИНОМАМИ УОЛША

Аннотация

В теории ортогональных рядов, наряду с тригонометрическими системами, широко используются системы Хаара, Уолша и их обобщения. Классическая теория рядов Фурье имеет дело с разложением функций по синусоидальным гармоникам. В отличие от этих непрерывных гармоник, функции Уолша представляют собой «прямоугольные» волны. Оказалось, что в некоторых случаях они предпочтительнее синусоидальных волн. Изучение классических функциональных пространств основано на приближении функций тригонометрическими полиномами, а в данной работе рассмотрены функциональные пространства с точки зрения приближения функций частичными суммами Фурье-Уолша на двоичной группе: устанавливается связь между двоичным интегральным модулем непрерывности и наилучшими приближениями функции многих переменных полиномами Уолша. Кроме этого, дана интегральная оценка частичных сумм кратного ряда Фурье-Уолша и изучена связь между отклонениями таких сумм кратного ряда от функции и групповым модулем непрерывности. В одномерном случае двоичные модули непрерывности рассмотрены в монографии Голубова Б.И. Ряды и преобразования Уолша. Теория и применения.

Ключевые слова: интеграл, непрерывность, полином, полином Уолша, двоичная свёртка, модуль непрерывности, двоичный интервал.

Аңдатпа

А.Е. Игенберлина¹, Ж.А. Кеулимжаева^{2*}

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

²Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

ЕКІЛІК ИНТЕГРАЛДЫҚ ҮЗІЛІССІЗДІК МОДУЛІ ЖӘНЕ КӨП АЙНЫМАЛЫ ФУНКЦИЯЛАРДЫҢ УОЛШ ПОЛИНОМДАРЫ АРҚЫЛЫ ЕҢ ЖАҚЫН ЖУЫҚТАУЛАРЫ

Ортогоналдық қатарлар теориясында тригонометриялық жүйелермен қатар Хаар және Уолш жүйелері мен олардың жалпылаулары кеңінен қолданылады. Фурье қатарының классикалық теориясы синусоидальды гармоника бойынша функциялардың жіктелуімен айналысады. Уолш функцияларының осы үзіліссіз гармоникалардан айырмашылығы, олар «тікбұрышты» толқындар болып табылады. Кейбір жағдайларда олар синусоидальды толқындардан артықшылығы бар екендігі белгілі болды. Классикалық функционалдық кеңістіктерді зерттеу функциялардың тригонометриялық көпмүшеліктер арқылы жуықтауына негізделген және бұл жұмыста функционалдық кеңістіктер функциялардың екілік группадағы Фурье-Уолштың дербес қосындыларымен жуықталуы тұрғысынан қарастырылады: көп айнымалы функцияларды Уолш көпмүшеліктерімен ең жақсы жуықтау және екілік интегралдық үзіліссіздік модулі арасында өзара байланыстар орнатылады. Сонымен қатар, Фурье-Уолш еселі қатарларының дербес қосындыларының интегралдық бағалауы келтіріліп, функцияның еселі қатарының мұндай қосындылары мен үзіліссіздіктің группалық модулі арасындағы байланысы зерттеледі. Бір өлшемді жағдайда үзіліссіздіктің екілік модульдері Б.И. Голубовтың "Қатарлар және Уолш түрлендірулері. Теория және қолданылуы" атты монографиясында қарастырылған.

Түйін сөздер: интеграл, үзіліссіздік, көпмүшелік, Уолш полиномы, екілік үйірткі, үзіліссіздік модулі, екілік интервал.

Abstract

THE DYADIC INTEGRAL MODULE OF CONTINUITY AND BEST APPROXIMATIONS OF A FUNCTION OF MULTIPLE VARIABLES BY WALSH POLYNOMIALS.

Igenberlina A¹., Keulimzhayeva Zh²

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

²S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

In the theory of orthogonal series, along with trigonometric systems, Haar and Walsh systems and their generalizations are widely used. The classical theory of Fourier series deals with the expansion of functions in sinusoidal harmonics.

Unlike these continuous harmonics, Walsh functions are "square" waves. It turned out that in some cases they are preferable to sinusoidal waves. The study of classical function spaces is based on the approximation of functions by trigonometric polynomials, and in this paper, functional spaces are considered from the point of view of approximation of functions by partial Fourier-Walsh sums on a dyadic group: a connection is established between the dyadic integral modulus of continuity and the best approximations of a function of many variables by Walsh polynomials. In addition, an integral estimate of the partial sums of the multiple Fourier-Walsh series is given and the relationship between the deviations of such sums of the multiple series from the function and the group modulus of continuity is studied. In the one-dimensional case, dyadic modules of continuity are considered in the monograph by Golubov B.I. «Walsh series and transformations. Theory and applications».

Keywords: integral, continuity, polynomial, Walsh polynomial, dyadic convolution, modulus of continuity, dyadic interval.

§1. Основные понятия и вспомогательные леммы

Ортонормированная система Уолша, построенная впервые в 1923 году американским ученым Дж. Уолшем [1] и далее развитая Н.Файном [2], [3], нашла широкое применение в гармоническом анализе, теории функций и функционального анализа, теории вероятностей. Известно и практическое применение этой теории в решении задач теории кодирования, разработке фильтров и в теории распознавания образов, о чем подробно изложено в монографиях [4], [5], [6], [7]. Системам Уолша и ее обобщениям посвящены работы В.И. Голубова, А.В. Ефимова, В.А. Скворцова [8]; Ф. Шиппа, В. Вейда, Н.Я. Симона [9]; Г.Н. Агаева, Н.Я. Виленкина, Г.М. Джафарли, А.И. Рубинштейна [10].

Пусть $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k) \in R_k$, $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_k)$, $n_i \in N$, $i = 1, 2, \dots, k$, $\{w_{n_i}(x_i)\}$ - система Уолша по переменной x_i . Тогда кратную систему Уолша определим следующим образом:

$$w_{\bar{n}}(\bar{x}) = \prod_{i=1}^k w_{n_i}(x_i).$$

Из определения следует, что функции Уолша постоянны на некоторых двоичных полуинтервалах. Полуинтервалы вида:

$$\Delta_m^{(n)} = \left[\frac{m}{2^n}, \frac{m+1}{2^n} \right), \quad 0 \leq m \leq 2^n - 1, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

в дальнейшем будем называть двоичными интервалами n -го ранга. Они задают разбиение полуинтервала $[0, 1)$:

$$[0, 1) = \bigcup_{m=0}^{2^n-1} \Delta_m^{(n)},$$

при этом $\Delta_0^{(0)} \equiv [0, 1)$. Произвольный интервал ранга n обозначим через $\Delta^{(n)}$.

Пусть $\Delta^j(x)$, $j = 0, 1, 2, \dots$, - двоичный интервал j -го ранга, содержащий $x \in [0, 1)$. Обозначим через

$Q_k = Q_k^0 = \{ \bar{x} : 0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, \dots, k \}$ - k -мерный единичный куб,

$$Q_{\bar{m}, k}^j(\bar{x}) = \Delta_{m_1}^j(x_1) \times \Delta_{m_2}^j(x_2) \times \dots \times \Delta_{m_k}^j(x_k) =$$

$= \left\{ \bar{x} \in Q_k : \frac{m_i}{2^j} \leq x_i < \frac{m_i+1}{2^j}, \quad 0 \leq m_i \leq 2^j - 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots; \quad i = 1, \dots, k \right\}$ - k -мерный, куб j -го ранга,

содержащий точку $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$;

$$Q_{0,k}^j(\bar{x}) = \left\{ \bar{x} \in Q_k : 0 \leq x_i \leq \frac{1}{2^j}, \quad j = 0, 1, 2, \dots; \quad i = 1, \dots, k \right\};$$

Q_k^j - произвольный k -мерный куб j -го ранга, а Φ_j - характеристическая функция множества Q_k^j .

Ясно, что:

$$\mu(Q_{\bar{m}, k}^j) = \mu(\Delta_{\bar{m}}^j)^k = \left(\frac{1}{2^j} \right)^k, \quad \text{где } \mu \text{ обозначает меру Лебега множества.}$$

Через

$$D_{\bar{n}}(\bar{x}) = \prod_{i=1}^k D_{n_i}(x_i) = \prod_{i=1}^k \sum_{l=0}^{n_i-1} w_l(x_i)$$

обозначим кратное ядро Дирихле по системе $\{w_{\bar{n}}(\bar{x})\}$.

Известно, что в одномерном случае имеет место равенство [8]:

$$D_{2^j}(x) = \begin{cases} 2^k, & \text{при } x \in \Delta_0^k \\ 0, & \text{при } x \in [0,1) \setminus \Delta_0^k \end{cases}$$

Отсюда непосредственно вытекает, что для кратного ядра Дирихле $D_{2^j, \dots, 2^j}(\bar{x})$ по системе $\{w_{\bar{n}}(\bar{x})\}$ верна оценка:

$$D_{2^j, \dots, 2^j}(x_1, \dots, x_k) = \begin{cases} 2^{kj}, & \text{при } \bar{x} \in Q_{0,k}^j \\ 0, & \text{при } \bar{x} \in [0,1)^k \setminus Q_{0,k}^j \end{cases} \quad (1)$$

Пусть $f(\bar{x}) \in L_p(Q_k)$, $1 < p \leq \infty$. Рассмотрим кратный ряд Фурье-Уолша функции $f(\bar{x})$

$$f(\bar{x}) \sim \sum_{\bar{l}=0}^{\infty} c_{\bar{l}}(f) w_{\bar{l}}(\bar{x}), \quad \sum_{\bar{l}=0}^{\infty} = \sum_{l_1=0}^{\infty} \dots \sum_{l_k=0}^{\infty}, \quad \bar{x} = (x_1, \dots, x_k), \quad \bar{l} = (l_1, l_2, \dots, l_k),$$

где $c_{\bar{l}}(f) = \int_{Q_k} w_{\bar{l}}(\bar{x}) f(\bar{x}) d\bar{x}$ - коэффициенты Фурье-Уолша, $d\bar{x} = dx_1 \dots dx_k$.

Прямоугольные частичные суммы ряда Фурье-Уолша порядка \bar{n} обозначим:

$$S_{\bar{n}} f(\bar{x}) = \sum_{\bar{l}=0}^{\bar{n}-1} c_{\bar{l}} w_{\bar{l}}(\bar{x}) = \sum_{l_1=0}^{n_1-1} \sum_{l_2=0}^{n_2-1} \dots \sum_{l_k=0}^{n_k-1} c_{l_1, \dots, l_k} w_{l_1}(x_1) w_{l_2}(x_2) \dots w_{l_k}(x_k).$$

Лемма 1. Пусть $f(\bar{x}) \in L_1(Q_k)$, тогда имеет место равенство:

$$S_{2^j, \dots, 2^j} f(\bar{x}) = 2^{kj} \int_{Q_{\bar{m},k}^j} f(\bar{t}) d\bar{t}, \quad \text{при } \bar{x} \in Q_{\bar{m},k}^j,$$

где $\bar{t} = (t_1, \dots, t_k)$, $d\bar{t} = dt_1 \dots dt_k$, $\bar{m} = (m_1, \dots, m_k)$, $\int_{Q_{\bar{m},k}^j} = \int_{\Delta_{m_1}^j} \dots \int_{\Delta_{m_k}^j}$.

Доказательство:

В выражение для частной суммы ряда подставим значение коэффициентов Фурье-Уолша:

$$S_{\bar{n}} f(\bar{x}) = \sum_{\bar{l}=0}^{\bar{n}-1} \int_{Q_k} w_{\bar{l}}(\bar{t}) f(\bar{t}) w_{\bar{l}}(\bar{x}) d\bar{t} = \int_{Q_k} f(\bar{t}) \left(\sum_{\bar{l}=0}^{\bar{n}-1} w_{\bar{l}}(\bar{t} \oplus \bar{x}) \right) d\bar{t}.$$

Из определения ядра Дирихле и инвариантности интеграла относительно сдвига получим:

$$S_{\bar{n}} f(\bar{x}) = \int_{Q_k} f(\bar{t}) D_{\bar{n}}(\bar{x} \oplus \bar{t}) d\bar{t} = \int_{Q_k} f(\bar{x} \oplus \bar{t}) D_{\bar{n}}(\bar{t}) d\bar{t}.$$

В частности, для частичных сумм с $n_i = 2^j$, $i = 1, 2, \dots, k$ можно записать

$$S_{2^j, \dots, 2^j} f(\bar{x}) = \int_{Q_k} D_{2^j, \dots, 2^j}(\bar{t}) f(\bar{x} \oplus \bar{t}) d\bar{t} = 2^{kj} \int_{Q_{0,k}^j} f(\bar{x} \oplus \bar{t}) d\bar{t}. \quad (2)$$

Далее, если $\bar{x} \in Q_{\bar{m},k}^j$, то при $\bar{t} \in Q_{0,k}^j$ выполняется [8]: $\bar{x} \oplus \bar{t} \in Q_{\bar{m},k}^j$.

Следовательно,

$$S_{2^j, \dots, 2^j} f(\bar{x}) = 2^{kj} \int_{Q_{\bar{m},k}^j} f(\bar{t}) d\bar{t}, \quad \text{при } \bar{x} \in Q_{\bar{m},k}^j, \quad \text{где } \bar{t} = (t_1, \dots, t_k), \quad d\bar{t} = dt_1 \dots dt_k.$$

Определение 1.

Двоичным интегральным модулем непрерывности функции $f \in L_p(Q^k)$, $1 \leq p < \infty$ называется следующая величина

$$\omega_p(f, \delta_1, \dots, \delta_k) = \sup_{0 \leq h_i < \delta_i} \|f(\bar{x} \oplus \bar{h}) - f(\bar{x})\|_p,$$

а для $f \in C[0,1]^k$ двоичным модулем непрерывности называется величина

$$\omega(f, \delta_1, \dots, \delta_k) = \sup_{0 \leq h_i < \delta_i} \|f(\bar{x} \oplus \bar{h}) - f(\bar{x})\|_{C[0,1]^k},$$

где $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$; $\bar{h} = (h_1, h_2, \dots, h_k)$; $i = 1, 2, \dots, k$.

Здесь, в отличие от классических определений, сдвиг берётся относительно операции \oplus . Наилучшее приближение функции $f \in L_p(Q^k)$ полиномами по системе Уолша, порядок которых не превышает $2^{n_1} \cdot 2^{n_2} \cdot \dots \cdot 2^{n_k}$ обозначим следующим образом:

$$E_p(2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}, f) = \inf_{\{a_{j_1, \dots, j_k}\}} \left\| f(\bar{x}) - \sum_{j_1=0}^{2^{n_1}-1} \dots \sum_{j_k=0}^{2^{n_k}-1} a_{j_1, \dots, j_k} w_{j_1}(x_1) \dots w_{j_k}(x_k) \right\|_p.$$

§2. Постановка задачи и формулировка основных утверждений

Известно, что в одномерном случае между групповым модулем непрерывности функции $f \in L_p[0,1]$ и её наилучшими приближениями полиномами по системе Уолша в метрике $L_p[0,1]$ справедливы неравенства, доказанные Watari С. [11]:

$$E_p(2^n, f) \leq \omega_p(2^{-n}, f) \leq 2 E_p(2^n, f).$$

Основной целью данной работы является распространение указанных неравенств на кратный случай. В одномерном случае двоичные модули непрерывности рассмотрены в монографии Голубова Б.И. [8].

Теорема 1. Если $1 \leq p < \infty$, $f \in L_p(Q^k)$, то имеют место следующие неравенства:

$$\frac{1}{2} \omega_p(2^{-n_1}, 2^{-n_2}, \dots, 2^{-n_k}, f) \leq \|f - S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)\|_p \leq \omega_p(2^{-n_1}, 2^{-n_2}, \dots, 2^{-n_k}, f).$$

Теорема 2. Если $1 \leq p < \infty$, $f \in L_p(Q^k)$, то имеют место следующие неравенства:

$$E_p(2^{n_1}, 2^{n_2}, \dots, 2^{n_k}, f) \leq \|f - S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)\|_p \leq 2 E_p(2^{n_1}, 2^{n_2}, \dots, 2^{n_k}, f). \tag{3}$$

Из теоремы 1 и теоремы 2 непосредственно вытекает

Следствие 1. Если $f \in L_p(Q^k)$, $1 \leq p < \infty$, то имеют место соотношения:

$$\omega_p(2^{-n_1}, 2^{-n_2}, \dots, 2^{-n_k}, f) \asymp E_p(2^{n_1}, 2^{n_2}, \dots, 2^{n_k}, f) \asymp \|f - S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)\|_p.$$

Здесь и в дальнейшем запись $\|f\| \asymp \|g\|$ означает, что существуют положительные постоянные c_1, c_2 , не зависящие от f и g :

$$c_1 \|g\| \leq \|f\| \leq c_2 \|g\|.$$

Определение 2. Говорят, что $f(x, y) \in Lip(\alpha, p, W)$, если имеет место оценка:

$$\|f(x \oplus h_1, y \oplus h_2) - f(x, y)\|_p = O(h_1^\alpha + h_2^\alpha).$$

Следствие 2. Пусть $0 < \alpha + \beta \leq 1$, $r \geq 1$, $s \geq 1$, $1 - \frac{1}{s} + \frac{1}{t} = \frac{1}{r}$. Тогда, если $f \in Lip(\alpha, r, W)$ и $g \in Lip(\beta, s, W)$, то $(f * g) \in Lip(\alpha + \beta, t, W)$.

§3. Доказательство утверждений

Для краткости доказательство проведём для двумерного случая, то есть $k = 2$.

Доказательство теоремы 1: На основании равенства (2) и свойства (1) ядра $D_{2^{n_1} 2^{n_2}}(t_1, t_2)$, используя неравенство Гёльдера, имеем:

$$\begin{aligned} \|f - S_{2^{n_1} 2^{n_2}}(f)\|_p &= \left(\int_0^1 \int_0^1 \left| f(x, y) - \int_0^1 \int_0^1 f(x \oplus t_1, y \oplus t_2) D_{2^{n_1} 2^{n_2}}(t_1, t_2) dt_1 dt_2 \right|^p dx dy \right)^{1/p} \leq \\ &\leq \left(\int_0^1 \int_0^1 \left(\int_0^{2^{-n_1}} \int_0^{2^{-n_2}} |f(x, y) - f(x \oplus t_1, y \oplus t_2)| D_{2^{n_1} 2^{n_2}}(t_1, t_2) dt_1 dt_2 \right)^p dx dy \right)^{1/p} \leq \\ &\leq \int_0^{2^{-n_1}} \int_0^{2^{-n_2}} D_{2^{n_1} 2^{n_2}}(t_1, t_2) dt_1 dt_2 \left(\int_0^1 \int_0^1 |f(x, y) - f(x \oplus t_1, y \oplus t_2)|^p dx dy \right)^{1/p} \leq \\ &\leq \int_0^{2^{-n_1}} \int_0^{2^{-n_2}} D_{2^{n_1} 2^{n_2}}(t_1, t_2) \omega_p(2^{-n_1}, 2^{-n_2}, f) dt_1 dt_2 = \omega_p(2^{-n_1}, 2^{-n_2}, f). \end{aligned}$$

Пусть теперь $\bar{h} = (h_1, h_2)$ - произвольный элемент из $[0, 2^{-n_1}] \times [0, 2^{-n_2}]$, а $P \in B_{2^{n_1+n_2}}$. Тогда для полинома порядка $2^{n_1+n_2}$ по системе Уолша при $0 \leq h_1 < 2^{-n_1}$, $0 \leq h_2 < 2^{-n_2}$, согласно свойству системы Уолша, выполняется равенство:

$$P(x, y) = P(x \oplus h_1, y \oplus h_2).$$

Поэтому для любого $(x, y) \in G \times G$ справедлива оценка

$$\|f(\cdot, \cdot) - f(\cdot \oplus h_1, \cdot \oplus h_2)\|_p \leq \|f(\cdot, \cdot) - P(\cdot, \cdot)\|_p + \|f(\cdot \oplus h_1, \cdot \oplus h_2) - P(\cdot \oplus h_1, \cdot \oplus h_2)\|_p = 2\|f - P\|_p.$$

Принимая за P полином наилучшего приближения порядка $2^{n_1+n_2}$, получим:

$$\|f(\cdot, \cdot) - f(\cdot \oplus h_1, \cdot \oplus h_2)\|_p \leq 2E_p(2^{n_1}, 2^{n_2}, f) \leq 2\|f(\cdot, \cdot) - S_{2^{n_1} 2^{n_2}}(f)(\cdot, \cdot)\|_p.$$

Поэтому, в силу произвольности \bar{h}

$$\omega_p(2^{-n_1}, 2^{-n_2}, f) \leq 2\|f(\cdot, \cdot) - S_{2^{n_1} 2^{n_2}}(f)(\cdot, \cdot)\|_p.$$

Лемма 2. Пусть $1 \leq p < \infty$, $f \in L_p(Q^k)$. Тогда имеет место следующее неравенство:

$$\|S_{2^{n_1} \dots 2^{n_k}}(f)\|_p \leq \|f\|_p, \quad n_i = 0, 1, 2, \dots; \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

Доказательство: Пусть $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$. Согласно Лемме 1 справедливо равенство:

$$\begin{aligned} \|S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)\|_p &= \left(\int_{Q_k} |S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)|^p \right)^{1/p} = \left\{ \sum_{m_1=0}^{2^{n_1}-1} \sum_{m_2=0}^{2^{n_2}-1} \dots \sum_{m_k=0}^{2^{n_k}-1} \int_{Q_{m,k}^{\bar{n}}} |S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)|^p d\bar{x} \right\}^{1/p} \\ &= \left\{ \sum_{m_1=0}^{2^{n_1}-1} \sum_{m_2=0}^{2^{n_2}-1} \dots \sum_{m_k=0}^{2^{n_k}-1} \left| 2^{(n_1+n_2+\dots+n_k)} \int_{Q_{m,k}^{\bar{n}}} f(\bar{t}) d\bar{t} \right|^p \mu Q_{m,k}^{\bar{n}} \right\}^{1/p} = 2^{\frac{n_1+n_2+\dots+n_k}{q}} \left\{ \sum_{m_1=0}^{2^{n_1}-1} \sum_{m_2=0}^{2^{n_2}-1} \dots \sum_{m_k=0}^{2^{n_k}-1} \left(\int_{Q_{m,k}^{\bar{n}}} f(\bar{t}) d\bar{t} \right)^p \right\}^{1/p}. \end{aligned}$$

Для внутреннего интеграла, используя неравенство Гёльдера, имеем:

$$\left(\int_{Q_{m,k}^{\bar{n}}} f(\bar{t}) d\bar{t} \right)^p \leq \int_{Q_{m,k}^{\bar{n}}} |f(\bar{t})|^p d\bar{t} (\mu Q_{m,k}^{\bar{n}})^{1/q} = 2^{\frac{n_1+n_2+\dots+n_k}{q}} \int_{Q_{m,k}^{\bar{n}}} |f(\bar{t})|^p d\bar{t}.$$

Следовательно,

$$\|S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)\|_p \leq \|f\|_p.$$

В одномерном случае аналогичное утверждение доказано Ульяновым [8].

Доказательство теоремы 2: Левая часть (3) следует из определения наилучшего приближения $E_p(2^{n_1}, 2^{n_2}, \dots, 2^{n_k}, f)$. Для доказательства правой части, обозначим через $P_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(\bar{x})$ полином Уолша наилучшего приближения функции f . Ясно, что:

$$S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(P_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(\bar{x})) = P_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(\bar{x}).$$

Пользуясь неравенством Минковского и Леммой 2, получим:

$$\begin{aligned} \|f - S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f)\|_p &= \|f - P_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}} - S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f - P_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}})\|_p \leq \\ &\leq \|f - P_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}\|_p + \|S_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}}(f - P_{2^{n_1}, \dots, 2^{n_k}})\|_p = 2 E_p(2^{n_1}, 2^{n_2}, \dots, 2^{n_k}, f). \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Так как в нашей работе используется двоичная свёртка, для полноты изложения приведём аналог классического неравенства Юнга [12] о свёртках.

Неравенство Юнга. Пусть p, q, r – вещественные числа такие, что:

$$1 \leq p \leq q \leq \infty, \quad 1 - \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{r}.$$

Пусть $f(x) \in L_p(R^+)$ и $g(x) \in L_r(R^+)$ и $J(x) = \int_0^\infty f(y)g(y \oplus x)dy$. Тогда имеет место оценка:

$$\|J\|_q \leq \|g\|_r \|f\|_p. \quad (4)$$

Доказательство: Пусть $1 < p < q < \infty$, $r < q$.

Запишем $|fg|$ в виде:

$$|fg| = \left(|f|^p |g|^r \right)^{1/q} |g|^{1-r/q} |f|^{1-p/q}$$

и применим для оценки интеграла под знаком нормы в левой части (4) неравенство Гёльдера для трех функций при

$$p_1 = q, \quad p_2 = p' = \frac{r}{1-\frac{r}{q}}, \quad p_3 = \frac{p}{1-\frac{p}{q}} \quad \left(\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p_3} = 1 \right).$$

Тогда:

$$|J(x)| \leq \left(\int_0^\infty |f(y)|^p |g(x \oplus y)|^r dy \right)^{\frac{1}{q}} \|g\|_r^{1-\frac{r}{q}} \|f\|_p^{1-\frac{p}{q}}.$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \|J(x)\|_q &\leq \|g\|_r^{1-\frac{r}{q}} \|f\|_p^{1-\frac{p}{q}} \left(\int_0^\infty dx \int_0^\infty |f(y)|^p |g(y \oplus x)|^r dy \right)^{\frac{1}{q}} = \\ &= \|g\|_r^{1-\frac{r}{q}} \|f\|_p^{1-\frac{p}{q}} \left(\int_0^\infty |f(y)|^p dy \int_0^\infty |g(x)|^r dx \right)^{\frac{1}{q}} = \|g\|_r \|f\|_p. \end{aligned}$$

Доказательство следствия 2: Пусть $P_n, Q_n \in B_n$, $n = (n_1, n_2)$ такие, что

$$\|f - P_n\|_r = \underline{O}(h_1^\alpha + h_2^\alpha), \quad \|g - Q_n\|_s = \underline{O}(h_1^{-\beta} + h_2^{-\beta}).$$

Тогда, согласно неравенству Юнга,

$$\|(f - P_n) * (g - Q_n)\|_t \leq \|f - P_n\|_r \|g - Q_n\|_s = \underline{O}(h_1^{-(\alpha+\beta)} + h_2^{-(\alpha+\beta)}).$$

С другой стороны,

$$\|(f - P_n) * (g - Q_n)\|_t = \|f * g - (P_n * g + f * Q_n - P_n * Q_n)\|,$$

а

$$P_n * g + f * Q_n - P_n * Q_n \in B_n.$$

Отсюда следует, что

$$E_{n_1 n_2}^t (f * g) = \underline{O}(h_1^{-(\alpha+\beta)} + h_2^{-(\alpha+\beta)}),$$

а значит, по Теореме 1

$$(f * g)(x, y) \in Lip(\alpha + \beta, t, W).$$

Следствие доказано.

Список использованных источников:

- 1 Walsh J.L. A closed set of normal orthogonal functions //Amer. J. Math. -1923. -V.45. -P.5-24. https://www.jstor.org/stable/2387224?origin=JSTOR-pdf#metadata_info_tab_contents
- 2 Fine N.J. On the Walsh functions //Trans.Amer.Math.Soc. -1949. -V.65. -P.372-414. <https://doi.org/10.2307/1990619>
- 3 Fine N.J. The generalised Walsh functions //Trans.Amer.Math. Soc. -1950. -V.69. -P.66-67. <https://doi.org/10.1090/S0002-9947-1950-0042535-2>
- 4 Гольд Б., Рейдер Ч. Цифровая обработка сигналов. -М.:Сов. Радио, 1973. http://pselab.ru/Books/Gold_Rader_1973.pdf
- 5 Федоров Б.Ф., Эльман Р.И. Цифровая голография. -М.:Наука, 1976. <https://ps.lilb.vip/book/2452349/f164fc>
- 6 Хармут Х. Передача информации ортогональными функциями. -М.:Связь, 1975. <https://ps.lilb.net/book/2390730/53cef0>
- 7 Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. -М.:Сов. Радио, 1980. <https://ps.lilb.net/book/2433543/921867>
- 8 Голубов Б.И., Ефимов А.В., Скворцов В.А. Ряды и преобразования Уолша. Теория и применения. -М.:Наука, 1987. -343с. <https://ps.lilb.net/book/2409796/68d1ce>
- 9 Shipp F., Wade W.R., Simon P. Walsh series. An introduction to dyadic harmonic analysis. With the collaboration of J. Pál. Adam Hilger, Ltd., Bristol, 1990. <https://zbmath.org/?q=an%3A0727.42017>
- 10 Агаев Г.Н., Виленкин Н.Я., Джафарли Г.М., Рубинштейн А.И. Мультипликативные системы функции и гармонический анализ на нульмерных группах. -Баку: ЭМИ. -1981. <https://ps.lilb.net/book/573916/adf0fb>

11 Watari C., *Best approximation by Walsh polynomials*. *Tohoku Math.J.*, 15(1963), no. 2, p. 1-5. <https://projecteuclid.org/journals/tohoku-mathematical-journal/volume-15/issue-1/Best-approximation-by-Walsh-polynomials/10.2748/tmj/1178243865.full>

12 Никольский С.М. *Приближение функций многих переменных и теоремы вложения*. -М.:Наука, 1977. -455с. http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=rm&paperid=6669&option_lang=rus

References:

1 Walsh J.L. *A closed set of normal orthogonal functions* // *Amer. J. Math.* -1923. -V.45. -P.5-24. https://www.jstor.org/stable/2387224?origin=JSTOR-pdf#metadata_info_tab_contents

2 Fine N.J. *On the Walsh functions* // *Trans.Amer.Math.Soc.* -1949. -V.65. -P.372-414. <https://doi.org/10.2307/1990619>

3 Fine N.J. *The generalised Walsh functions* // *Trans.Amer.Math. Soc.* -1950. -V.69. -P.66-67. <https://doi.org/10.1090/S0002-9947-1950-0042535-2>

4 Gol'd B., Reyder CH. *Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital signal processing]*. -М.:Sov. Radio, 1973. (In Russian) http://pselab.ru/Books/Gold_Rader_1973.pdf

5 Fedorov B.F., El'man R.I. *Tsifrovaya golografiya [Digital holography]*. -М.:Наука, 1976. (In Russian) <https://ps.lilib.vip/book/2452349/f164fc>

6 Kharmut KH. *Peredacha informatsii ortogonal'nymi funktsiyami [Information transfer by orthogonal functions]*. -М.: Svyaz', 1975. (In Russian) <https://ps.lilib.net/book/2390730/53cef0>

7 Khemming R.V. *Tsifrovyye fil'try [Digital filters]*. -М.:Sov. Radio, 1980. (In Russian) <https://ps.lilib.net/book/2433543/921867>

8 Golubov B.I., Yefimov A.V., Skvortsov V.A. *Ryady i preobrazovaniya Uolsha. Teoriya i primeneniya [Walsh series and transformations. Theory and applications]*. -М.: Nauka, 1987. -343. (In Russian) <https://ps.lilib.net/book/2409796/68d1ce>

9 Shipp F., Wade W.R., Simon P. *Walsh series. An introduction to dyadic harmonic analysis. With the collaboration of J. Pál*. Adam Hilger, Ltd., Bristol, 1990. <https://zbmath.org/?q=an%3A0727.42017>

10 Agayev G.N., Vilenkin N.YA., Dzhafarli G.M., Rubinshteyn A.I. *Mul'tiplikativnyye sistemy funktsii i garmonicheskii analiz na nul'mernykh gruppakh [Multiplicative systems of functions and harmonic analysis on zero-dimensional groups]*. -Baku:EMI. -1981. (In Russian) <https://ps.lilib.net/book/573916/adf0fb>

11 Watari C., *Best approximation by Walsh polynomials*. *Tohoku Math.J.*, 15(1963), no. 2, p. 1-5. <https://projecteuclid.org/journals/tohoku-mathematical-journal/volume-15/issue-1/Best-approximation-by-Walsh-polynomials/10.2748/tmj/1178243865.full>

12 Nikol'skiy S.M. *Priblizheniye funktsiy mnogikh peremennykh i teoremy vlozheniya [Approximation of functions of several variables and embedding theorems]*. - М.: Nauka, 1977. -455. (In Russian) http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=rm&paperid=6669&option_lang=rus

Н.Т. Примхан¹, А.М. Сыздыкова^{1*}, Г.Н. Шайхова¹

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

*e-mail: syzdykova_am@mail.ru

ЕКІ ӨЛШЕМДІ КИРАЛЬДЫ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ШРЕДИНГЕР ТЕНДЕУІНІҢ НАҚТЫ ШЕШІМДЕРІ

Аңдатпа

Математикалық физиканың сызықты емес дербес дифференциалдық теңдеулері физиканың маңызды объектісі болып табылады. Осындай белгілі теңдеулердің бірі – сызықты емес Шредингер теңдеуі болып табылады, ол гидродинамика, сызықтық емес оптика, кванттық механика және т.б. салаларда қолданылады. Сызықты емес дербес дифференциалдық теңдеулердің нақты шешімдерін іздеу сызықтық емес құбылыстардың динамикасын зерттеуде маңызды рөл атқарады. Қазіргі уақытта нақты шешімдерді табудың көптеген тиімді және эффективті әдістері бар. Бұл жұмыста біз сәйкес сызықты емес мүшелері бар екі өлшемді киральды сызықты емес Шредингер теңдеуін зерттейміз. Бұл теңдеу бір өлшемді сызықты емес Шредингер теңдеуінің кеңейтілі болып табылады және Абловиц-Кауп-Ньюэлл-Сегура иерархиясы арқылы сипатталады. Нақты шешімдерді алу үшін синус-косинус әдісі қолданылады. Синус-косинус әдісі математикалық физиканың сызықты емес дербес дифференциалдық теңдеулерінің шешімдерін табудың тиімді математикалық құралы екендігі көрсетілген. Алынған шешімдердің динамикасы суреттерде көрсетіледі.

Түйін сөздер: синус-косинус әдісі, қарапайым дифференциалдық теңдеу, дербес туындылы дифференциалдық теңдеу, бейсызықтық, Шредингер теңдеуі.

Аннотация

Н. Т. Примхан¹, А. М. Сыздыкова^{1*}, Г. Н. Шайхова¹

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

ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНОГО КИРАЛЬНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА

Нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных математической физики являются важным объектом в физике. Одним из известных таких уравнений является нелинейное уравнение Шредингера, которое имеет приложение в таких областях как гидродинамика, нелинейная оптика, квантовая механика, и т. д. Поиск точных решений нелинейных уравнений в частных производных играет немалую роль в изучении динамики нелинейных явлений. В настоящее время существует множество действенных и эффективных методов нахождения точных решений. В данной работе исследовано двумерное киральное нелинейное уравнение Шредингера, которое содержит соответствующие нелинейные члены. Это уравнение является расширением одномерного нелинейного уравнения Шредингера и описывается иерархией Абловица-Каупа-Ньюэлл-Сегура. Для получения точных решений применен метод синуса-косинуса. Показано, что метод синуса-косинуса представляет собой эффективный математический инструмент для поиска решения нелинейных уравнений в частных производных математической физики. Динамика полученных решений представлена на рисунках.

Ключевые слова: метод синуса-косинуса, обыкновенное дифференциальное уравнение, дифференциальное уравнение в частных производных, нелинейность, уравнение Шредингера.

Abstract

EXACT SOLUTIONS FOR TWO-DIMENSIONAL CHIRAL NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATION

Primkhan N.T.¹, Syzdykova A.M.^{1*}, Shaikhova G.N.¹

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

Nonlinear partial differential equations of mathematical physics are an important subject in physics. One of the well-known such equations is the nonlinear Schrödinger equation, which has applications in such areas as hydrodynamics, nonlinear optics, quantum mechanics, etc. The search for exact solutions to nonlinear partial differential equations plays a significant role in the study of the dynamics of nonlinear phenomena. Currently, there are many efficient and effective methods for finding exact solutions. In this paper, we study the two-dimensional chiral nonlinear Schrödinger equation, which contains the corresponding nonlinear terms. This equation is an extension of the one-dimensional nonlinear Schrödinger equation and is described by the Ablowitz-Kaup-Newell-Segur hierarchy. To obtain exact solutions, the sine-cosine method is applied. It is shown that the sine-cosine method is an effective mathematical tool for finding solutions

to nonlinear partial differential equations of mathematical physics. The dynamics of the obtained solutions is shown in the figures.

Keywords: sine-cosine method, ordinary differential equation, partial differential equation, nonlinearity, Schrodinger equation.

Кіріспе

Сызықтық емес эволюция теңдеулерінде өте маңызды рөл атқаратын сызықтық емес Шредингер теңдеуі гидродинамикада, молекулалық биологияда, кванттық механикада және т.б. көптеген құбылыстарда толық қолданыс тапты [1-2]. Осы уақытқа дейін сызықтық емес теңдеулердің нақты шешімін табу әлі де сызықтық емес құбылыстардың динамикасын зерттеуде өте маңызды рөл атқарады. Соңғы бірнеше онжылдықта сызықтық емес теңдеулердің нақты шешімдері қарқынды түрде зерттелді. Қолданылатын негізгі әдістер: кері шашырау әдісі, Дарбу түрлендіруі, Хирота бисызықты әдісі және Ли әдісі [3-7].

Бұл жұмыста екі өлшемді киральды сызықты емес Шредингер теңдеуін зерттейміз [8-10], ол келесі түрде беріледі:

$$iq_t + \alpha(q_{xx} + q_{yy}) + i[(\gamma_1(qq_x^* - q^*q_x) + \gamma_2(qq_y^* - q^*q_y))]q = 0, \quad (1)$$

мұндағы $q = q(x, y, t)$ – комплексті функция, γ_1, γ_2 – тұрақты коэффициенттер. [8]-ші жұмыста (1) теңдеудің жарық және күңгірт солитондық шешімдері тұрақты коэффициент әдісімен алынған, [9]-ші жұмыста сингулярлық периодты шешімі сынақ шешім әдісі арқылы табылған, Ли симметриясы және сақталу заңдары [10] зерттелген.

Зерттеу әдіснамасы

Екі-өлшемді киральды сызықты емес Шредингер теңдеуінің нақты шешімдерін алу үшін синус-косинус әдісі қолданылды.

Синус-косинус әдісі-математикалық физиканың көптеген сызықтық емес дербес туынды дифференциалдық теңдеулерін шешудің тиімді әдістерінің бірі болып табылады [1, 11-15].

1. Синус-косинус әдісінің сипаттамасы

Бұл бөлімде синус-косинус әдісінің сипаттамасы беріледі [1, 11-15]. Дербес туынды дифференциалдық теңдеуді

$$E_1(u, u_x, u_x, u_{xx}, u_{yy}, u_{xxx}, \dots) = 0, \quad (2)$$

толқындық айнымалы арқылы

$$u(x, y, t) = u(\xi), \quad \xi = (x + y - ct), \quad (3)$$

қарапайым дифференциалдық теңдеуге түрлендіруге болады

$$E_2(u, u', u'', u''', \dots) = 0. \quad (4)$$

Ал (4) қарапайым дифференциалдық теңдеудің шешімін келесі түрде табуға болады

$$u(x, y, t) = \lambda \cos^\beta(\mu\xi), \quad (5)$$

немесе

$$u(x, y, t) = \lambda \sin^\beta(\mu\xi), \quad (6)$$

мұндағы μ, c – тұрақтылар. (5) теңдеудің туындылары келесідей алуға болады

$$u'(\mu\xi) = -\lambda\beta\mu \cos^{\beta-1}(\mu\xi)\sin(\mu\xi), \quad (7)$$

$$u''(\mu\xi) = -\lambda\beta^2\mu^2 \cos^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta-1)\cos^{\beta-2}(\mu\xi), \quad (8)$$

және (6) теңдеудің туындыларын келесі түрде алынады

$$u'(\mu\xi) = \lambda\beta\mu \sin^{\beta-1}(\mu\xi)\cos(\mu\xi), \quad (9)$$

$$u''(\mu\xi) = -\lambda\beta^2\mu^2 \sin^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta-1)\sin^{\beta-2}(\mu\xi). \quad (10)$$

(7)-(10) теңдеулерді қарапайым дифференциалдық теңдеуге қойып, мүшелері $\cos^r(\mu\xi)$ және $\sin^r(\mu\xi)$ болатын тригонометриялық теңдеулерін аламыз. Содан кейін β -ны анықтау үшін косинус немесе синус жұбының дәрежелерін теңестіріп, параметрлерді анықтаймыз. Әрі қарай, біз $\cos^r(\mu\xi)$ немесе $\sin^r(\mu\xi)$ үшін бірдей дәрежедегі барлық коэффициенттерді жинаймыз. Белгісіз λ және μ арасындағы алгебралық теңдеулер жүйесін алып, одан коэффициенттерді анықтаймыз.

2. Синус-косинус әдісін қолдану

(1) дербес туынды дифференциалдық теңдеуге синус-косинус әдісін қолдану үшін келесі түрлендіруді қолданамыз

$$q = u(x, y, t)e^{i(ax+by+dt)}, \quad (11)$$

мұнда a, b, d - тұрақты коэффициентер. (11) теңдеуді (1) теңдеуге қойып, келесідей дербес туынды дифференциалдық теңдеуді аламыз:

$$iu_t - du + \alpha(u_{xx} + 2iau_x - a^2u + u_{yy} + 2ibu_y - b^2u) + 2(\gamma_1a + \gamma_2b)u^3 = 0. \quad (12)$$

$u(x, y, t) = u(\xi)$, $\xi = (x + y - ct)$ түрлендіру арқылы қарапайым дифференциалдық теңдеуге келеміз

$$-icu' - du + \alpha(u'' + 2iau' - a^2u + u'' + 2ibu' - b^2u) + 2(\gamma_1a + \gamma_2b)u^3 = 0. \quad (13)$$

Жоғарыда табылған теңдеуді нақты және жорамал бөліктерге ажырату арқылы келесі жүйеге келеміз

$$-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)u + 2\alpha u'' + 2(\gamma_1a + \gamma_2b)u^3 = 0, \quad (14)$$

$$-cu' + 2\alpha au' + 2\alpha bu' = 0. \quad (15)$$

(15)-ші теңдеуді бір рет интегралдап және интегралданған тұрақтыны ноль деп санап, келесі өрнекті табамыз

$$c = 2\alpha(a + b). \quad (16)$$

Осыдан соң (14) теңдеуді синус-косинус әдісімен шешеміз

$$-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)u + 2\alpha u'' + 2(\gamma_1a + \gamma_2b)u^3 = 0.$$

Зерттеу нәтижелері

2.1 Косинус шешімі

(14) теңдеудің косинус шешімін табу үшін (5) түрлендіру қолданамыз

$$u(\mu\xi) = \lambda \cos^\beta(\mu\xi), \quad (17)$$

$$u''(\mu\xi) = -\lambda\beta^2\mu^2 \cos^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta-1)\cos^{\beta-2}(\mu\xi). \quad (18)$$

(17), (18) теңдеулерді (14) теңдеуге қойып келесі түрдегі теңдеуді табамыз

$$-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)\lambda \cos^\beta(\mu\xi) - 2\alpha\lambda\beta^2\mu^2 \cos^\beta(\mu\xi) + 2\alpha\lambda\mu^2\beta(\beta-1)\cos^{\beta-2}(\mu\xi) + 2(\gamma_1a + \gamma_2b)\lambda^3 \cos^{3\beta}(\mu\xi) = 0. \quad (19)$$

Тепе-теңдік әдісін қолданып, (19) теңдеудегі \cos^β функциясының дәрежелерін теңестіріп, β мәнін анықтаймыз

$$\beta - 2 = 3\beta, \text{ онда } \beta = -1.$$

Жоғарыда табылған β мәнін (19) теңдеуге қойып, келесі теңдеуді аламыз

$$-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)\lambda \cos^{-1}(\mu\xi) - 2\alpha\lambda\beta^2\mu^2 \cos^{-1}(\mu\xi) + 2\alpha\lambda\mu^2\beta(\beta-1)\cos^{-3}(\mu\xi) + 2(\gamma_1a + \gamma_2b)\lambda^3 \cos^{-3}(\mu\xi) = 0. \quad (20)$$

Косинус функцияларының әрбір жұбының коэффициенттерін теңестіру арқылы келесі теңдеулер жүйесін табамыз:

$$\cos^{-1} : -(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)\lambda - 2\alpha\lambda\mu^2 = 0, \quad (21)$$

$$\cos^{-3} : 4\alpha\lambda\mu^2 + 2(\gamma_1 a + \gamma_2 b)\lambda^3 = 0. \quad (22)$$

(21)- (22) теңдеулер жүйесінен келесі коэффициенттердің мәндерін анықтаймыз

$$\mu = \sqrt{\frac{-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha}}, \quad \lambda = \sqrt{\frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{a\gamma_1 + b\gamma_2}}. \quad (23)$$

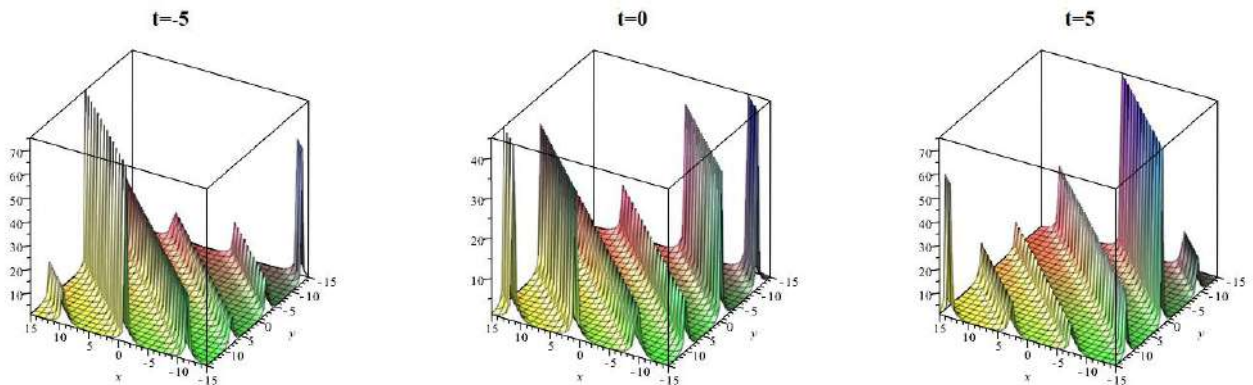
Жоғарыда табылған мәндерді (17) теңдеуге қойсақ, одан кейін алынған өрнекті (11) теңдеуге қойып екі-өлшемді киральды сызықты емес Шредингер теңдеуінің нақты шешімдерін табамыз

$$q_{11} = \sqrt{\frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{a\gamma_1 + b\gamma_2}} \sec\left(\sqrt{\frac{-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha}}(x + y - ct)\right) e^{i(ax+by+dt)}, \text{ егер } \frac{(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha} < 0, \quad (24)$$

$$q_{12} = \sqrt{\frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{a\gamma_1 + b\gamma_2}} \operatorname{sch}\left(\sqrt{\frac{-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha}}(x + y - ct)\right) e^{i(ax+by+dt)}, \text{ егер } \frac{(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha} > 0, \quad (25)$$

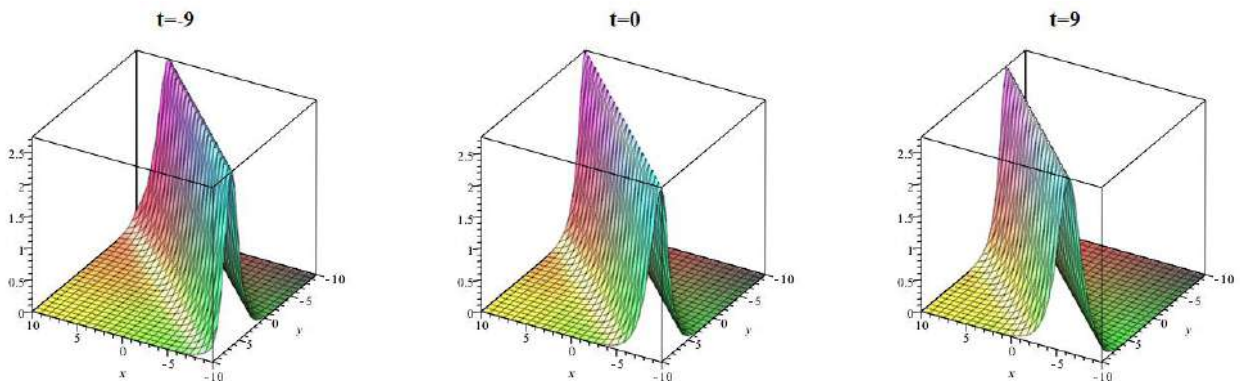
мұндағы $c = 2\alpha(a + b)$.

Табылған (24) шешімнің графиктері келесі суретте көрсетілген (1-сурет).



Сурет 1. $q_{11}(x, y, t)$ шешімінің динамикасы
мұндағы $a = 0.1; b = 0.1; d = -0.2; \alpha = 1; \gamma_1 = 1; \gamma_2 = 1$.

(34) шешім бойынша графиктер төменде көрсетілген (2-сурет).



Сурет 2. $q_{12}(x, y, t)$ шешімінің динамикасы мұндағы $a = 0.1; b = 0.1; d = 1.5; \alpha = 1; \gamma_1 = 1; \gamma_2 = 1$.

2.1 Синус шешімі

(14) теңдеудің синус шешімін табу үшін (6) түрлендіруді қолданамыз

$$u(\mu\xi) = \lambda \sin^\beta(\mu\xi), \quad (26)$$

$$u''(\mu\xi) = -\lambda\beta^2\mu^2 \sin^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta-1)\sin^{\beta-2}(\mu\xi). \quad (27)$$

(26),(27) теңдеулерді (14) теңдеуге қойып келесі түрдегі теңдеуді табамыз

$$-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)\lambda \sin^\beta(\mu\xi) - 2\alpha\lambda\beta^2\mu^2 \sin^\beta(\mu\xi) + 2\alpha\lambda\mu^2\beta(\beta-1)\sin^{\beta-2}(\mu\xi) + 2(\gamma_1 a + \gamma_2 b)\lambda^3 \sin^{3\beta}(\mu\xi) = 0. \quad (28)$$

Бұл теңдеуге тепе-теңдік әдісін қолданып, (28) теңдеудегі \sin^β функциясының дәрежелерін теңестіріп, β мәнін анықтаймыз

$$\beta - 2 = 3\beta, \text{ онда } \beta = -1.$$

Жоғарыда табылған β мәнін (28) теңдеуге қойып, келесі теңдеуді аламыз

$$-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)\lambda \sin^{-1}(\mu\xi) - 2\alpha\lambda\beta^2\mu^2 \sin^{-1}(\mu\xi) + 2\alpha\lambda\mu^2\beta(\beta-1)\sin^{-3}(\mu\xi) + 2(\gamma_1 a + \gamma_2 b)\lambda^3 \sin^{-3}(\mu\xi) = 0. \quad (29)$$

Синус функцияларының әрбір жұбының коэффициенттерін теңестіру арқылы келесі теңдеулер жүйесін табамыз:

$$\sin^{-1}: -(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)\lambda - 2\alpha\lambda\mu^2 = 0, \quad (30)$$

$$\sin^{-3}: 4\alpha\lambda\mu^2 + 2(\gamma_1 a + \gamma_2 b)\lambda^3 = 0. \quad (31)$$

(30)- (31) теңдеулер жүйесінен келесі коэффициенттердің мәндерін анықтаймыз

$$\mu = \sqrt{\frac{-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha}}, \quad \lambda = \sqrt{\frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{a\gamma_1 + b\gamma_2}}. \quad (32)$$

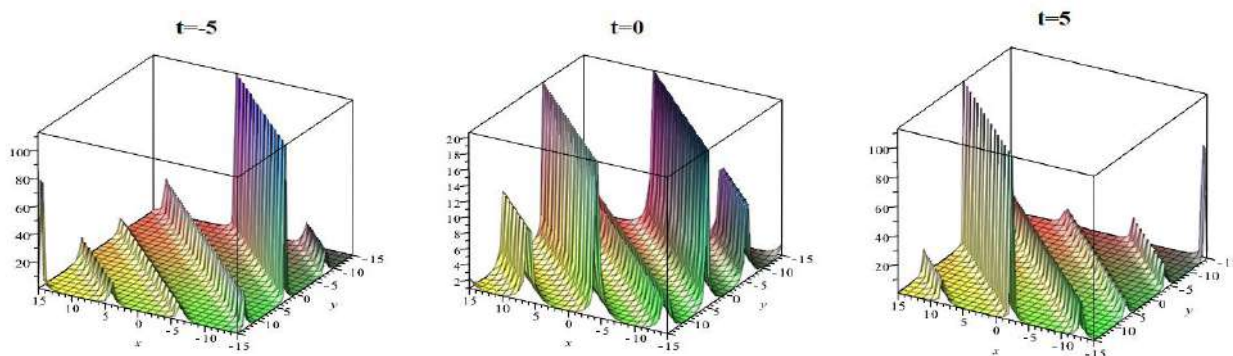
Жоғарыда табылған мәндерді (26) теңдеуге қойсақ, одан кейін алынған өрнекті (11) теңдеуге қойып екі-өлшемді киральды сызықты емес Шредингер теңдеуінің нақты шешімдерін табамыз

$$q_{21} = \sqrt{\frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{a\gamma_1 + b\gamma_2}} \cos ec \left(\sqrt{\frac{-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha}}(x + y - ct) \right) e^{i(ax+by+dt)}, \text{ егер } \frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{2\alpha} < 0, \quad (33)$$

$$q_{22} = \sqrt{\frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{a\gamma_1 + b\gamma_2}} \csc h \left(\sqrt{\frac{-(d + \alpha a^2 + \alpha b^2)}{2\alpha}}(x + y - ct) \right) e^{i(ax+by+dt)}, \text{ егер } \frac{d + \alpha a^2 + \alpha b^2}{2\alpha} > 0, \quad (34)$$

мұндағы $c = 2\alpha(a + b)$.

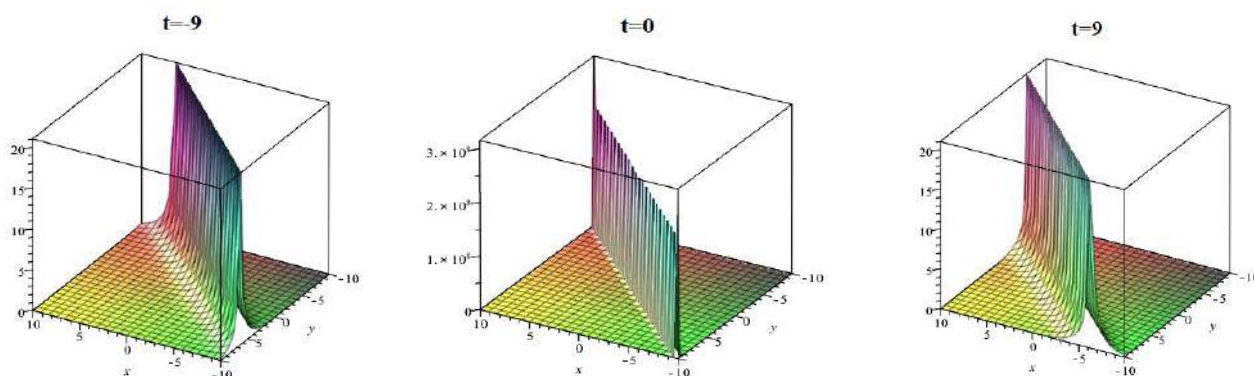
Табылған (33) шешімнің графиктері келесі суретте көрсетілген (3-сурет).



Сурет 3. $q_{21}(x, y, t)$ шешімінің динамикасы мұндағы

$$a = 0.1; b = 0.1; d = -0.2; \alpha = 1; \gamma_1 = 1; \gamma_2 = 1.$$

(34) шешім бойынша графиктер төменде көрсетілген (4-сурет).



Сурет 4. $q_{22}(x, y, t)$ шешімінің динамикасы
мұндағы $a = 0.1; b = 0.1; d = 0.1; \alpha = 1; \gamma_1 = 1; \gamma_2 = 1$.

Қорытынды

Математикалық физиканың сызықты емес дербес дифференциалдық теңдеулері қазіргі уақытта физиканың маңызды бөлігі болып табылуда. Осы ретте сызықты емес дербес дифференциалдық теңдеулердің нақты шешімдерін іздеу сызықтық емес құбылыстардың динамикасын зерттеуде маңызды рөл атқарады. Бұл жұмыста екі-өлшемді киральды сызықты емес Шредингер теңдеуінің нақты шешімдері табылды. Нақты шешімдерді табу үшін косинус-синус әдісі қолданылды. Зерттеу нәтижесінде косинус-синус әдісін пайдалана отырып солитондық, периодты шешімдер табылды. Maple бағдарламасында алынған шешімдердің 3D графиктері тұрғызылды. Бұл шешімдер кейбір физиканың және математиканың практикалық есептерінде қолданылуы мүмкін. Сондай-ақ бұл әдіс сызықтық емес теңдеулерге қолданылуы мүмкін.

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің жобасы аясында дайындалған (ЖТН жобасы: AP09057947).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Wazwaz A., *Partial differential equations and solitary waves theory*.// Springer. 2009, P.746.
- 2 Yesmakhanova K., Nugmanova G., Shaikhova G., Bekova G., Myrzakulov R. *Coupled dispersionless and generalized Heisenberg ferromagnet equations with self-consistent sources: Geometry and equivalence*. // *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*. 2020. Vol.17, № 7. P. 2050104. <https://doi.org/10.1142/S0219887820501042>
- 3 Serikbayev N.S., Shaikhova G.N., Yesmakhanova K.R., Myrzakulov R. *Traveling wave solutions for the (3+1)-dimensional Davey-Stewartson equations*. // *Journal of Physics: Conference Series (1)* 1391. 2019. P.012166. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1391/1/012166>
- 4 Burdik C., Shaikhova G., Rakhimzhanov B. *Soliton solutions and travelling wave solutions for the two-dimensional generalized nonlinear Schrodinger equations*.// *European Physical Journal Plus*. 136:1095. 2021. P.1-17. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-02092-6>
- 5 Kutum B.B., Yesmakhanova K.R., Shaikhova G.N. *The differential-q-difference 2D Toda equation: bilinear form and soliton solutions*. // *Journal of Physics: Conference Series* 1391. 2019. P.012122. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1391/1/012122>
- 6 Bekova G., Shaikhova G., Yesmakhanova K., Myrzakulov R., *Darboux transformation and soliton solution for generalized Konno-Oono equation*.// *Journal of Physics: Conference Series* 1416. 2019. P. 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1416/1/012003>
- 7 Shaikhova G.N., Rakhimzhanov B.K., and Zhanbosinova Zh.K., *Travelling wave solutions for the generalized nonlinear Schrödinger equation* // *Journal of Physics: Conference Series*, 2090. 2021. P. 012062. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.05.026>
- 8 Biswas A., *Chiral solitons in (1 + 2) dimensions*. // *Int. J. Theor. Phys.*. 2009. №48(12). P. 3403–3409. <https://doi.org/10.1007/s10773-009-0145-4>.
- 9 Eslami M., *Trial solution technique to chiral nonlinear Schrödinger's equation in (1 + 2)- dimensions*, *Nonlinear Dyn.*, 2016. Vol. 85. P.813–816, <https://doi.org/10.1007/s11071-016-2724-2>.
- 10 Mao J., Tiana Sh., Zhang T., Yan X., *Lie symmetry analysis, conservation laws and analytical solutions for chiral nonlinear Schrödinger equation in (2 + 1)-dimensions*. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 2020. Vol. 25.№ 3,

P.358–377. <https://doi.org/10.15388/namc.2020.25.16653>.

11 Yusufoglu E., Bekir A., Solitons and periodic solutions of coupled nonlinear evolution equations by using Sine-Cosine method. //International Journal of Computer Mathematics. 2006. Vol. 83(12). P. 915-924. <https://doi.org/10.1080/00207160601138756>

12 Wazwaz A.M., A sine-cosine method for handling nonlinear wave equations. //Mathematical and Computer Modeling. 2004. № 40(5). P. 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2003.12.010>

13 Shaikhova G.N., Kalykbay Y.S., Exact solutions of the Hirota equation via the sine-cosine method. // Вестник Южно-Уральского университета. Серия «Математика. Механика. Физика». -2021.-№3(13). – С. 47-52.

14 Shaikhova G.N., Syzdykova A.M., Daulet S., Exact solutions of the the generalized nonlinear Scrodinger equation. // Журнал «Математическая физика и компьютерное моделирование». -2021. №3(24). – С. 18-25.

15 Shaikhova G.N., Rakhimzhanov B.K., Traveling wave solutions for the extended modified Korteweg-de Vries equation. // Вестник Национальной инженерной академии РК. -2021. -№4(82). – С. 197-203.

References:

1 Wazwaz A., Partial differential equations and solitary waves theory.// Springer. 2009, P.746.

2 Yesmakhanova K., Nugmanova G., Shaikhova G., Bekova G., Myrzakulov R. Coupled dispersionless and generalized Heisenberg ferromagnet equations with self-consistent sources: Geometry and equivalence. // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. 2020. Vol.17, № 7. P. 2050104. <https://doi.org/10.1142/S0219887820501042>

3 Serikbayev N.S., Shaikhova G.N., Yesmakhanova K.R., Myrzakulov R. Traveling wave solutions for the (3+1)-dimensional Davey-Stewartson equations. //Journal of Physics: Conference Series (1) 1391. 2019. P.012166. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1391/1/012166>

4 Burdik C., Shaikhova G., Rakhimzhanov B. Soliton solutions and travelling wave solutions for the two-dimensional generalized nonlinear Schrodinger equations.// European Physical Journal Plus. 136:1095. 2021. P.1-17. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-02092-6>

5 Kutum B.B., Yesmakhanova K.R., Shaikhova G.N. The differential-q-difference 2D Toda equation: bilinear form and soliton solutions. //Journal of Physics: Conference Series 1391. 2019. P.012122. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1391/1/012122>

6 Bekova G., Shaikhova G., Yesmakhanova K., Myrzakulov R., Darboux transformation and soliton solution for generalized Konno-Oono equation.//Journal of Physics: Conference Series 1416. 2019. P. 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1416/1/012003>

7 Shaikhova G.N., Rakhimzhanov B.K., and Zhanbosinova Zh.K., Travelling wave solutions for the generalized nonlinear Schrödinger equation //Journal of Physics: Conference Series, 2090. 2021. P. 012062. <https://doi.org/10.1016/j.ijsleo.2019.05.026>

8 Biswas A., Chiral solitons in (1 + 2) dimensions. // Int. J. Theor. Phys.. 2009. №48(12). P. 3403–3409. <https://doi.org/10.1007/s10773-009-0145-4>.

9 Eslami M., Trial solution technique to chiral nonlinear Schrödinger's equation in (1 + 2)- dimensions, Nonlinear Dyn., 2016. Vol. 85. P.813–816, <https://doi.org/10.1007/s11071-016-2724-2>.

10 Mao J., Tiana Sh., Zhang T., Yan X., Lie symmetry analysis, conservation laws and analytical solutions for chiral nonlinear Schrödinger equation in (2 + 1)-dimensions. Nonlinear Analysis: Modelling and Control, 2020. Vol. 25.№ 3, P.358–377. <https://doi.org/10.15388/namc.2020.25.16653>.

11 Yusufoglu E., Bekir A., Solitons and periodic solutions of coupled nonlinear evolution equations by using Sine-Cosine method. //International Journal of Computer Mathematics. 2006. Vol. 83(12). P. 915-924. <https://doi.org/10.1080/00207160601138756>

12 Wazwaz A.M., A sine-cosine method for handling nonlinear wave equations. //Mathematical and Computer Modeling. 2004. № 40(5). P. 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2003.12.010>

13 Shaikhova G.N., Kalykbay Y.S. (2021) Exact solutions of the Hirota equation via the sine-cosine method // Vestnik Juzhno-Ural'skogo universiteta Serija «Matematika. Mehanika. Fizika», №3(13), 47-52. (In Russian)

14 Shaikhova G.N., Syzdykova A.M., Daulet S. (2021) Exact solutions of the the generalized nonlinear Scrodinger equation // Zhurnal «Matematicheskaja fizika i komp'juternoe modelirovanie, №3(24), 18-25. (In Russian)

15 Shaikhova G.N., Rakhimzhanov B.K. (2021) Traveling wave solutions for the extended modified Korteweg-de Vries equation // Vestnik Nacional'noj inzhenernoj akademii RK., №4(82), 197-203. (In Russian)

APPLICATION OF THE METHOD OF DIVIDING A SEGMENT IN HALF IN GLOBAL OPTIMIZATION BASED ON AN AUXILIARY FUNCTION

Tutkusheva Zh. S.

*K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan
e-mail: zhailan_k@mail.ru*

Abstract

In this paper, the problem of global optimization of a smooth function of several variables given on a cuboid is considered. The search for a solution is carried out using an auxiliary function obtained by a special transformation of the objective function. An auxiliary function is a function of one variable, the zero of which coincides with the value of the global minimum of the objective function. Therefore, to solve the problem, the method of dividing the segment in half was used. The results of this work were revealed on the basis of a large number of computational experiments conducted on test functions using the proposed method. These results are formulated in the form of three theorems and theoretically proved. In the first theorem, conditions are defined that indicate the interval in which the value of the global minimum is located. The second theorem expresses the convergence of the iterative sequence to the value of the global minimum. In the third theorem, the linear convergence rate of the iterative procedure is established. As an example, the multiextremal Eckley function of two variables defined in a square centered at the origin is considered.

Keywords: global optimization, optimization methods, global optimization algorithms, global search, horizontal cross-section method, convergence of the global optimization method, auxiliary function.

Аңдатпа

Ж. С. Туткушева

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

КОМЕКШІ ФУНКЦИЯ НЕГІЗІНДЕ ГЛОБАЛЬДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУҒА КЕСІНДІНІ ҚАҚ БӨЛУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

Бұл жұмыс кубоидта берілген бірнеше айнымалысы бар тегіс функцияның глобалды оңтайландыру есебін қарастырады. Шешімді іздеу берілген мақсатты функцияны арнайы түрлендіру арқылы алынған көмекші функцияны қолданумен жүзеге асады. Көмекші функция бір айнымалыға тәуелді. Оның нөлі мақсатты функцияның глобалды минимумының мәніне сәйкес келеді. Минимумды табу үшін кесіндіні қақ бөлу әдісін қолданылды. Есептеу тәжірибелері әдістің дұрыстығын көрсетті. Әр түрлі тесттік функциялардың глобалды минимумы анықталды. Бұл нәтижелер үш теорема түрінде тұжырымдалған және теориялық тұрғыдан дәлелденген. Бірінші теорема глобалды минимумның мәні жатқан аралықты көрсететін шарттарды анықтайды. Екінші теорема итерациялық тізбектің глобалды минимум мәніне жинақталатынын көрсетеді. Үшінші теоремада итерациялық үрдістің жинақтылығының сызықтық жылдамдығы есептелді. Мысал ретінде екі айнымалыдан тәуелді көп экстремалды квадратта анықталған функция қаралды.

Түйін сөздер: глобалды оңтайландыру, оңтайландыру әдістері, глобалды оңтайландыру алгоритмдері, глобалды минимумды іздеу, көлденең қима әдісі, глобалды оңтайландыру әдісінің жинақтылығы, көмекші функция.

Ж.С. Туткушева

Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Ақтөбе, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕЛЕНИЯ ОТРЕЗКА ПОПОЛАМ В ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

Аннотация

В работе рассматривается задача глобальной оптимизации гладкой функции нескольких переменных, заданной на кубоиде. Поиск решения осуществляется с помощью вспомогательной функции, полученной путем особого преобразования целевой функции. Вспомогательная функция является функцией одной переменной, ноль которой совпадает со значением глобального минимума целевой функции. Поэтому для решения поставленной задачи применялся метод деления отрезка пополам. Результаты настоящей работы были выявлены на основе большого числа вычислительных экспериментов, проведенных на тестовых функциях с помощью предложенного метода. Эти результаты сформулированы в виде трех теорем и теоретически доказаны. В первой теореме определены условия, которые указывают на промежуток в котором находится значение глобального минимума. Вторая теорема выражает сходимость итерационной последовательности к значению глобального

минимума. В третьей теореме установлена линейная скорость сходимости итерационной процедуры. В качестве примера рассмотрена многоэкстремальная функция Экли двух переменных, определенная в квадрате с центром в начале координат.

Ключевые слова: глобальная оптимизация, методы оптимизации, алгоритмы глобальной оптимизации, глобальный поиск, метод горизонтальных сечений, сходимость метода глобальной оптимизации, вспомогательная функция.

Materials and methods

The convergence of the global optimization method for multidimensional and multiextremal smooth functions is considered in the article. Gradient optimization methods require gradient calculation and in the case of minimum search, the starting point moves along the anti-gradient. Such actions lead us to a stationary point, not to a global minimum. The gradient cannot overcome the maximum point. The search for the global minimum by the gradient method is carried out by selecting a set of starting points and performing the above actions. But this will not guarantee that the found point is a global minimum. Since the global minimum may be in a narrow range. In the iteration method, the allowable set is divided into a grid. The value of the objective function is calculated at the nodes. The point where the objective function takes the minimum value will be defined as the global minimum. This algorithm is suitable if the grid step is very small. But reducing the step increases the number of calculations of the objective function and you have to remember a lot of values. Computational costs increase significantly if the dimension of the objective function increases.

In recent years, new improved versions of the methods described above have appeared. Zero-order optimization methods use information only about the function itself. For example, the method of simulated annealing [1, 2], randomized descent [3], evolutionary method [4], genetic algorithm [5], Hook-Jeeves method [6], dichotomy method [7] and others.

First-order optimization methods use information about the function itself and information about first-order derivatives. Such algorithms include: the parabola method, the conjugate gradient method [8], the steepest descent method [9], the gradient method with step splitting [10] and others.

As we can see, the multidimensionality and multiextremality of the objective function is an obstacle for numerical methods [11]. The optimization methods described above do not guarantee convergence to the global minimum.

In [12], a new algorithm is described, which is very different from the methods described above. The search begins with the value of the global minimum, and not with the definition of coordinates. This gives great savings. The idea of the method is based on the search for a horizontal section of the objective function that passes close (to the desired accuracy) with the global minimum of the objective function. The following is a theorem and the convergence of this algorithm is proved.

Problem statement

We give a mathematical formulation in the form of an objective function f to problems from different fields of application where it is necessary to find the smallest or largest value. So, we need to find the global optimum of the objective function. For certainty, the problem of finding a global minimum is considered. The task of finding the global maximum is performed similarly for an objective function with a minus sign. Let $f: Q \rightarrow R$ be a smooth objective function

$$f(x) = f(x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

from n – variables. It can be multi-extreme and multidimensional. The set of valid solutions is a Q – n dimensional cube:

$$x \in Q = \{x \in R^n | a_j \leq x_j \leq b_j, 1 \leq j \leq n\}$$

It is required to find the value and coordinates of the global minimum point $(\hat{x}; \hat{y})$. We will denote them:

$$\hat{y} = \text{globmin}f(x) \quad (2)$$

$$\hat{x} = \text{argglobmin}_{x \in Q} f(x) = \text{arg}\hat{y} \quad (3)$$

The algorithm for finding the global minimum point consists of two parts. The first part of the task is to find the value of the global minimum point (2), and the second part is to find the coordinates of the global minimum (3).

Let's explain some notation: $f(x_1, \dots, x_n)$ – objective function, minimized function; Q – search area for solutions; $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ vector of variables; $\hat{x} \in Q$ – the point of the global minimum of the function f on the set Q .

The results of the study

The idea of the new algorithm is radically different from the existing methods. We need to find a horizontal hyperplane $y = \alpha$ that intersects the graph of the objective function $y = f(x_1, \dots, x_n)$ near the global minimum. Such an approximation to the global minimum can be performed to the desired accuracy. To determine the global minimum, an auxiliary function is constructed. If the objective function $f(x_1, \dots, x_n)$ depends on n – variables, the auxiliary function will contain an n – fold integral:

$$g(\alpha) = \int_{a_1}^{b_1} \dots \int_{a_n}^{b_n} [|f(x_1, \dots, x_n) - \alpha| - (f(x_1, \dots, x_n) - \alpha)]^m dx_1 \dots dx_n. \quad (4)$$

Here $y = f(x_1, \dots, x_n)$ – is the objective function, $Q = \{x \in R^n | a_j \leq x_j \leq b_j, 1 \leq j \leq n\}$ – is a valid set, $y = \alpha$ is the equation of the horizontal hyperplane m – is the smoothness of the auxiliary function $g(\alpha) \in W_2^m$ from Hilbert space.

The auxiliary function (4) is calculated using numerical methods, for example, using lattice cubature Sobolev formulas with a regular boundary layer [13, 14].

The calculation of the auxiliary function, a complete description of the algorithm and computational experiments are published in previous articles [12], [15]. Now we will prove the convergence of the new global optimization algorithm.

Formula (4) defines the relative position of the given objective function $y = f(x_1, \dots, x_n)$ and the horizontal plane $y = \alpha$. The auxiliary function is always positive or equal to zero, since the function contains the difference between the modulus of the function and the function itself.

To begin with, the interval $[c_0, d_0]$ is selected, where the value of the global minimum is located.

Theorem 1.

If for the auxiliary function (4) there is equality $g(c_0) = 0$ and inequality $g(d_0) > 0$, then the value of the global minimum of the function $\hat{\alpha} = f(\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_n)$ lies in the interval $\hat{\alpha} \in [c_0, d_0]$.

Proof of Theorem 1.

Consider the behavior of the auxiliary function (4). If $f(x_1, \dots, x_n) \geq \alpha$, then the module in (4) is expanded with a plus sign and the value of the auxiliary function $g(\alpha) = 0$.

On the other hand, this means that the graph of the objective function is above or touches the horizontal hyperplane $y = \alpha$ at the point of the global minimum. Therefore, the global minimum is located at least below the hyperplane $y = c_0$, that is, $\hat{\alpha} \geq c_0$.

Next, let's assume the opposite, that is, $\hat{\alpha} \geq d_0$. By the condition of the theorem $g(d_0) > 0$, hence the set множество $Q(d_0) = \{(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) \in Q | f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) < d_0\}$ is not empty. Therefore, on the set $Q(d_0)$, by virtue of the assumption $\hat{\alpha} \geq d_0$, the inequality $f(\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_n) < \hat{\alpha}$. And this contradicts the fact that $\hat{\alpha}$ is the value of the global minimum, hence $\hat{\alpha} < d_0$. Thus, $\hat{\alpha} \in [c_0, d_0]$. Theorem 1 is proved.

Figure 1 shows an example of an objective function $y = x^2(x - 2)^2(x + 1)^2 - 0.8x$. As described above, the value of the global minimum is between the lines $y = c_0$ and $y = d_0$.

A full description of the method using the auxiliary function is described in the author's articles [12], [15]. The most important indicator of optimization methods is convergence. Consider the convergence of the algorithm and determine the convergence rate.

It is known from Theorem 1 that if $g(c_0) = 0$ and $g(d_0) > 0$, then the global minimum $\hat{\alpha}$ is in the segment $[c_0, d_0]$.

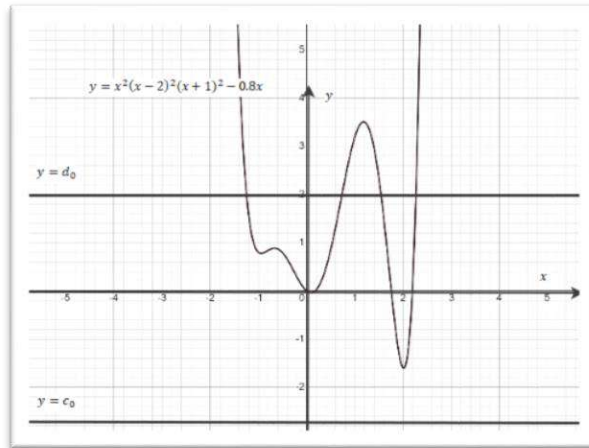


Figure 1. Graph of the function $y = x^2(x - 2)^2(x + 1)^2 - 0.8x$

We determine the middle $\alpha_0 = \frac{c_0 + d_0}{2}$ of the segment $[c_0, d_0]$ and calculate the value of the auxiliary function $g(\alpha_0)$. By the value of the auxiliary function, the location of the global minimum is determined:

A) If $g(\alpha_0) > 0$, then $\hat{\alpha} \in [c_0, \alpha_0]$. Then $c_0 = c_1$ and $\alpha_0 = d_1$. Then we work with the segment $[c_1, d_1]$, or

B) If $g(\alpha_0) = 0$, then $\hat{\alpha} \in [\alpha_0, d_0]$. Then $\alpha_0 = c_1$ and $d_0 = d_1$. Then we work with the segment $[c_1, d_1]$.

Similarly, the following midpoints of the sub-sections are defined:

$$\alpha_1 = \frac{c_1 + d_1}{2}, \alpha_2 = \frac{c_2 + d_2}{2}, \dots, \alpha_n = \frac{c_n + d_n}{2}. \quad (5)$$

Continuing the process of halving the selected segments, you can reach an arbitrarily small segment containing the value of the global minimum $\hat{\alpha}$. Since for each iteration the segment where the global minimum is located is halved, then after n iterations the interval will be equal $|d_n - c_n| = \frac{1}{2^n} |d_0 - c_0|$ at the same time $d_n \leq \hat{\alpha} \leq c_n$. The iteration with the determination of the middle of the resulting interval and with the selection of the desired segment will be repeated until we reach the accuracy we need:

$$\varepsilon_f \geq d_k - c_k$$

As a global minimum $\hat{\alpha}$, we take the right end of the segment d_n , that is $\hat{\alpha} = d_k \approx \hat{y}$, where $g(\hat{\alpha}) > 0$. Thus, the value of the global minimum (3) is found with sufficient accuracy ε_f . Next, we will consider the convergence of the method.

Theorem 2.

If Theorem 1 holds, then the iterative sequence (5) of global minimization using an auxiliary function (4) converges to the desired value of the global minimum $\hat{\alpha}$ with a given accuracy.

Proof of Theorem 2.

Consider a sequence of numbers α_i that are an approximation of the value of the global minimum at the i -th step.

$$\alpha_i = \frac{1}{2}(d_i + c_i), \quad c_i \leq \alpha_i \leq d_i \quad i = 0, 1, \dots \quad (6)$$

where c_i, d_i are the boundaries of the sub-segments in which $g(c_i) = 0$ and $g(d_i) > 0$.

Consider the differences:

$$|\alpha_1 - \alpha_0|, |\alpha_2 - \alpha_1|, \dots, |\alpha_n - \alpha_{n-1}| \quad (7)$$

We have

$$|\alpha_1 - \alpha_0| = \frac{1}{2} |d_1 + c_1 - d_0 - c_0|$$

Since we always have either $c_1 = c_0$ and $d_1 = \frac{1}{2}(d_0 + c_0)$ or $c_1 = \frac{1}{2}(d_0 + c_0)$ and $d_1 = d_0$.

Therefore, if $c_1 = c_0$, then (7): $|\alpha_1 - \alpha_0| = \frac{1}{2}(c_0 + \frac{1}{2}(d_0 - c_0) - d_0 - c_0) = \frac{1}{4}|c_0 - d_0|$, or if $d_1 = d_0$, then (7):

$$|\alpha_1 - \alpha_0| = \frac{1}{2}(d_0 + \frac{1}{2}(d_0 - c_0) - d_0 - c_0) = \frac{1}{4}|d_0 - c_0|.$$

Checking similar reasoning and considering that the relation either $c_i = c_{i-1}$ and $d_i = \frac{1}{2}(d_{i-1} + c_{i-1})$ or $d_i = d_{i-1}$ and $c_i = \frac{1}{2}(d_{i-1} + c_{i-1})$ is always fulfilled:

$$|\alpha_1 - \alpha_0| = \frac{1}{4}|d_0 - c_0|$$

$$|\alpha_2 - \alpha_1| = \frac{1}{4}|d_1 - c_1| = \frac{1}{8}|d_0 - c_0|$$

$$|\alpha_3 - \alpha_2| = \frac{1}{4}|d_2 - c_2| = \frac{1}{8}|d_1 - c_1| = \frac{1}{16}|d_0 - c_0|$$

$$|\alpha_4 - \alpha_3| = \frac{1}{4}|d_3 - c_3| = \frac{1}{8}|d_2 - c_2| = \frac{1}{16}|d_1 - c_1| = \frac{1}{32}|d_0 - c_0|$$

$$\dots |\alpha_n - \alpha_{n-1}| = \frac{1}{2^{n+1}}|d_0 - c_0|$$

$$|\alpha_n - \alpha_{n-1}| = \frac{1}{2^{n+1}}|d_0 - c_0|, \text{ it can be seen from here that no matter how small a number } \varepsilon_f > 0 \text{ we can}$$

find such n that $\frac{1}{2^{n+1}}|d_0 - c_0| \leq \varepsilon_f$. After 10 iterations, the initial segment will be $2^{10} = 1024$ times shorter.

Theorem 2 is proved.

Theorem 3.

Let the conditions of Theorem 1 be fulfilled. Then the iterative sequence $\{\alpha_n\}$ obtained by dividing the segment in half (5) converges to the global minimum of the objective function $f(x_1, \dots, x_n)$ with linear velocity $\beta = 0.5$.

Proof of Theorem 3.

From the algorithm described above, it is clear that the smaller the segment $[c_i; d_i]$, the α_i is closer to the desired minimum value $\hat{\alpha} \approx \hat{y}$. In addition, after each iteration, the length of the segment is halved, so

$$\frac{|\alpha_{n+1} - \hat{\alpha}|}{|\alpha_n - \hat{\alpha}|} \leq \frac{\frac{1}{2}|\alpha_n - \hat{\alpha}|}{|\alpha_n - \hat{\alpha}|} = 0.5 \Rightarrow |\alpha_{n+1} - \hat{\alpha}| \leq 0.5|\alpha_n - \hat{\alpha}|.$$

The latter inequality proves that the iterative sequence converges to the value of the global minimum of the objective function by linear velocity with a coefficient $\beta = 0.5$.

Example. Consider the multiextremal Eckley function [20] in three-dimensional space. Figure 2 shows a graph of the Eckley function, which has a large number of local minima.

$$f(x, y) = -20e^{-0.2\sqrt{0.5(x^2+y^2)}} - e^{0.5(\cos(2\pi x)+\cos(2\pi y))} + e + 20 \quad (10)$$

$$-5 \leq x, y \leq 5$$

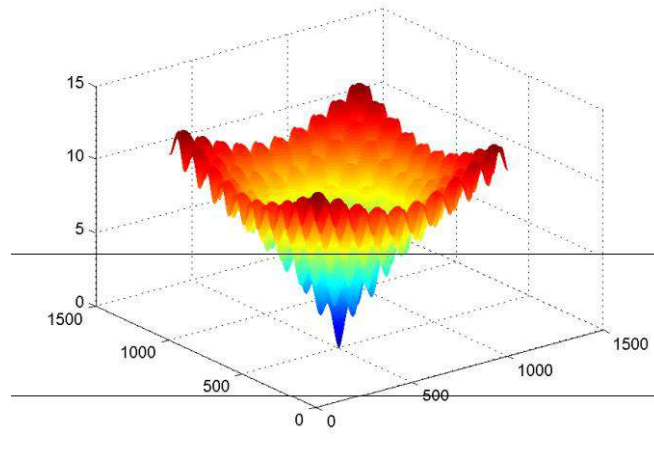


Figure 2. Graph of the Eckley function

Reference value of the global minimum point of the Eckley function $f(0; 0) = 0$. Computational experiments show the following results:

$$f(-10^{-10}, -10^{-10}) = 10^{-10}.$$

$$\text{Error } \varepsilon_f = 10^{-10}, \varepsilon_{x,y} = 10^{-10}.$$

Conclusions

The task of global optimization has a huge practical meaning. The algorithm described above is completely new. In other optimization methods, coordinates are first determined or set, then the values of the function at these nodes are compared and the smallest value of the function is selected. For gradient optimization methods, if the objective function is multiextremal, then convergence of the method means convergence to one of the local minimum points of the objective function.

In the proposed method, using horizontal sections, we determine the level where the global minimum is located. After that, we determine the coordinates of the minimum. The superiority of the new method is that the method converges immediately to the global minimum. In this algorithm, the middle is determined and one of the halves of the segment is selected. This provides greater savings than the brute force method.

Calculations of the global minimum by this method are performed in the C++ programming language. Computational experiments have been carried out for test smooth functions of two variables. The experimental results show that the proposed algorithm works correctly. The average accuracy of calculating the global minimum point $\varepsilon = 10^{-6}$ has been achieved.

References:

- 1 Lisin A.V. (2014) Algorithm of simulated annealing for continuous optimization problems. // Polzunovsky vestnik, Vol.2(4), 175-179. (in Russian)
- 2 Saveliev S.A., Tomilina A.I. (2016) Investigation of the algorithm of simulated annealing. // Actual aviation and cosmonautics, Vol.1(12), 644-646. (in Russian)
- 3 Anikin A.S., Gasnikov A.V., Gornov A.Yu. (2017) Randomization and sparsity in huge-scale optimization problems on the example of the mirror descent method. // Works of MIPT, Vol.8, №1(29), 11-24. (in Russian)
- 4 Gazizov T.T. (2017) Methods of global optimization. Tomsk: V-Spector. (in Russian)
- 5 Goodman E., Kovolenko A.P. (1996) Instead of a preface: evolutionary calculations and genetic algorithms. // Scientific Publishing House "TVP", Vol.3. № 5, 586-596. (in Russian)

- 6 Sulimov V.D., Shkapov P.M., Nosachev S.K. (2017) *Local search by the Hook-Jeeves method in a hybrid algorithm of global optimization.* // *Science and Education: Scientific Publication of Bauman Moscow State Technical University*, Vol.6, 107-123. DOI: 10.7463/0614.0716155
- 7 Abbasov M. E. (2014) *Optimization methods. Study guide.* // VVM Publishing House. (in Russian)
- 8 Malozemov V.N. (2017) *On the method of conjugate gradients* // *St. Petersburg: Publishing House VVM*, 108-117. (in Russian)
- 9 Kalitkin N. N.(1978) *Numerical methods.* Moscow: Nauka. (in Russian)
- 10 Kononyuk A.E. (2011) *Fundamentals of optimization theory. Unconditional optimization.* Kiev: "Oswita Ukrainy",.
- 11 Fletcher R. (2000) *Practical Methods of Optimization.* N. Y.: John Wiley & Sons.
- 12 Kaidassov, Z., Tutkusheva, Z.S. (2021). *Algorithm for calculating the global minimum of a smooth function of several variables.* *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, Vol. 8, № 4, 591-596. <https://doi.org/10.18280/mmep.080412>
- 13 Sobolev S.L., Vaskevich V.L. (1996) *Cubature formulas*, Novosibirsk: Institute of Mathematics, p. 484. (in Russian)
- 14 Ramazanov M.D. (2014) *Lattice cubature formulas on isotropic spaces*, Ufa: IMVC UNC RFN. (in Russian)
- 15 Ramazanov M. D., Kaidasov Zh., Tutkusheva Zh.S. (2020) *Studying the effectiveness of a new algorithm with a defining function for finding the global minimum of a smooth function* // *Izvestiya NAS RK. The series is physical and mathematical*, Vol.4(332), 95-102. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.70>(in Russian)

BLOW-UP OF SOLUTIONS OF THE INTEGRO-DIFFERENTIAL KELVIN-VOIGHT EQUATION

Shakir A.

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: ajdossakir@gmail.com*

Abstract

In this work, an initial boundary value problem for a nonlinear (but without convective term) integro-differential Kelvin-Voigt equation modified with a p -Laplacian and a nonlinear source term is investigated. The integral term in the system with a convolution is called a memory term, and it indicated the viscoelastic properties of fluids. Such system of equations is called the Oskolkov equations in some papers, and it describes the motion of incompressible viscoelastic non-Newtonian fluids. In generally, there is not unique methods to prove the existence global in time of solutions to nonlinear initial-boundary value problems. However, one can response to such type questions by establishing some qualitative properties of solutions as blow up and localization in a finite time, large time behavior, and et al. In this paper, the global in time non-existence of weak generalized solutions to the studying initial boundary value problem for nonlinear modified integro-differential Kelvin-Voigt equations is proved by establishing the blowing up in a finite time property. The blow up of weak solutions to the investigating problem is obtained by using the Kalantarov-Ladyzhenskaya lemma.

Keywords: integro-differential Kelvin-Voigt equation, weak solution, blow up.

Аңдатпа

А. Шәкір

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬДЫҚ КЕЛЬВИН-ФойГТ ТЕНДЕУІНІҢ ӘЛСІЗ ШЕШІМІНІҢ ШЕКСІЗДІККЕ ҰМТЫЛУЫ

Бұл жұмыста модифициаланған p -Лапласианды және сызықты емес жылу көзді интегродифференциалдық Кельвин-Фойгт тендеулер (бірақ, конвективті мүшесі жоқ) жүйесіне қойылған бастапқы-шеттік есеп зерттелінді. Үйірткі түріндегі интегралдық мүше жинақтау жады мүшесі деп аталады және сұйықтықтардың тұтқырлық қасиеттерін сипаттайды. Бұл тендеулер жүйесі кейбір авторлардың жұмыстарында Осколков тендеулер жүйесі деп те аталады және ол сығылмайтын тұтқыр ньютондық емес сұйықтықтардың қозғалысын сипаттайды. Бүгінгі таңда сызықты емес бастапқы-шеттік есептердің шешімінің уақыт бойынша глобалды бар болуын дәлелдеу үшін біртұтас әдістер табыла қойған жоқ. Дегенмен де, шешімнің ақырлы уақытта шексіздікке ұмтылуы, локализация және үлкен уақыт тәртібі секілді сапалық қасиеттері туралы ақпарат алуға болады. Бұл жұмыста модифициаланған p -Лапласианды және сызықты емес жылу көзді интегро-дифференциалдық Кельвин-Фойгт тендеуіне қойылған бастапқы-шеттік есептің жалпылама әлсіз шешімінің ақырлы уақытта шексіздікке ұмтылуы қасиетін көрсету арқылы уақыт бойынша глобалды шешілмейтіндігі дәлелденді. Модифициаланған p -Лапласианды және сызықты емес жылу көзді интегродифференциалдық Кельвин-Фойгт тендеуіне қойылған бастапқы-шеттік есептің жалпылама әлсіз шешімінің ақырлы уақытта шексіздікке ұмтылуы қасиетін көрсету Калантаров-Ладженская леммасы арқылы дәлелденді.

Түйін сөздер: интегро-дифференциалдық Кельвин-Фойгт тендеуі, әлсіз шешім, шешімнің шексіздікке ұмтылуы.

Аннотация

А. Шакир

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

РАЗРУШЕНИЕ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ КЕЛЬВИНА-ФойТА

В работе исследуется начально-краевая задача для системы нелинейного (но без конвективного члена) интегро-дифференциального уравнения Кельвина-Фойгта, модифицированного с p -лапласианом и нелинейном источником. Интегральный член в системе в виде сверткой называется членом памяти и он указывает вязкоупругие свойства жидкостей. Данная система уравнений в некоторых работах называется также системой уравнений Осколкова, и она описывает движение несжимаемой вязкоупругой неньютоновской жидкости. В настоящей время, не существует единые методы доказательства существования решений глобально во времени нелинейных начально-краевых задач. Однако можно ответить на такие вопросы, устанавливая некоторых качественных свойств решений, такие как разрушение и локализация за конечное время, поведение при больших временах и т.д. В данной работе, путем установления свойства разрушения за конечное время, доказано глобальное во времени не существование слабых обобщенных решений исследуемой начально-краевой задачи

для нелинейного модифицированного интегро-дифференциального уравнения Кельвина-Фойгта, модифицированного с p -лапласианом и нелинейным источником. А свойства разрушения слабых решений данной исследуемой начально-краевой задачи для нелинейного модифицированного интегро-дифференциального уравнения Кельвина-Фойгта доказано с помощью леммы Калантарова-Ладыженской.

Ключевые слова: интегро-дифференциальное уравнение Кельвина-Фойгта, слабое решение, разрушения решения

1 Introduction

Let Ω be a bounded domain in $R^d, d \geq 2$, with a smooth boundary $\partial\Omega$, and $Q_T = \{(x, t) : x \in \Omega, 0 < t < T\}$ is a cylinder with lateral Γ_T . In this paper, we study the following initial boundary value problem of determining the pair of functions $(u(x, t), \pi(x, t))$, which satisfy the following integro-differential Kelvin-Voigt equations modified with p -Laplacian diffusion and nonlinear source term

$$u_t - \operatorname{div}(\kappa \nabla u_t + \nu |\nabla u|^{p-2} \nabla u) - \nabla \pi - \int_0^t e^{-(t-\tau)} \Delta u(x, \tau) d\tau = \gamma |u|^{m-2} u \quad \text{in } Q_T, \quad (1)$$

$$\operatorname{div} u(x, t) = 0 \quad \text{in } Q_T, \quad (2)$$

the initial condition

$$u(x, t) = u_0(x) \quad \text{in } \Omega, \quad (3)$$

and the Dirihlet boundary condition

$$u(x, t) = 0 \quad \text{on } \Gamma_T. \quad (4)$$

Here $u(x, t)$ is the velocity field, $\pi(x, t)$ is the pressure, $u_0(x)$ is the given initial velocity. The constant ν accounts for the dynamic viscosity, whereas κ is a length scale parameter characterizing the fluid elasticity in the sense that the ratio $\frac{\kappa}{\nu}$ is a relaxation time scale, i.e. a characteristic time required for a viscoelastic fluid to relax from a deformed state to its equilibrium configuration. The exponents p and m are given positive numbers, such that

$$1 < p, m < \infty \quad (5)$$

The system (1)-(2), in the case $\gamma = 0$ and $p = 2$, is called integro-differential Kelvin-Voigt or Oskolkov system and describes the motion of viscoelastic incompressible non-Newtonian fluids, that needs time to start motion after the force is applied [1], and the correctness of various initial boundary value problems for them studied in some works in [2]- [3], and et.al. Karazaeva [4]- [5], Ziviagin-Turbin [1], Yushkov [6]. The integral term of (1) with the convolution kernel $K(t) = e^t$ is called a memory term, and it designs the viscoelastic property of non-Newtonian fluids [1]. The existence, uniqueness and some qualalive properties such as blow up in a finite, and large time behavior of weak solutions of the initial-boundary value problem for modified Kelvin-Voigt equations with p -Laplacian and damping term (without memory term) have been investigated by some authors, for instance, see [7], [8]- [12]. The existence, uniqueness and blows up of weak solutions for the initial-boundary value problem for integro-differential Kelvin-Voight equations with cubic source term, i.e. in the case $p = 2$ and $m = 2$ were established by Yushkov in [6].

2 Preliminaries

In this section, we introduce some auxiliary lemmas and functional spaces that will be used throughout the paper. For the definitions, notations of the function spaces and for their properties, we address the reader also to the monographs [13,14]. In this work, we establish the results of blow up in a finite time of solutions for more generalized integro differential Kelvin-Voight equations, which the some results of [6] are valid in particulat cases, of $p = 2$ and $m = 2$.

2.1 Functional spaces

In this section, we introduce the necessary notation, the definition of weak solution to problem (1)-(4), and an important lemmas which are used below in this paper. We define the functional spaces used throughout the

paper and describe briefly their properties. Namely, the norm of $L_p(\Omega)$ is denoted by $\|u\|_p = \left(\int_{\Omega} |u|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}$.

Let us also introduce the following functional spaces widely used in the Mathematical Fluid Mechanics:

$$V(\Omega) := \{u \in C^\infty(\Omega) : \operatorname{div} u = 0 \text{ and } u = 0 \text{ on } \partial\Omega\}; \tag{6}$$

$$H(\Omega) := \overline{V(\Omega)}^{\|\cdot\|_2}; \tag{7}$$

$$X(\Omega) := \overline{V(\Omega)}^{\|\cdot\|_{H^1}}; \tag{8}$$

$$X_p(\Omega) := \overline{V(\Omega)}^{\|\cdot\|_{W_p^1}}; \tag{9}$$

The blowing up of a solutions will be established by using the following lemma, which the proof can be found in [15].

Lemma 1. Suppose that, for $t > 0$, a positive, twice-differentiable function $\Psi(t)$ satisfies the inequality:

$$\Psi''(t)\Psi(t) - (1 + \alpha)(\Psi'(t))^2 \geq -2B_1\Psi'(t)\Psi(t) - B_2\Psi^2(t), \tag{10}$$

where $\alpha > 0, B_1, B_2 \geq 0$. If $\Psi(0) > 0, \Psi'(0) > -\gamma_2\alpha^{-1}\Psi(0)$ and $B_1 + B_2 > 0$, then $\Psi(t) \rightarrow +\infty$ as

$$t \rightarrow t_1 \leq \frac{1}{2\sqrt{B_1 + \alpha B_2}} \ln \frac{\gamma_1\Psi(0) + \alpha\Psi'(0)}{\gamma_2\Psi(0) + \alpha\Psi'(0)}. \tag{11}$$

Here $\gamma_1 = -B_1 + \sqrt{B_1^2 + \alpha B_2}, \gamma_2 = -B_1 - \sqrt{B_1^2 + \alpha B_2}$.

We now define a weak solution to the problem (1)-(4) as following sense, which we work with in this paper

Definition 1. A function $u(x, t)$ is a weak solution to the problem (1)-(4), if:

1. $L^\infty(0, T; X(\Omega)) \cap L^p(0, T; X_p(\Omega)) \cap L^m(Q_T)$;
2. $u(x, 0) = u_0(x)$ a.e. in Ω ;
3. For every $\varphi \in X(\Omega) \cap X_p(\Omega) \cap L^m(\Omega)$ and for a.a. $t \in (0, T)$ holds

$$\frac{d}{dt} \left(\int_{\Omega} u \varphi dx + \kappa \int_{\Omega} \nabla u \nabla \varphi dx \right) + \nu \int_{\Omega} |\nabla u|^{p-2} \nabla u \nabla \varphi dx = \gamma \int_{\Omega} |u|^{m-2} u \varphi dx - \int_0^t e^{-(t-\tau)} d\tau \int_{\Omega} \nabla u(\tau) \nabla \varphi dx. \tag{12}$$

3 Main result. In this section we establish the following main result.

Theorem 1. Suppose that $u_0(x) \in H$ and fulfilled is next condition

$$m \geq p, \quad p \leq 2,$$

the following condition is satisfied

$$\gamma \|u\|_m^m - \nu \|\nabla u\|_p^p > \sqrt{\frac{\delta}{\gamma-1}} \left(\frac{1}{2} \|u\|_2^2 + \frac{\kappa}{2} \|\nabla u\|_2^2 + C_0 \right).$$

Then there exists a finite time $T_{\max} < \infty$ such that a weak solution to problem (1)-(4) blows up, i.e

$$\frac{1}{2} \|u\|_2^2 + \frac{\kappa}{2} \|\nabla u\|_2^2 \rightarrow \infty \text{ as } t \rightarrow T_{\max}.$$

where $\delta := m\beta$; $\chi := \frac{m\alpha}{2}$; $\alpha := \frac{1}{e^\varepsilon}$;

$$\beta := \frac{\nu^2(m-p)^2(p-1)}{m^2\kappa^2} \frac{e^\varepsilon}{e^\varepsilon - 1} \varepsilon^{\frac{1}{p-1}} + \frac{e^\varepsilon - 1}{e^\varepsilon} + \frac{2}{m\kappa} + \frac{(m-1)^2 + 1}{m^2\kappa^2} \frac{2e^\varepsilon}{e^\varepsilon - 1}; \quad \varepsilon \in \left(0, \ln \frac{m}{2}\right).$$

Proof. Let us define the energy function

$$\Psi(t) := \frac{1}{2} \|u\|_2^2 + \frac{\kappa}{2} \|\nabla u\|_2^2 + C_0,$$

where C_0 is positive constant, that can be chosen below.

Let us multiply the equation (1) by u and u_t , and integrate by x over Ω . After integrating by parts, we have the following equalities,

$$\Psi'(t) + \nu \|\nabla u\|_p^p + \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u(t) dx d\tau = \gamma \|u\|_m^m, \quad (13)$$

$$\|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2 + \frac{\nu}{p} \frac{d}{dt} \|\nabla u\|_p^p + \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u_t(t) dx d\tau = \frac{\gamma}{m} \frac{d}{dt} \|u\|_m^m, \quad (14)$$

respectively.

Next, substituting the expression for $\gamma \|u\|_m^m$ from (13) into (14), we obtain the following equality

$$\begin{aligned} \|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2 + \frac{\nu}{p} \frac{d}{dt} \|\nabla u\|_p^p + \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u_t(t) dx d\tau = \\ \frac{1}{m} \Psi''(t) + \frac{\nu}{m} \frac{d}{dt} \|\nabla u\|_p^p + \frac{1}{m} \frac{d}{dt} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u(t) dx d\tau, \end{aligned} \quad (15)$$

let us calculate the derivative of the last term on the right hand side of (15):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u(t) dx d\tau = \|\nabla u\|_2^2 + \\ \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u_t(t) dx d\tau - \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u(t) dx d\tau. \end{aligned} \quad (16)$$

Plugging (16) into (15), we obtain

$$\begin{aligned} \|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2 = -\frac{\nu(m-p)}{mp} \frac{d}{dt} \|\nabla u\|_p^p + \frac{1}{m} \Psi''(t) + \frac{1}{m} \|\nabla u\|_2^2 - \\ \frac{1}{m} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u(t) dx d\tau - \frac{m-1}{m} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_\Omega \nabla u(\tau) \nabla u_t(t) dx d\tau. \end{aligned} \quad (17)$$

Next, we estimate the each term on the right hand side of (17). For the first term we using the assumption $1 < p \leq 2$, we have

$$\begin{aligned} \left| -\frac{d}{dt} \|\nabla u\|_p^p \right| &\leq p \int_{\Omega} |\nabla u|^{p-1} \nabla u_t dx \leq \frac{p}{2\varepsilon_0} \int_{\Omega} |\nabla u|^{p-2} dx + \frac{p\varepsilon_0}{2} \int_{\Omega} |\nabla u_t|^2 dx \leq \frac{p\varepsilon_0}{2} \|\nabla u_t\|_2^2 + \\ &\frac{p(p-1)}{2\varepsilon_0} \varepsilon^{\frac{1}{p-1}} \|\nabla u\|_2^2 + \frac{p(2-p)}{2\varepsilon_0} \frac{|\Omega|}{\varepsilon^{\frac{1}{2-p}}} \leq \frac{p\varepsilon_0}{2} \|\nabla u_t\|_2^2 + \frac{p(p-1)}{\kappa\varepsilon_0} \varepsilon^{\frac{1}{p-1}} \Psi(t) + \frac{p(2-p)}{2\varepsilon_0} \frac{|\Omega|}{\varepsilon^{\frac{1}{2-p}}}, \end{aligned} \quad (18)$$

where ε_0 and ε are an arbitrary positive constants, which we choose below.

Using the Holder and Young inequalities we estimate fourth and fifth terms on the right hand side of (17).

$$\left| -\int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_{\Omega} \nabla u(\tau) \nabla u(t) dx d\tau \right| \leq \frac{1}{\varepsilon_1 \kappa} \Psi(t) + \frac{\varepsilon_1}{\kappa} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \Psi(\tau) d\tau, \quad (19)$$

$$\left| -\int_0^t e^{-(t-\tau)} \int_{\Omega} \nabla u(\tau) \nabla u(t) dx d\tau \right| \leq \frac{\varepsilon_2}{2} \|\nabla u_t\|_2^2 + \frac{1}{\varepsilon_2 \kappa} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \Psi(\tau) d\tau. \quad (20)$$

Plugging (18), (19) and (20) into (17), we have

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{(m-1)\varepsilon_2}{m\kappa} - \frac{\nu(m-p)\varepsilon_0}{2m\kappa} \right) (\|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2) &\leq \frac{1}{m} \Psi''(t) + \frac{2}{m\kappa} \left(\frac{1}{2} \|u\|_2^2 + \frac{\kappa}{2} \|\nabla u\|_2^2 + C_0 \right) \\ \left(\frac{\nu(m-p)(p-1)}{m\kappa\varepsilon_0} \varepsilon^{\frac{1}{p-1}} + \frac{1}{m\kappa\varepsilon_1} \right) \Psi(t) + \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2 + m-1}{\varepsilon_2 m\kappa} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \Psi(\tau) d\tau &\leq \frac{1}{m} \Psi''(t) + \\ \left(\frac{\nu(m-p)(p-1)}{m\kappa\varepsilon_0} \varepsilon^{\frac{1}{p-1}} + \frac{1}{m\kappa\varepsilon_1} + \frac{2}{m\kappa} \right) \Psi(t) + \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2 + m-1}{\varepsilon_2 m\kappa} \int_0^t e^{-(t-\tau)} \Psi(\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (21)$$

where above an arbitrary constant C_0 has been chosen as

$$C_0 := \frac{\nu(m-p)(2-p)\kappa}{4\varepsilon_0} \frac{|\Omega|}{\varepsilon^{\frac{1}{2-p}}}.$$

If $\Psi(0) > 0$, then there exists $t_1 > 0$ [6], such that

$$\Psi'(t) > 0 \quad \text{for all } t \in [0, t_1]. \quad (22)$$

Thus, using (22), we get the following inequality:

$$\int_0^t e^{-(t-\tau)} \Psi(\tau) d\tau \leq \Psi(t) - \Psi(0)e^{-t} - \int_0^t e^{-(t-\tau)} \Psi'(\tau) d\tau \leq \Psi(t). \quad (23)$$

Plugging (23) into (21), we get

$$\left(1 - \frac{(m-1)\varepsilon_2}{m\kappa} - \frac{\nu(m-p)\varepsilon_0}{2m\kappa} \right) (\|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2) \leq \frac{1}{m} \Psi''(t) +$$

$$\left(\frac{\nu(m-p)(p-1)}{m\kappa\varepsilon_0} \varepsilon^{\frac{1}{p-1}} + \frac{1}{m\kappa\varepsilon_1} + \frac{2}{m\kappa} + \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2 + m-1}{\varepsilon_2 m\kappa} \right) \Psi(t) \quad (24)$$

If we choose the arbitrary constants ε_0 , ε_1 and ε_2 in (24) such that

$$\varepsilon_0 = \frac{m\kappa}{\nu(m-p)} \frac{e^\varepsilon - 1}{e^\varepsilon}, \quad \varepsilon_1 = \frac{1}{m\kappa} \frac{2e^\varepsilon}{e^\varepsilon - 1}, \quad \varepsilon_2 = \frac{m\kappa}{m-1} \frac{e^\varepsilon - 1}{2e^\varepsilon},$$

then we have

$$\alpha \left(\|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2 \right) \leq \frac{1}{m} \Psi''(t) + \beta \Psi(t), \quad (25)$$

Where

$$\alpha := \frac{1}{e^\varepsilon}; \quad \beta := \frac{\nu^2(m-p)^2(p-1)}{m^2\kappa^2} \frac{e^\varepsilon}{e^\varepsilon - 1} \varepsilon^{\frac{1}{p-1}} + \frac{e^\varepsilon - 1}{e^\varepsilon} + \frac{2}{m\kappa} + \frac{(m-1)^2 + 1}{m^2\kappa^2} \frac{2e^\varepsilon}{e^\varepsilon - 1},$$

with an arbitrary $\varepsilon > 0$.

Next, [8] using Holder's and Young's inequalities, we also derive the following inequality:

$$(\Psi'(t))^2 \leq 2\Psi(t) \left(\|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2 \right). \quad (26)$$

Now, combining (26) with (25), we get

$$\alpha \Psi(t) \left(\|u_t\|_2^2 + \kappa \|\nabla u_t\|_2^2 \right) \leq \frac{1}{m} \Psi''(t) \Psi(t) + \beta (\Psi(t))^2, \quad (27)$$

which yields

$$\frac{m\alpha}{2} (\Psi'(t))^2 \leq \Psi''(t) \Psi(t) + m\beta (\Psi(t))^2. \quad (28)$$

It follows (28) that

$$\Psi''(t) \Psi(t) - \chi (\Psi'(t))^2 + \delta (\Psi(t))^2 \geq 0 \quad (29)$$

where $\delta = m\beta$, $\chi = \frac{m\alpha}{2}$ and $\varepsilon \in \left(0, \ln \frac{m}{2} \right)$.

Hence, by the assumption of Theorem 1, the function $\Psi(t)$ satisfies all the conditions of Lemma 1 with the constants $B_1 = 0$, $B_2 = \delta$ and $\alpha = \chi - 1 > 0$.

Thus, by Lemma 1, the statement in Theorem 1 is true.

4 Conclusion

In the paper, the space of a weak generalized solutions of initial boundary value problem for a nonlinear (but without convective term) integro-differential Kelvin-Voigt equation modified with a p-Laplacian and a nonlinear source term is defined. Under suitable conditions on the data of the problem, the blowing up property of weak solutions in a finite time is established.

5 Acknowledgment

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Grant No. AP08052425.

References:

- 1 Zvyagin V.G. Turbin M.V., *The study of initial-boundary value problems for mathematical models of the motion of Kelvin-Voigt fluids*, *J. Math. Sci.*, 2010, №168, p.157–308.
- 2 Oskolkov A.P. *Initial-boundary value problems for equations of motion of Kelvin–Voight fluids and Oldroyd fluids*, *Proc. Steklov Inst. Math.*, 1989, №179, p.137–182.
- 3 Oskolkov A.P. *Nonlocal problems for the equations of Kelvin-Voight fluids*, *Zap. Nauchn. Semin. POMI*, 1992, 197, p.120-158.
- 4 Karazeeva A.N. *Global generalized solvability of an initial-boundary value problem with the periodicity condition for two-dimensional equations describing the motion of Maxwell fluids*, *J. Math. Sci.*, 2000, №243(1), p.870–873.
- 5 Karazeeva A.N. *Initial boundary value problems for linear viscoelastic flows generated by integrodifferential equations*, *J. Math. Sci.*, 2005, №127, p.1869–1874.
- 6 Yushkov E.V. (2012) *On the blow-up of a solution of a non-local system of equations of hydrodynamic type*, *Izv. Math.*, №76:1, p.201–224. (In Russian)
- 7 Al'shin A.B., Korpusov M.O., Sveshnikov A.G., *Blow-up in nonlinear Sobolev type equations*, *De Gruyter Series in Nonlinear Analysis and Applications*, 15. Walter de Gruyter Co., Berlin, 2011.
- 8 Antontsev S.N. Khompysh Kh., *Generalized Kelvin-Voigt equations with p-Laplacian and source/absorption terms*, *J. Math. Anal. Appl.*, 2017, №456(1), p.99–116.
- 9 Antontsev S.N., Khompysh Kh., *Kelvin-Voigt equation with p-Laplacian and damping term: Existence, uniqueness and blow-up*, *J. Math. Anal. Appl.*, 2017, №446(2), p.1255–1273.
- 10 Antontsev S.N., de Oliveira H.B., Khompysh Kh. *Generalized Kelvin-Voigt equations for nonhomogeneous and incompressible fluids*. *Commun. Math. Sci.* 2019, №17(7), p.1915–1948.
- 11 Antontsev S.N., de Oliveira H.B., Khompysh Kh. *Kelvin-Voigt equations perturbed by anisotropic relaxation, diffusion and damping*, *J. Math. Anal. Appl.*, 2019, №473, p.1122–1154.
- 12 Antontsev S.N., de Oliveira H.B., Khompysh Kh. *Kelvin–Voigt equations with anisotropic diffusion, relaxation and damping: Blow-up and large time behavior*, *Asymtotic Analys.*, 2021, №121(1), p.125–157.
- 13 Antontsev S.N., Diaz J.I., Shmarev S. *Energy Methods for Free Boundary Problems: Applications to Nonlinear PDEs and Fluid Mechanics*, *Progress in Nonlinear Differential Equations and their Applications* 48, Birkh ¨user, 2002.
- 14 Lions J.-L. *Quelques methodes de resolution des problemes aux limites non liniaires*, Paris, Dunod, 1969.
- 15 Kalantarov V.K., Ladyzenskaja O.A. *The occurrence of collapse for quasilinear equations of parabolic and hyperbolic types*, *J. Math. Sci.*, 1978, №10(1), p. 53–70.

BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR A LOADED HEAT CONDUCTIVITY OPERATOR

Shaldykova B.A.¹, Akhmanova D.M.², Shamatayeva N.K.^{2*}, Amangeldiev M.D.²

¹Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,

²Ye.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan

*e-mail: naz.kz85@mail.ru

Abstract

The steadily growing interest in the study of loaded differential equations is explained by the expanding scope of their applications and the fact that loaded equations constitute a special class of functional differential equations with their own specific tasks. These equations are used in the study of inverse problems of differential equations, which have important applied significance. The paper investigates the solvability problems of homogeneous and nonhomogeneous boundary value problems, as well as spectral issues for loaded differential operators of mathematical physics, when the loaded terms are not a weak perturbation of the differential part of the operator. They require special theoretical research.

Keywords: boundary value problem, unlimited domain, differential operator, spectrally loaded equations, spectrally loaded heat equations, generalized spectral problems, characteristic integral equations.

Аңдатпа

Б.А. Шалдықова¹, Д.М. Ахманова², Н.К. Шаматаева², М.Д. Амангелдиев²

¹Рудный индустриалды институты, Рудный қ., Қазақстан

²Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

ЖҮКТЕЛГЕН ЖЫЛУӨТКІЗГІШТІК ОПЕРАТОР ҮШІН ШЕКТІК ЕСЕП

Жүктелген дифференциалдық теңдеулерді зерттеуге деген тұрақты өсіп келе жатқан қызығушылық олардың қолдану аясының кеңеюімен және жүктелген теңдеулердің өзіндік нақты міндеттері бар функционалдық дифференциалдық теңдеулердің арнайы класын құрайтындығымен түсіндіріледі. Бұл теңдеулер маңызды қолданбалы мәні бар дифференциалдық теңдеулердің кері есептерін зерттеуде қолданылады. Жұмыста біртекті және біртекті емес шекаралық есептердің шешілу есептері, сондай-ақ жүктелген терминдер оператордың дифференциалдық бөлігінің әлсіз бұзылуы болмаған кезде математикалық физиканың жүктелген дифференциалдық операторлары үшін спектрлік мәселелер зерттеледі. Олар арнайы теориялық зерттеулерді қажет етеді.

Түйін сөздер: шектік есептер, шексіз аймақ, дифференциалдық оператор, спектралды жүктелген теңдеулер, спектралды жүктелген жылу теңдеулері, жалпыланған спектрлік есептер, сипатталған интегралдық теңдеулер.

Аннотация

Б.А. Шалдықова¹, Д.М.Ахманова², Н.К. Шаматаева², М.Д. Амангелдиев²

¹Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан,

²Карагандинский университет им.Е.А.Букетова, г. Караганда, Казахстан

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ НАГРУЖЕННОГО ОПЕРАТОРА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Неуклонно растущий интерес к изучению нагруженных дифференциальных уравнений объясняется расширением области их приложений и тем, что нагруженные уравнения составляют особый класс функционально-дифференциальных уравнений со своими специфическими задачами. Эти уравнения используются при изучении обратных задач дифференциальных уравнений, имеющих важное прикладное значение. В работе исследуются проблемы разрешимости однородных и неоднородных краевых задач, а также спектральные вопросы для нагруженных дифференциальных операторов математической физики, когда нагруженные члены не являются слабым возмущением дифференциальной части оператора. Они требуют специального теоретического исследования.

Ключевые слова: краевая задача, неограниченная область, дифференциальный оператор, спектрально нагруженные уравнения, спектрально нагруженные уравнения теплопроводности, обобщенные спектральные задачи, характеристические интегральные уравнения.

1. Introduction

Loaded differential equations as an object of the theory of partial differential equations and mathematical modeling appeared quite a long time ago. Loaded differential equations find numerous applications in practical problems. For example, the problem of the longitudinal movement of a load suspended from an elastic thread, the problem of vibrations of a string loaded with concentrated masses, the study of torsional vibrations of a thread to the end of which a mass is suspended, the problem of long-term forecasting and regulation of the level of groundwater and soil moisture. Boundary value problems for loaded equations have become particularly relevant in connection with the study of the vibration stability of aircraft wings, since to solve such a problem it is necessary to calculate the natural frequencies of a wing loaded with motors. In addition, similar problems occur when calculating the natural oscillations of antennas loaded with concentrated capacitances and self-inductions. Loaded equations also arise in the study of nonlinear equations, particle transport equations, optimal control problems, in the numerical solution of integro-differential equations, in the equivalent transformation of non-local boundary value problems, etc.

Loaded differential equations represent a special class in connection with specific problems. Equations of this kind arise in the study of nonlinear equations, for example particle transport equations, optimal control problems, inverse problems, in the case of an equivalent transformation of nonlocal problems, etc. [1].

Interest in the study of regional value problems for loaded differential equations is associated with the growing volume of their applications [2-5].

In this paper, we study boundary value problems for spectrally loaded parabolic equations in unlimited domains, when the order of the derivative of the loaded term coincides with the order of the differential part of the equation and the load point in the spatial variable moves with variable speed. In this case, new properties of the loaded differential operator appear, which are not inherent in operators with a weak perturbation. They require special theoretical research [6-7].

This serves to substantiate both the theoretical and practical relevance of the formulation and study of boundary value problems for spectrally loaded differential equations for the study of the spectral characteristics of these problems, as well as the establishment of criteria for the correctness of boundary value problems and the selection of the corresponding functional classes.

In this paper, boundary value problems for spectrally loaded parabolic equations are investigated, where the order of the derivatives in the loaded terms of the differential equation is equal to the order of the derivatives included in the equation itself. In the study of boundary value problems, the method of reduction of the boundary value problem to singular Volterra integral equations of the second-order is used [8-10].

2. Problem statements

Consider in the domain $Q = \{x \in R_+, t \in R_+\}$ boundary value problems for spectrally loaded heat equation:

$$L_\lambda u = f \Leftrightarrow \begin{cases} u_t - u_{xx} + \lambda u_{xx}(x, t)|_{x=\alpha(t)} = f, \\ u(x, 0) = 0, u(0, t) = 0; \end{cases} \tag{1}$$

$$L_\lambda^* v = g \Leftrightarrow \begin{cases} -v_t - v_{xx} + \bar{\lambda} \delta''(x - \alpha(t)) \otimes \int_0^\infty v(\xi, t) d\xi = g, \\ v(x, \infty) = 0, v(0, t) = v(\infty, t) = v_x(\infty, t) = 0; \end{cases} \tag{2}$$

and generalized spectral problems:

$$L_1 u = -\lambda u_{xx}(x, t)|_{x=\alpha(t)} \Leftrightarrow \begin{cases} u_t - u_{xx} = -\lambda u_{xx}(x, t)|_{x=\alpha(t)}, \\ u(x, 0) = 0, u(0, t) = 0; \end{cases} \tag{3}$$

$$L_1^* v = -\bar{\lambda} \cdot \delta''(x - \alpha(t)) \otimes \int_0^\infty v(\xi, t) d\xi \Leftrightarrow \begin{cases} -v_t - v_{xx} = -\bar{\lambda} \cdot \delta''(x - \alpha(t)) \otimes \int_0^\infty v(\xi, t) d\xi, \\ v(x, \infty) = 0, v(0, t) = v(\infty, t) = v_x(\infty, t) = 0; \end{cases} \tag{4}$$

The specified functions are selected from the classes

$$\begin{aligned} & (\alpha(t))^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} f \in L_1(Q), (\alpha(t))^{-1}(x+\sqrt{t}) g \in L_\infty(Q), \\ & (\alpha(t))^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t \int_0^\infty G(x, \xi, t-\tau) f(\xi, \tau) d\xi d\tau \right) \Big|_{x=\alpha(t)} \in L_1(R_+). \end{aligned} \quad (5)$$

$\delta(x-t) \in E'(Q)$ is the delta function centered on an open line $x = \alpha(t)$ of the domain Q , $E'(Q)$ is a space of generalized functions with compact support in the domain Q ,

$$\operatorname{erfz} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^a \exp(-\xi^2) d\xi,$$

Here the Green function $G(x, \xi, t-\tau)$ is defined by formula

$$G(x, \xi, t-\tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi t}} \left\{ \exp\left(-\frac{(x-\xi)^2}{4t}\right) - \exp\left(-\frac{(x+\xi)^2}{4t}\right) \right\}. \quad (6)$$

Remark 1.

If the function f does not depend on the variable x , then the second condition for the function f from (5) follows from the first: $(\alpha(t))^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} f \in L_1(Q)$.

In problems (1) - (4), it is assumed that the motion of the load point is described by the function $x(t) = \alpha(t)$ under condition $\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\alpha(t)}{\sqrt{t}} = \infty$.

The functional classes U and V for solving boundary value problems and the domains of the operators L and L^* , $D(L)$ and $D(L^*)$ are defined as follows, respectively

$$U = \left\{ u \mid (\alpha(t))(x+\sqrt{t})^{-1} u, (\alpha(t))^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} (u_t - u_{xx}) \in L_1(Q), (\alpha(t))^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} u_{xx}(x, t) \Big|_{x=\alpha(t)} \in L_1(R_+) \right\}, \quad (7)$$

$$V = \left\{ v \mid (\alpha(t))^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} v, (\alpha(t))^{-1}(x+\sqrt{t})(v_t + v_{xx}) \in L_\infty(Q), (\alpha(t))^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \int_0^\infty v(\xi, t) d\xi \in L_\infty(R_+) \right\}, \quad (8)$$

$$D(L_\lambda) \equiv D(L_1) = \left\{ u \mid u \in U, u(x, 0) = 0, u(0, t) = 0 \right\}, \quad (9)$$

$$D(L_\lambda^*) \equiv D(L_1^*) = \left\{ v \mid v \in V, v(x, \infty) = 0, v(0, t) = 0, v(\infty, t) = 0, v_x(\infty, t) = 0 \right\}. \quad (10)$$

The boundary value problem (2) is conjugate to problem (1). Indeed, according to (1)-(10) we have

$$\langle Lu, v \rangle = \langle u, L^*v \rangle \quad \forall u \in D(L), \forall v \in D(L^*).$$

Problem 1. It is necessary to investigate the solvability of boundary value problems (1) and (2) under conditions (5)-(10).

Problem 2. It is necessary to study the spectral problems (3) and (4) for determining pairs $\{\lambda, u_\lambda(x, t)\}$ and $\{\lambda, v_\lambda(x, t)\}$ under conditions (7)-(10).

3. The reduction of boundary value problems to integral equations

We reduce boundary value problems (1) and (2) to the study of adjoint singular Volterra integral equations of the second kind. For this, we invert the differential part in the boundary value problem (1) and have:

$$u(x, t) = -\lambda \int_0^t \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{t-\tau}}\right) u_{\eta\eta}(\eta, \tau) \Big|_{\eta=\alpha(\tau)} d\tau + \int_0^t \int_0^\infty G(x, \xi, t-\tau) f(\xi, \tau) d\xi d\tau, \quad (11)$$

where

$$K_0(x, t-\tau) = \int_0^\infty G(x, \xi, t-\tau) d\xi = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{t-\tau}}\right).$$

It follows from relation (11) that to find a solution to problem (1), it is sufficient to determine the loaded summand $u_{xx}(x, t) \Big|_{x=\alpha(t)}$. To do this, we differentiate both parts of the relation (11) by the variable x twice and enter the following notation

$$\begin{aligned} \mu(t) &= (\alpha(t))^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} u_{xx}(x, t) \Big|_{x=\alpha(t)}, \\ K_2(t, \tau) &= \left[\frac{\alpha(t)}{\alpha(\tau)} \right]^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} \cdot \frac{\alpha(t)}{2\sqrt{\pi}(t-\tau)^{3/2}} \exp\left(-\frac{(\alpha(t))^2}{4(t-\tau)}\right), \\ f_1(t) &= (\alpha(t))^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t \int_0^\infty G(x, \xi, t-\tau) f(\xi, \tau) d\xi d\tau \right) \Big|_{x=\alpha(t)}, \end{aligned} \quad (12)$$

we obtain the integral equation

$$K_{2,\lambda} \mu \equiv (I - \lambda K_2) \mu \equiv \mu(t) - \lambda \int_0^t K_2(t, \tau) \mu(\tau) d\tau = f_1(t), \quad t \in R_+. \quad (13)$$

Remark 2. Note that the boundedness of function $f_1(t)$ (12) on R_+ follows from condition (5) on f .

The kernel $K_2(t, \tau)$ of the integral equation has the following properties:

- 1⁰ the kernel $K_2(t, \tau)$ continuously, $0 < \tau < t < \infty$;
- 2⁰ the kernel $K_2(t, \tau)$, $0 < \tau < t < \infty$;
- 3⁰ the following limiting ratio is valid

$$\lim_{t \rightarrow +0} \int_0^t K_2(t, \tau) d\tau = 0. \quad (14)$$

Proof of property 3⁰.

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow +0} \int_0^t K_2(t, \tau) d\tau &= \lim_{t \rightarrow +0} \int_0^t \left[\frac{\alpha(t)}{\alpha(\tau)} \right]^{\frac{\omega-3/2}{\omega}} \frac{\alpha(t)}{2\sqrt{\pi}(t-\tau)^{3/2}} \exp\left(-\frac{(\alpha(t))^2}{4(t-\tau)}\right) d\tau = \\ &= \lim_{t \rightarrow +0} \int_0^t \left[\frac{\alpha(\tau)}{\alpha(t)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{4}{\sqrt{\pi}(\alpha(t))^2} \cdot \left(\frac{\alpha(t)}{2\sqrt{t-\tau}} \right)^3 \exp\left(-\frac{(\alpha(t))^2}{4(t-\tau)}\right) d\tau \leq \\ &\leq \lim_{t \rightarrow +0} \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{3}{2} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{[t(1+\alpha_0(t))]^{2\omega}} \int_0^t d\tau \leq \lim_{t \rightarrow +0} \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{3}{2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{3}{2}} t^{1-2\omega} = 0 \end{aligned}$$

Conditions were used here: $0 < \tau < t < \infty$, $\frac{3}{2} - \omega > 1$ and inequality

$$z^m \exp(-z^n) \leq \left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{m}{n}} \exp\left(-\frac{m}{n}\right), \text{ for any } z > 0, \text{ and also that } \alpha(t) = [t(1 + \alpha_0(t))]^\omega \text{ and } 1 + \alpha_0(t) \leq C.$$

Remark 3. From the relation (14) it follows that the integral equation (13) refers to "Volterra's for which the solution exists and is unique. We proceed to the consideration of the conjugate boundary value problem (2) and inverting its differential part, we obtain:

$$v(x, t) = -\bar{\lambda} \int_t^\infty \int_0^\infty G(x, \xi, \tau - t) \delta''(\xi - \alpha(\tau)) \otimes \int_0^\infty v(\eta, \tau) d\eta d\xi d\tau + \\ + \int_t^\infty \int_0^\infty G(x, \xi, \tau - t) g(\xi, \tau) d\xi d\tau,$$

Integrating relation (19) over the variable x from 0 to ∞ and denoting

$$v(t) = (\alpha(t))^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \int_0^\infty v(\eta, t) d\eta,$$

we obtain the integral equation

$$K_{2\lambda}^* v \equiv (I - \bar{\lambda} K_2^*) v \equiv v(t) - \bar{\lambda} \int_t^\infty K_2(\tau, t) v(\tau) d\tau = g_1(t), \quad t \in R_+, \quad (15)$$

where the following notation was used:

$$K_2(\tau, t) = \left(\frac{\alpha(t)}{\alpha(\tau)}\right)^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{\alpha(\tau)}{2\sqrt{\pi}(\tau-t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{(\alpha(\tau))^2}{4(\tau-t)}\right), \\ g_1(t) = (\alpha(t))^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \int_t^\infty \int_0^\infty \operatorname{erf}\left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau-t}}\right) g(\xi, \tau) d\xi d\tau. \quad (16)$$

Remark 4. Note that the integrability of function (16) $g_1(t)$ on R_+ follows from condition (5) on g .

Note that the kernel of the conjugate integral equation (15) has the following property:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_t^\infty K_2(\tau, t) d\tau = 1. \quad (17)$$

It follows from the limit relation (17) that the norm of an integral operator acting in the space of bounded and continuous functions and defined by the kernel $K_{2\lambda}^*$ is equal to one (although the kernel $K_{2\lambda}^*$ has an integrable singularity). This fundamentally distinguishes equation (15) from Volterra equations of the second kind. Thus, the solution of conjugate boundary value problems (1), (2) is reduced to the study of a pair of conjugate integral equations (13) and (15), which in the future we will call the initial ones.

4. Study of characteristic integral equations

Consider the characteristic integral equations corresponding to integral equations (13) and (15):

$$K_\lambda \mu \equiv (I - \lambda K) \mu \equiv \mu(t) - \lambda \int_0^t K(t, \tau) \mu(\tau) d\tau = f_1(t), \quad t \in R_+, \\ K_\lambda^* v \equiv (I - \bar{\lambda} K^*) v \equiv v(t) - \bar{\lambda} \int_t^\infty K(\tau, t) v(\tau) d\tau = g_1(t), \quad t \in R_+, \quad (18)$$

where

$$K(\tau, t) = \left(\frac{\alpha(t)}{\alpha(\tau)}\right)^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \cdot \frac{(1-2\omega)^{3/2} [\alpha(\tau)]^{-2} \left([\alpha(\tau)]^{\frac{1}{\omega}}\right)'}{2\sqrt{\pi} \left([\alpha(\tau)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(t)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}\right)^{3/2}} \times$$

$$\times \exp \left(- \frac{1 - 2\omega}{4 \left([\alpha(t)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} \right)} \right). \quad (19)$$

The kernel of the characteristic equation $K(\tau, t)$ has the same properties as the kernel $K_2(\tau, t)$ and the following limiting relation is valid for it:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_t^\infty K(\tau, t) d\tau = 1, \quad (20)$$

It can be shown that the difference between the kernels $\tilde{K}(\tau, t) = K_2(\tau, t) - K(\tau, t)$ must have a weak feature [12-15]. This follows from the statement of the next theorem.

Theorem 1. If the function $\alpha(t) = [t(1 + \alpha_0(t))]^\omega$, where $\alpha_0(t) = t^\beta \sigma(t)$, $\beta > 0$, the function $\sigma(t)$ is twice continuously differentiable for $0 < t < \tau < \infty$ $|\sigma(t)| \leq C$, $\sigma(t) \neq 0$, then the following estimate is valid

$$\begin{aligned} |K_2(\tau, t) - K(\tau, t)| \leq C(\omega) & \left[\frac{\alpha(\tau)}{\alpha(t)} \right]^{-\frac{\omega-3/2}{\omega}} \frac{t^{1/2+\omega}}{\tau^{3/2} \sqrt{\tau-t}} \times \\ & \times \left[\exp \left((2\omega-1) \frac{[\alpha(t)]^{\frac{2\omega-1}{\omega}} [\alpha(\tau)]^{\frac{2\omega-1}{\omega}}}{8 \left([\alpha(t)]^{\frac{2\omega-1}{\omega}} - [\alpha(\tau)]^{\frac{2\omega-1}{\omega}} \right)} \right) + \exp \left(\frac{(\alpha(t))^2}{8(t-\tau)} \right) \right]. \end{aligned}$$

To prove this theorem, we reduce integral equations (15) and (18) to equations on a finite interval $(0, t)$. To do this, we make changes of variables in these equations:

$$\alpha(t) = \frac{1}{\alpha(t_1)}, \quad \alpha(\tau) = \frac{1}{\alpha(\tau_1)}.$$

Then integral equations (15) and (18) take the form, respectively:

$$v(t_1) - \bar{\lambda} \int_0^{t_1} \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{\tau_1^{-1/2} t_1^{3/2} [\alpha(\tau_1)]^{-1}}{2\sqrt{\pi} (t_1 - \tau_1)^{3/2}} \exp \left(- \frac{t_1 \tau_1 [\alpha(\tau_1)]^{-2}}{4(t_1 - \tau_1)} \right) v(\tau_1) d\tau_1 = g_1(t_1),$$

$$\begin{aligned} v(t_1) - \bar{\lambda} \int_0^{t_1} & \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{(1-2\omega)^{3/2}}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{[\alpha(t_1)]^{\frac{3/2(1-2\omega)}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1+2\omega}{2\omega}} \left[\alpha(\tau_1)^{\frac{1}{\omega}} \right]'}{\left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} \right)^{3/2}} \times \\ & \times \exp \left(- \frac{(1-2\omega) [\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}}{4 \left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} \right)} \right) v(\tau_1) d\tau_1 = g_1(t_1). \end{aligned}$$

We denote these kernels of equations (19) and (20) by $K'_2(t_1, \tau_1)$ and $K'(t_1, \tau_1)$ and write them in the form:

$$K'_2(t_1, \tau_1) = P'_2(t_1, \tau_1)e^{-Q'_2(t_1, \tau_1)}, \quad K'(t_1, \tau_1) = P'(t_1, \tau_1)e^{-Q'(t_1, \tau_1)},$$

where

$$P'_2(t_1, \tau_1) = \left(\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)}\right)^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{\tau_1^{-1/2} t_1^{3/2} [\alpha(\tau_1)]^{-1}}{2\sqrt{\pi} (t_1 - \tau_1)^{3/2}}, \quad Q'_2(t_1, \tau_1) = \frac{t_1 \tau_1 [\alpha(\tau_1)]^{-2}}{4(t_1 - \tau_1)},$$

$$P'(t_1, \tau_1) = \left(\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)}\right)^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{(1-2\omega)^{3/2}}{2\sqrt{\pi}} \frac{[\alpha(t_1)]^{\frac{3/2(1-2\omega)}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{-\frac{1+2\omega}{2\omega}} \left[\alpha(\tau_1)^{\frac{1}{\omega}}\right]'}{\left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}\right)^{3/2}},$$

$$Q'(t_1, \tau_1) = \frac{(1-2\omega) [\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}}{4 \left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}\right)}.$$

The following theorem holds

Theorem 2. If the function $\alpha(t_1) = [t_1(1 + \alpha_0(t_1))]^\omega$, where $\alpha_0(t_1) = t_1^\beta \sigma(t_1)$, $\beta > 0$, and the function $\sigma(t_1)$ is twice continuously differentiable for $0 < \tau_1 < t_1 < \infty$, $u |\sigma(t_1)| \leq C$, $\sigma(t_1) \neq 0$, then the following estimate holds:

$$\begin{aligned} |K'(t_1, \tau_1) - K'_2(t_1, \tau_1)| &\leq C(\omega) \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)}\right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{t_1^{-\omega}}{\sqrt{t_1 - \tau_1}} \times \\ &\times [\exp\{-Q'(t_1, \tau_1)/2\} + \exp\{-Q'_2(t_1, \tau_1)/2\}]. \end{aligned} \quad (21)$$

First we prove a few lemmas.

Lemma 1. If the function $\alpha(t_1) = [t_1(1 + \alpha_0(t_1))]^\omega$, where $\alpha_0(t_1) = t_1^\beta \sigma(t_1)$, $\beta > 0$ and $\alpha_0(t_1)$ increases monotonically at $0 < \tau_1 < t_1 < \infty$, $|\sigma(t_1)| \leq C$, then the following estimate holds:

$$|P'(t_1, \tau_1) - P'_2(t_1, \tau_1)| \leq \bar{M} \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)}\right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \cdot \frac{t_1^{1-\omega+\beta}}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}}.$$

Proof of Lemma 1.

$$\begin{aligned} |P'(t_1, \tau_1) - P'_2(t_1, \tau_1)| &= \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)}\right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \left| \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{(1-2\omega)^{3/2} [\alpha(t_1)]^{\frac{3}{2} \cdot \frac{1-2\omega}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{-\frac{1-2\omega}{2\omega}} \left([\alpha(\tau_1)^{\frac{1}{\omega}}\right]'}{\left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}\right)^{3/2}} - \right. \\ &\left. - \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{t_1^{3/2} \tau_1^{-1/2} [\alpha(\tau_1)]^{-1}}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}} \right| = \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)}\right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}\right)^{-3/2} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \times \left| (1-2\omega)^{3/2} [\alpha(t_1)]^{\frac{3}{2}-\frac{1-2\omega}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{-\frac{1-2\omega}{2\omega}} ([\alpha(\tau_1)]^{\frac{1}{\omega}})' - t_1^{3/2} \tau_1^{-1/2} [\alpha(\tau_1)]^{-1} \cdot \left(\frac{[\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}}{t_1 - \tau_1} \right)^{3/2} \right| = \\ & = \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} \right)^{3/2}} \left| (1-2\omega)^{3/2} [t_1(1+\alpha_0(t_1))]^{\frac{3-6\omega}{2}} [\tau_1(1+\alpha_0(\tau_1))]^{\frac{-1-2\omega}{2}} \times \right. \\ & \times \left. \left((1+\alpha_0(\tau_1) + \tau_1 \alpha_0'(\tau_1)) - t_1^{3/2} \tau_1^{-1/2} [\tau_1(1+\alpha_0(\tau_1))]^{-\omega} \left\{ ([\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}})'_{|\tau_1=t_1} - \frac{1}{2} ([\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}})''_{|\tau_1=t_2} (t_1 - \tau_1) \right\} \right)^{3/2} \right|, \\ & \quad t_2 = \tau_1 + \theta_2(t_1 - \tau_1), \quad 0 < \theta_2 < 1. \end{aligned}$$

Because $\alpha(t_1) = [t_1(1 + \alpha_0(t_1))]^\omega$, we get:

$$\begin{aligned} |P_2(t, \tau) - P(t, \tau)| & \leq \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{(1-2\omega)^{3/2} [t_1(1+\alpha_0(t_1))]^{\frac{3-3\omega}{2}} [\tau_1(1+\alpha_0(\tau_1))]^{\frac{-1-2\omega}{2}}}{\delta^{3/2}(\omega) [t_1(1+\alpha_0(t_1))]^{-3\omega} (1+\alpha_0(t_1) + t_1 \alpha_0'(t_1))^{3/2} (t_1 - \tau_1)^{3/2}} \times \\ & \times \left| \left((1+\alpha_0(\tau_1) + \tau_1 \alpha_0'(\tau_1)) - (1+\alpha_0(t_1) + t_1 \alpha_0'(t_1)) \right)^{3/2} \left\{ [1 + \omega [t_1(1 + \alpha_0(t_1))]^{-1} (1 + \alpha_0(t_1) + t_1 \alpha_0'(t_1)) (t_1 - \tau_1) - \right. \right. \\ & \quad \left. \left. - \frac{1}{2} (1 + \alpha_0(t_1) + t_1 \alpha_0'(t_1))^{-1} (2\alpha_0'(t_2) + t_2 \alpha_0''(t_2)) (t_1 - \tau_1) \right\} \right|^{3/2}. \end{aligned}$$

So, we finally get: $|P'(t_1, \tau_1) - P_2'(t_1, \tau_1)|$

$$\leq \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{(1-2\omega)^{3/2}}{\delta^{3/2}(\omega)} \cdot \frac{2^\omega t_1^{1-\omega} \alpha_0(t_1)}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}} \leq M \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{t_1^{1-\omega+\beta}}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}}.$$

Lemma 1 is proved.

Lemma 2. if the conditions of lemma 1 are satisfied, then we have

$$|Q'(t_1, \tau_1) - Q_2'(t_1, \tau_1)| \leq M_1 \frac{t_1^{2\omega+\beta}}{t_1 - \tau_1} + M_2 t_1^{2\omega-1}.$$

Proof of Lemma 2.

We have:

$$\begin{aligned} |Q'(t_1, \tau_1) - Q_2'(t_1, \tau_1)| & = \left| \frac{t_1 \tau_1 [\alpha(\tau_1)]^{-2}}{4(t_1 - \tau_1)} - (1-2\omega) \frac{[\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}}{4 \left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} \right)} \right| = \\ & = \frac{1-2\omega}{4} \frac{[\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}}{[\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}} \left| \frac{t_1 \tau_1 [\alpha(\tau_1)]^{-2} \left([\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} - [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} \right)}{(1-2\omega)(t_1 - \tau_1) [\alpha(t_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}} [\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}}} - 1 \right| \leq \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\leq \frac{1-2\omega}{4} \frac{[t_1(1+\alpha_0(t_1))]^{1-2\omega} [\tau_1(1+\alpha_0(\tau_1))]^{1-2\omega}}{[t_1(1+\alpha_0(t_1))]^{1-2\omega} - [\tau_1(1+\alpha_0(\tau_1))]^{1-2\omega}} \times \\ &\times \left| t_1 \tau_1 [t_1(1+\alpha_0(t_1))]^{2\omega-1} [\tau_1(1+\alpha_0(\tau_1))]^{-1} \frac{\left\{ ([\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}})'_{|\tau_1=\tau_1} - \frac{1}{2} ([\alpha(\tau_1)]^{\frac{1-2\omega}{\omega}})''_{|\tau_1=\tau_2} (t_1 - \tau_1) \right\}}{(1-2\omega)} - 1 \right| \leq \\ &\leq \frac{(1-2\omega)2^{2-2\omega}}{4\delta(\omega)} \frac{t_1^{2\omega}}{(t_1 - \tau_1)} (\alpha_0(t_1) + t_1 \alpha'_0(t_1)) + \frac{(1-2\omega)\omega}{4\delta(\omega)} 2^{2\omega-1} t_1^{2\omega-1} - \frac{(1-2\omega)}{4\delta(\omega)} 2^{2\omega} t_1^{2\omega} \leq \\ &\leq M_1 \frac{t_1^{2\omega+\beta}}{t_1 - \tau_1} + M_2 t_1^{2\omega-1}. \end{aligned}$$

Lemma 2 is proved.

Proof of Theorem 2. First, we establish the following inequality:

$$P'_2(t_1, \tau_1) = \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \cdot \frac{\tau_1^{-1/2} t_1^{3/2} [\tau_1(1+\alpha_0(\tau_1))]^{-\omega}}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}} \leq M_3(\omega) \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \cdot \frac{t_1^{1-\omega}}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}}.$$

For those parameter values ω and $0 < \tau < t < \infty$, at which $Q'(t_1, \tau_1) \geq Q'_2(t_1, \tau_1)$ the required estimate follows from these inequalities:

$$\begin{aligned} &|K'(t_1, \tau_1) - K'_2(t_1, \tau_1)| \leq |(P'(t_1, \tau_1) - P'_2(t_1, \tau_1)) \exp\{-Q'(t_1, \tau_1)\}| + \\ &+ |P'_2(t_1, \tau_1) \exp\{-Q'(t_1, \tau_1)\} (1 - \exp\{-Q'_2(t_1, \tau_1) + Q'(t_1, \tau_1)\})| \leq \\ &\leq |P'(t_1, \tau_1) - P'_2(t_1, \tau_1)| \exp\{-Q'(t_1, \tau_1)\} + |P'_2(t_1, \tau_1) (Q'_2(t_1, \tau_1) - Q'(t_1, \tau_1)) \exp\{-Q'(t_1, \tau_1)\}|. \end{aligned}$$

Thus, taking into account Lemmas 1 - 2, we have:

$$\begin{aligned} &|K' - K'_2| \leq \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \left\{ \bar{M} \frac{t_1^{1-\omega+\beta}}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}} + M_3 \frac{t_1^{1-\omega+\beta}}{(t_1 - \tau_1)^{3/2}} \left(M_1 \frac{t_1^{2\omega+\beta}}{t_1 - \tau_1} + M_2 t_1^{2\omega-1} \right) \right\} \exp(-Q) \leq \\ &\leq \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{t_1^{3/2-2\omega}}{\tau_1^{3/2-\omega} (t_1 - \tau_1)^{1/2}} \left(\bar{M} \frac{t_1^{\omega+\beta-1/2}}{t_1 - \tau_1} + \bar{M}_1 \frac{\tau_1^{3/2-\omega} t_1^{3\omega+\beta-1/2}}{(t_1 - \tau_1)^2} + \bar{M}_2 \frac{\tau_1^{3/2-\omega} t_1^{3\omega-3/2}}{t_1 - \tau_1} \right) \exp(-Q) \leq \\ &\leq \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{t_1^{3/2-2\omega}}{\tau_1^{3/2-\omega} (t_1 - \tau_1)^{1/2}} \left(\frac{t_1}{t_1 - \tau_1} \exp(-Q/2) \cdot \bar{M} t_1^{\omega+\beta-3/2} \tau_1^{3/2-\omega} + \right. \\ &+ \left. \frac{t_1^2}{(t_1 - \tau_1)^2} \exp(-Q/2) \cdot \bar{M}_1 \tau_1^{3/2-\omega} t_1^{3\omega+\beta-5/2} + \frac{t_1}{t_1 - \tau_1} \exp(-Q/2) \cdot \bar{M}_2 \tau_1^{3/2-\omega} t_1^{3\omega-5/2} \right) \exp(-Q/2) \leq \end{aligned}$$

$$\leq C(\omega) \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \frac{t_1^{-\omega}}{\sqrt{t_1 - \tau_1}} \exp\{-Q/2\}.$$

The validity of inequality (21) means that the kernel $K'_2(t_1, \tau_1) - K'(t_1, \tau_1)$ has a weak singularity and the following limiting relation holds:

$$\begin{aligned} \lim_{t_1 \rightarrow 0} \int_0^{t_1} \left[\frac{\alpha(\tau_1)}{\alpha(t_1)} \right]^{\frac{3/2-\omega}{\omega}} \cdot \frac{t_1^{3/2-2\omega}}{\tau_1^{3/2-\omega} (t_1 - \tau_1)^{1/2}} [\exp\{-Q'(t_1, \tau_1)/2\} + \exp\{-Q'_2(t_1, \tau_1)/2\}] d\tau_1 \leq \\ \leq \lim_{t_1 \rightarrow 0} \int_0^{t_1} \frac{t_1^{-\omega}}{(t_1 - \tau_1)^{1/2}} d\tau_1 = 0. \end{aligned}$$

This means that equation (18) is indeed characteristic for equation (15). Thus, Theorem 2 and thus, Theorem 1 is proved.

References:

- 1 Nakhushiev A.M. (2008). *Po teorii nagruzhennykh uravneniy* [On the theory of loaded equations] Dokl. Adygeyskoy (Cherkesskoy) Mezhdunarodnoy akademii nauk. - T. 10, № 2, 30-42 (in Russian)
- 2 Kozhanov A.I. (2005). *Obratnaya zadacha dlya parabolicheskogo uravneniya s neizvestnym koefitsiyentom spetsial'nogo vida* [Inverse problem for a parabolic equation with an unknown coefficient of a special type]. *Neklassicheskiye uravneniya matematicheskoy fiziki: Materialy seminarov, posvyashchennogo 60-letiyu V.N. Vrag.* - Novosibirsk: Izd-vo Instituta matematiki S.L. Sobolev, 167-176 (in Russian)
- 3 Nakhushiev A.M. (1983). *Nagruzhennyye uravneniya i ikh prilozheniya* [Loaded equations and their applications] *Differents. uravneniya*- 1983, 19(1), 86-94 (in Russian)
- 4 Dzhenaliev M. T., Ramazanov M. I. (2007). *Ob odnoy granichnoy zadache dlya spektral'no-nagruzhennogo operatora teploprovodnosti I* [On a boundary value problem for a spectrally loaded heat operator I] *Differentsial'nyye uravneniya*, 43, 4, 513-524. DOI: 10.1134/S0012266107040106 (in Russian)
- 5 Dzhenaliev, M.T., Ramazanov, M.I. (2007). *Ob odnoy granichnoy zadache dlya spektral'no-nagruzhennogo operatora teploprovodnosti II* [On a boundary value problem for a spectrally loaded heat operator: II] *Differentsial'nyye uravneniya*, 43, 6, 806-812. DOI: 10.1134/S0012266107060079 (in Russian)
- 6 Jenaliyev, M., Ramazanov, M. (2016). *On a homogeneous parabolic problem in an infinite corner domain.* *AIP Conference Proceedings*, 1759, 020085. DOI: 10.1063/1.4959699
- 7 Akhmanova, D.M., Ramazanov, M.I., Yergaliyev. M.G. (2018). *On an integral equation of the problem of heat conduction with domain boundary moving by law of $t = x^2$.* *Bulletin of the Karaganda University Mathematics*, 1 (89), 15-19. DOI: 10.31489/2018M1/15-19
- 8 Akhmanova, D.M., Kervenev, K.E., Baltabayeva, A.M. (2019). *On singular integral equations with variable limits of integration.* *Bulletin of the Karaganda University-Mathematics*, 1 (93), 8-18. DOI: 10.31489/2019M1/8-18
- 9 Akhmanova D.M., Shamatayeva N.K., Kasymova L.Zh. (2020) *On boundary value problems for essentially loaded parabolic equations in bounded domains.* *Bulletin of the Karaganda University Mathematics*, 2 (98), 6-14. DOI: 10.31489/2020M2/6-14
- 10 Sarsengeldin, Merey, Kharin, Stanislav, Rayev, Zhangir, & Khairullin, Yermek. (2018). *Mathematical model of heat transfer in opening electrical contacts with tunnel effect.* *Filomat*, Vol. 32, No. 3, 1003-1008. DOI: 10.2298/FIL1803003S

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

МРНТИ 27.41, 30.17

УДК 519.6, 532.5

<https://doi.org/10.51889/3035.2022.74.92.008>

Б.К. Асилбеков^{1*}, Ж.К. Акашева¹, Д.Ә. Болысбек^{1,2}, А.Б. Кульджабеков¹

¹Сатбаев Университет, г. Алматы, Казахстан

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

*e-mail: assilbekov.b@gmail.com

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРЕНИЯ КАРБОНАТНОЙ ПОРОДЫ:
ВЛИЯНИЕ МАСШТАБА ОБЛАСТИ**

Аннотация

В настоящей статье рассматривается растворение карбонатной породы в прямоугольной двумерной области высотой H и длиной L , которое описывается двух-масштабной математической моделью. Было изучено влияние соотношения сторон области ($F = H/L$) на растворение в масштабе "керна" и "ПЗС". С увеличением масштаба области структура червоточины меняется от более прямой и широкой к более тонкой и разветвленной форме. Было показано, что изменение масштаба области существенно влияет на оптимальный поровый объем кислоты прорыва для рассмотренных в настоящей статье значений пористости, и оказалось, что в масштабе "ПЗС" для прорыва требуется вдвое меньше кислотного раствора чем в масштабе "керна" практически при всех F . Также было показано, что изменение оптимального порового объема кислоты по длине области имеет четкую закономерность при всех F , которое описывается степенной функцией вида $PV_{opt} = (a\phi + b)L^{-(c\phi+d)}$ с высокими коэффициентами достоверности аппроксимации $R^2 = 0.88 - 0.99$. Данное уравнение позволяет экстраполировать оптимальные поровые объемы кислотного раствора, полученные в лабораторных условиях к более крупному масштабу, например, масштабу призабойной зоны скважины.

Ключевые слова: растворение породы, масштаб области, кислотный раствор, оптимальный поровый объем кислоты, червоточина, двух-масштабная модель.

Аңдатпа

Б.К. Асилбеков¹, Ж.К. Акашева¹, Д.Ә. Болысбек^{1,2}, А.Б. Кульджабеков¹

¹Сатбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан

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

**КАРБОНАТТЫ ТАУ ЖЫНЫСЫНЫҢ ЕРУІН САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ:
АУМАҚ МАСШТАБЫНЫҢ ӘСЕРІ**

Бұл мақалада биіктігі H және ұзындығы L екіөлшемді тіктөртбұрышты аумақта екі-масштабты математикалық модельмен сипатталатын карбонатты тау-жынысының еруі қарастырылды. Аталған аумақтың жақтарының қатынасының ($F = H/L$) "керна" и "ұңғы аумағы" масштабтарында еру процесіне әсері зерттелді. Аумақ масштабы өскен сайын еру каналының құрылымы түзу және кеңдеу пішіннен тармақталған және жіңішке пішінге ауысатындығы байқалды. Аумақ масштабының өзгеруі осы мақалада қарастырылған кеуектілік коэффициенттері үшін қышқылдың жарып шығуына қажетті көлемге айтарлықтай әсер ететіндігі көрсетілді, және "ұңғы аумағы" масштабында F параметрінің түгелдей дерлік мәнінде "керна" масштабымен салыстырғанда екі есе аз қышқылдың көлемі қажет екендігі көрсетілді. Сонымен қатар, қышқылдың жарып шығуына қажетті көлем F параметрінің түгелдей дерлік мәні үшін аумақтың ұзындығына байланысты аппроксимация дәлдігінің коэффициенттері жоғары ($R^2 = 0.88 - 0.99$) болатын $PV_{opt} = (a\phi + b)L^{-(c\phi+d)}$ айқын заңдылығымен өзгеретіндігі көрсетілді. Аталған заңдылық лаборатория жағдайында алынған қышқылдың жарып шығуына қажетті оптималды көлемін әлдеқайда жоғарырақ масштабқа, мысалы, ұңғы маңы масштабына экстраполяция жасауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: тау жынысының еруі, аумақ масштабы, қышқыл ерітіндісі, қышқылдың оптималды көлемі, еру каналы, екі-масштабы модель.

Abstract

**NUMERICAL STUDY OF CARBONATE ROCK DISSOLUTION:
IMPACT OF A DOMAIN SCALE**

Assilbekov B.K.¹, Akasheva Zh.K.¹, Bolysbek D.A.^{1,2}, Kuldjabekov A.B.¹

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

This paper considers the dissolution of a carbonate rock in a rectangular $H \times L$ 2D domain using a two-scale mathematical model. The impact of the aspect ratio ($F = H/L$) on the dissolution at the "core" and "wellbore" scales was studied. As the scale of the domain increase, the wormhole structure changes from a straighter and wider to a thinner and more ramified shape. It was shown that a change in the domain scale significantly affects the optimal acid breakthrough pore volume for the porosity values considered in this paper, and it turned out that on the "wellbore" scale, breakthrough requires half the amount of acid than on the "core" scale for all F . It was also shown that the optimal acid breakthrough pore volume changes along the domain length by a clear law for all F , which is described by equation $PV_{opt} = (a\phi + b)L^{-(c\phi+d)}$ with high approximation coefficients $R^2 = 0.88 - 0.99$. This equation makes it possible to extrapolate the acid optimal breakthrough pore volumes obtained in laboratory conditions to a larger scale, for example, the scale of the near-wellbore zone.

Keywords: rock dissolution, domain scale, acid solution, acid optimal pore volume, wormhole, two-scale model.

Введение

Растворение горной породы, в основном происходит при кислотной обработке призабойной зоны скважины и закачке углекислого газа в пласты карбонатной породы. Последнее проводится с целью уменьшения выброса CO_2 в атмосферу путем закачки в карбонатные пласты. Кислотная обработка призабойной зоны скважины осуществляется для восстановления фильтрационно-емкостных характеристик породы в старых скважинах или увеличения проницаемости, тем самым производительности новых скважин за счет образования и распространения так называемых "червоточин" – тонких каналов растворения.

Изучению растворения горной породы посвящены многие [1-3] экспериментальные и [4-8] численные исследования. Основными факторами, влияющие на формирование и распространение различных каналов растворения являются перенос кислотных растворов и химическая реакция между кислотным раствором и горной породой. В зависимости от отношения константы скорости химической реакции к скорости закачки раствора, т.е. от числа Дамколера в присутствии неоднородности поровой структуры породы форма каналов растворения сильно меняется: при низких скоростях закачки образуется поверхностное растворение, при высоких скоростях – происходит равномерное растворение, а при средних скоростях – образуются тонкие каналы растворения (червоточины) [2, 3]. Fredd и Scott Fogler нашли значение оптимального числа Дамколера для широкого вида кислотных растворов и типа пород, которое равняется 0.29 [2]. Li и др. нашли зависимости основных характеристик, а именно, количества червоточин, площади сечения и объема червоточин от скорости закачки при изучении растворения гипсовых образцов при помощи микро-компьютерной томографии [3]. Izgес и др. изучали влияние присутствующих в карбонатных породах каверн на образование и распространение червоточины, и выяснили, что в случае образца с кавернами червоточины распространяются быстрее по сравнению с червоточинами в более однородных образцах [5]. А также они показали, что с увеличением доли каверн в общем поровом пространстве поровый объем кислоты прорыва уменьшается. Влияние вязкоупругой самоотклоняющейся кислоты на растворение карбонатной породы изучено в [7]. Они показали, что при закачке вязкоупругой самоотклоняющейся кислоты развиваются и вторичные червоточины вместе с доминантными червоточинами, а также оптимальная скорость при закачке вязкоупругой самоотклоняющейся кислоты будет больше по сравнению скорости при закачке обычной кислоты. Kalia и Balakotaiah сравнили образование и распространение червоточины в скважинах с перфорацией и без [6], и пришли к выводу, что снижается оптимальный поровый объем кислоты прорыва в случае скважины с перфорацией по сравнению скважины без перфорации, а также поровый объем кислоты прорыва уменьшается с увеличением длины перфорационных каналов.

Влияние масштаба (сантиметровый или метровый) или соотношения сторон ($F = H/L$) исследуемой области (образцов) на растворение породы при закачке различного вида кислотных растворов косвенно или напрямую изучены в работах [7, 9-11]. В работе Liu и Liu с помощью численного моделирования было исследовано влияние закачки вязкоупругой самоотклоняющейся кислоты на образование и распространение червоточины в карбонатной породе в сравнении с закачкой

обычной кислоты [7]. Авторы данной работы на основе анализа результатов расчетов для областей с $F = 0.5$ ($25 \times 50 \text{ см}^2$ и $50 \times 100 \text{ см}^2$) и $F = 2$ ($50 \times 25 \text{ см}^2$ и $100 \times 50 \text{ см}^2$) заключили, что количество червоточин растет с увеличением высоты области и убывает с ростом длины исследуемой области. Kalia и Valakotaiah сравнили фронты растворения карбонатной породы в областях с $F = 0.4$ и $F = 4$ при этом длина областей оставались фиксированной [11], и отметили, что с увеличением высоты области количество образованных каналов растворения для разных значений числа Дамколера растет. Кроме этого, они показали, что оптимальный поровый объем кислоты прорыва уменьшается с увеличением F , и для больших значений F оптимальный поровый объем кислоты прорыва перестает меняться значительно. Нао и др. провели детальное численное моделирование для изучения растворения карбонатной породы углекислым газом в различных масштабах, т.е. в прямоугольных трехмерных областях длиной от 32 мм до 1 м, но при этом соотношения сторон к длине областей оставались неизменными ($F = 0.5$) [10]. Они сначала провели численные расчеты на измельченной сетке размером 1 мм во всех областях, затем полученные результаты экстраполировали на те же области, но с более крупной сеткой размером 32-125 мм. В результате выяснилось, что зависимость абсолютной проницаемости от пористости лучше описывается со степенным законом с двумя интервалами изменения пористости. Кроме этого, авторы показали, что изменение масштаба исследуемой области (образца) сильно влияет на эффективную скорость реакции и поровый объем кислоты прорыва: с увеличением размера области поровый объем кислоты прорыва снижается, а при переходе от мелкого масштаба (сантиметровые образцы) к крупному масштабу (около метровые образцы) эффективная скорость химической реакции снижается на один порядок. Согласно выводу Cohen и др., образование и распространение червоточины во время растворения карбонатной породы является процессом, зависящим от масштаба рассматриваемой области [9]. Они акцентировали внимание на численное исследование влияния масштаба области на плотность червоточины, и на основе результатов для области высотой 40 см и длиной 25 см показали, что она является функцией скорости закачки кислотного раствора в образцы и пространства. Связь плотности и скорости имеет логарифмическую закономерность: чем выше скорость тем больше червоточин образуются. Они также показали, что при одинаковых скоростях закачки и одинаковой длине области доминантная червоточина растет быстрее с увеличением параметра F . Также было показано, что с увеличением F оптимальный объем кислоты прорыва и оптимальная скорость закачки уменьшаются [9].

Обзор литературы с открытых источников показал, что влияние параметра F в различном масштабе на оптимальные поровые объемы кислоты мало изучено. В настоящей работе мы провели множество численных расчетов в областях с различного масштаба (сантиметрового и около метрового) с целью изучения влияния параметра F на образование и распространение червоточин в карбонатной породе и оптимальный поровый объем кислоты. Расчеты показали, что масштаб области значительно влияет на оптимальный поровый объем кислоты и получена четкая связь между этим объемом и размера области. Это позволяет перенести результаты исследования в лабораторном (сантиметровом) масштабе к более крупному масштабу (призабойной зоны скважины).

Физическая, математическая и численная постановка задачи

В настоящей статье рассматривается растворение карбонатной породы раствором соляной кислоты в прямоугольной двумерной области длиной L и высотой H . Считается, что продукты реакции кислотного раствора с карбонатной породой полностью растворяются в самом растворе.

Математическая модель растворения породы, использованная в настоящей статье включает уравнения масштаба "пор" и "Дарси", и называется двухмасштабной моделью. Она позволяет определить поле давления, скорости, концентрации кислоты, пористости, абсолютной проницаемости и характеристики пор. Разработанная изначально Panga и др. двухмасштабная модель для описания растворения карбонатных пород кислотными растворами получила широкую популярность при проведении различного рода численных расчетов по растворению породы [12]. Данная модель протестирована путем сравнения результатов с экспериментальными данными, и была показала хорошая сходимость с экспериментальными данными [8, 13]. С математической и численной моделями растворения с соответствующими граничными и начальными условиями детально можно ознакомиться в [14]. Математическая постановка задачи и методика численного решения полностью заимствованы с [14], и в настоящей работе приведены лишь новые результаты численных расчетов, полученные с помощью данной модели.

Результаты и их обсуждение

Проведены около 900 различных численных расчетов в ходе которых были найдены поровые объемы кислоты и получены фронты растворения (распределения пористости) в двумерной области, размеры которых приведены в таблице 1. Рассмотренные области представляют собой образцы карбонатной породы, пористость половины из которых составляет 20%, а остальных 10%. В расчетах менялись только размеры образцов и скорость закачки кислотного раствора, а другие параметры, такие как коэффициент диффузии, константа скорости химической реакции и т.д., остались неизменными, чтобы исключить их влияние на фронт растворения. Но, для анализа были привлечены те результаты, которые соответствуют оптимальной скорости закачки кислотного раствора, т.е. режимы образования червоточин. На практике такие режимы считаются самыми оптимальными так как в них меньше всего расходуется кислотный раствор и при этом достигается многократное увеличение проницаемости призабойной зоны скважины, что приводит к росту производительности скважины.

С целью уменьшения влияния неоднородности распределения пор на процесс растворения, сначала генерируется начальное распределение пористости для самой большой области, затем для остальных областей вырезаются части из большой области, соответствующие области меньшего размера. Таким образом, достигается идентичность распределения пор в областях с одинаковыми размерами. Основной целью настоящей работы является изучение влияния параметра F на фронт растворения породы образца в разных масштабах, определяемых ниже. В расчетах этот параметр принимал значения 0.5, 0.67, 1 и 2, соответственно (см. табл. 1). Необходимо отметить, что в расчетах размеры образцов меняются от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров, в связи с этим их условно делим на масштаб: а) "керна", куда входят образцы с высотой 2-5 см; б) "призабойной зоны скважины (ПЗС)", в котором высота образцов находится в диапазоне 15-50 см.

Таблица 1. Длина областей (образцов) относительно ее высоты и параметра F

Высота (H), см	Длина (L), см			
	$F = 0.5$	$F = 0.67$	$F = 1$	$F = 2$
2	4	3	2	1
3	6	4,5	3	1,5
4	8	6	4	2
5	10	7,5	5	2,5
15	30	22,5	15	7,5
20	40	30	20	10
30	60	45	30	15
40	80	60	40	20
50	100	75	50	25

Влияние масштаба области на фронт растворения породы

На рис. 1 показаны фронты растворения в двух вышеотмеченных масштабах при разных F . Каждый столбец соответствует определенному значению F , показанный над каждым столбцом (рис. 1). Отметим, что масштаб картин на рис. 1 не сохранен, они приводятся тут в целях сравнения друг с другом. Но, необходимо отметить, что пространственное разрешение (шаг расчетной сетки) одинаково для всех картин. Как видно из рис. 1, в масштабе "керна" фронты растворения являются более широкими, а в масштабе "ПЗС" более тонкими и разветвленными, и имеют фрактальную структуру как было отмечено в [15] практически при всех значениях F . Это возможно связано с влиянием границы области (граничного условия) на образование и распространение червоточин, и особенно на распространение доминантных червоточин. Червоточины – это тонкие как пальцы каналы растворения. Когда червоточина распространяется в относительно маленькой области (масштаб "керна") ее рост замедляется, особенно в поперечном направлении из-за влияния граничного условия – условия не протекания жидкостей через эти границы. Когда червоточина распространяется в большой области (масштаб "ПЗС"), расстояние от червоточки до границ, параллельных к направлению роста червоточки, сравнительно большое, следовательно, червоточина может расти и в поперечном направлении, а точнее у доминантной червоточки появляются дополнительные ветви, которые будут расти в поперечном направлении, т.е. она начинает разветвляться, имея фрактальную структуру. Cohen и др. показали, что уменьшение размера области сильно влияет на рост червоточки

в продольном направлении [9]. Они сравнили длину доминантной червоточки в трех областях с одинаковой длиной и разными высотами, и выяснили, что червоточина начинает расти быстрее в продольном направлении с увеличением высоты области, хотя ее длина остается одинаковой во всех случаях. Теперь сравним фронты растворения для областей разной длины (т.е. с разными F), но одинаковой высоты между собой (рис. 1).

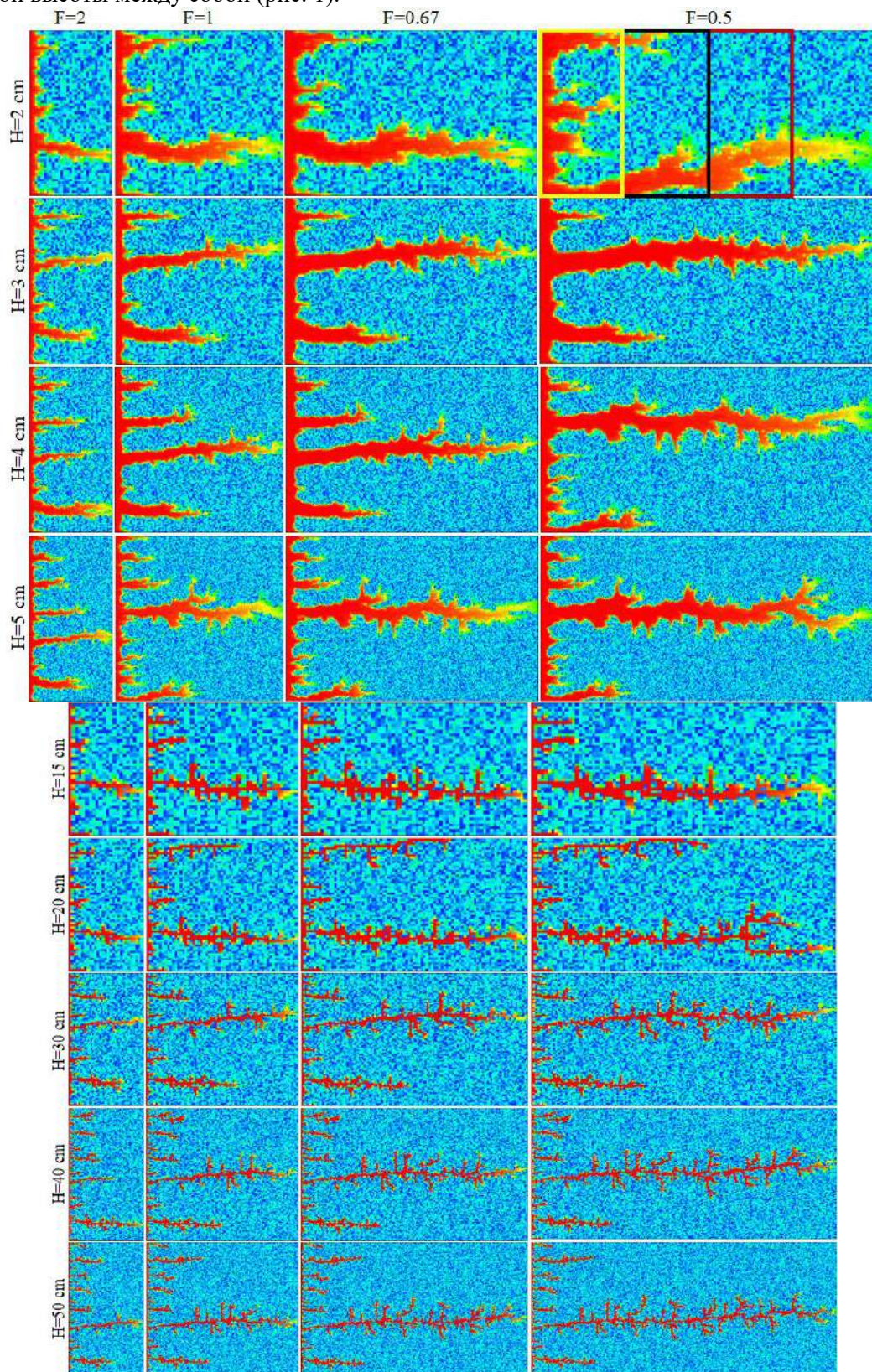


Рисунок 1. Фронт растворения в двух масштабах при разных F

Во-первых, наблюдается утолщение фронта растворения с уменьшением F во всех масштабах, т.е. когда длина образца увеличивается, при этом его высота сохраняется, для достижения доминантной червоточины конца образца требуется все больше и больше объема кислотного раствора. Чем больше кислоты транспортируется по доминантным червоточинам, часть кислоты израсходуется на растворение стенки червоточины, которое приводит к значительному росту ее ширины. Во-вторых, если сравнить фронты растворения в тех областях, охваченных прямоугольниками разного цвета (рис. 1, $F = 0.5$) с фронтами растворения в области с $F = 2, 1$ и 0.67 , соответственно, то увидим, что они отличаются, хотя все параметры вплоть до распределения начальной пористости и проницаемости идентичны. Это означает, что изменение длины образца при одинаковой высоте существенно влияет на фронт растворения, так как, возможно уменьшается влияние граничного эффекта с увеличением длины образцов. Аналогичное наблюдение можно заметить и в других областях высотой 3-50 см.

Как известно, неоднородность среды по пористости является главной причиной образования неравномерных фронтов растворения породы. В нашем случае распределение пористости было получено путем равномерного распределения случайных чисел вокруг среднего по образцу значения пористости (в наших расчетах это значение равняется 20% и 10%). Таким образом, сначала производим начальное распределение пористости для самой большой области в каждом масштабе, затем распределение в остальных областях получается путем вырезания той части, которая соответствует области размеру по меньше.

Интересно знать будет ли меняться фронт растворения породы, если увеличивать размеры области при постоянном F . Иными словами, получим ли такие же фронты растворения и количества червоточин при переходе от лабораторного масштаба к масштабу призабойной зоны скважины. Ввиду ограниченной возможности, большинство исследований по изучению эффективности растворения породы проводятся в лабораторных условиях на образцах кернов, размеры которых составляют несколько сантиметров (масштаб "керн"), затем данные, такие как оптимальная скорость закачки и соответствующий ей объем кислотного раствора, экстраполируются в более крупные масштабы – масштаб "ПЗС". Фронты растворения в масштабах "керн" и "ПЗС" приведены ниже на рис. 2 и 3 для $F = 2$ и $F = 0.5$.

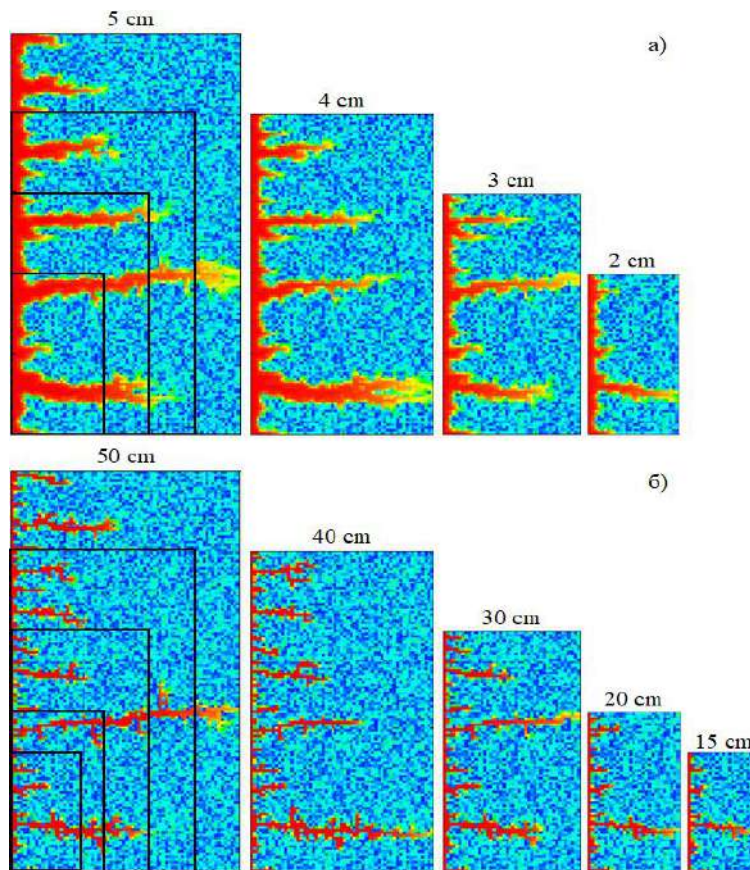


Рисунок 2. Фронт растворения в масштабах "керн" (а) и "ПЗС" (б) при $F = 2$

Идея сравнения фронтов растворения состоит в следующем. Фронты растворения для областей с меньшими размерами сравниваются с фронтами растворения в соответствующих участках (окруженные прямоугольниками, например, на рис. 2а) области с наибольшим размером в каждом масштабе в которых распределения пористости идентичные. Например, на рис. 2а) и 2б) показаны такие сравнения в обоих масштабах при $F = 2$. Как видно на этих рисунках фронты растворения для областей с высотой 2 см в масштабе "керна", 15 см и 20 см в масштабе "ПЗС" существенно отличаются от фронтов растворения в соответствующих участках области с наибольшей высотой (рис. 2а) и 2б). Кроме этого, эти области и соответствующие участки отличаются и количеством червоточин. Такие тенденции можно наблюдать и в случае с $F = 0.5$ (рис. 3). Это указывает на то, что образование и рост червоточины при растворении карбонатной породы является процессом, зависящий от масштаба рассматриваемой области.

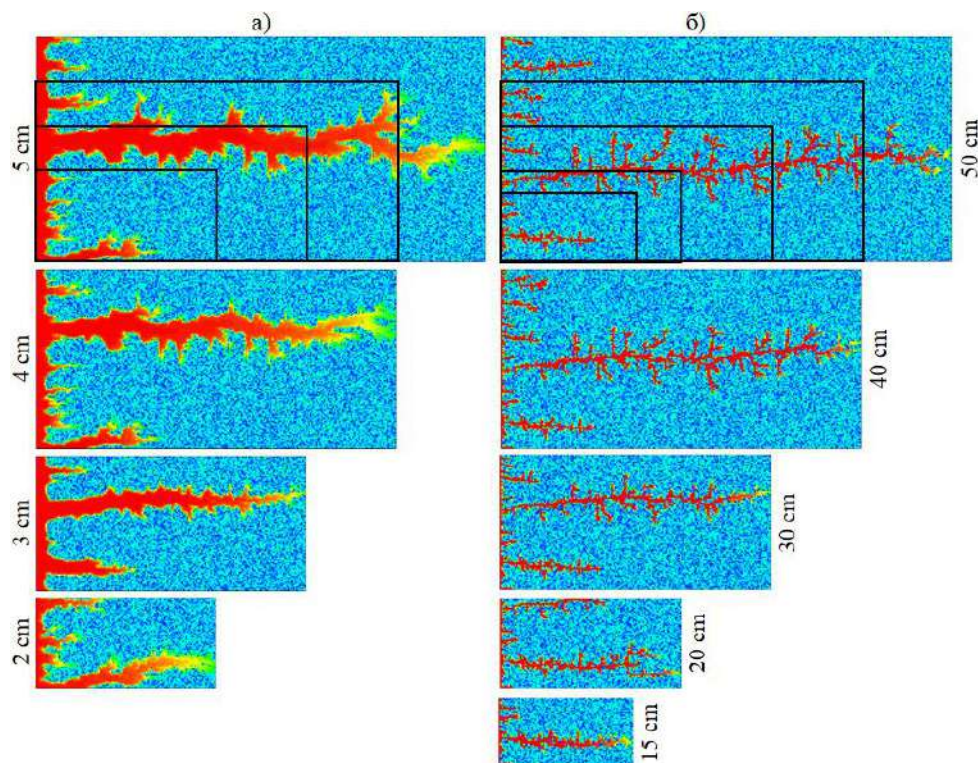


Рисунок 3. Фронт растворения в масштабах "керна" (а) и "ПЗС" (б) при $F = 0.5$

Влияние масштаба области на оптимальный поровый объем кислоты для прорыва

Объем кислоты, отнесенный к поровому объему образца, называемый поровым объемом кислоты прорыва является важным индикатором закачки кислотного раствора в карбонатные породы [4, 7, 11]. Особенно интересует прогноз оптимального значения этого объема (PV_{opt}), которое является минимально возможным объемом кислотного раствора, приводимое к образованию червоточины, прорывающим образец.

Зависимость PV_{opt} от длины рассматриваемой области (образца) показана на рис. 4 при разных значениях F и пористости. На рисунке заполненные и открытые символы соответствуют образцам с пористостью 20% и 10%, соответственно. Как видно на рис. 4 PV_{opt} нелинейно снижается для обеих пористости с увеличением длины образца. Так, например, если PV_{opt} при $F = 0.5$ для образца длиной 4 см равняется 9.56, то для образца длиной 100 см он составляет 3.21. Также можно заметить почти параллельное расположение кривых PV_{opt} для всех значения F , причем с увеличением F эти кривые опускаются ниже для обеих значения пористости. Из этого следует, что для образцов с фиксированной длины с увеличением их высоты PV_{opt} снижается. Кроме этого, на рис. 4 отчетливо видно, что существует некий переходной диапазон между масштабами "керна" и "ПЗС" где кривые PV_{opt} меняют наклоны – от резкого к более горизонтальному.

Нахождение универсальной кривой на основе дискретных значений PV_{opt} представляет практический интерес в отношении предсказания этого объема для других интересующих размеров области. На рис. 4 показаны аппроксимирующие кривые дискретных данных, где сплошные и прерывистые линии относятся к пористости 20% и 10%, соответственно. На этом рисунке в прямоугольниках приведены уравнения аппроксимирующих кривых с соответствующими коэффициентами достоверности аппроксимации (R^2). Как видно из рис. 4 самыми подходящими кривыми для аппроксимации имеющихся дискретных данных являлись степенные функции вида $y = Ax^{-B}$, в которых y значение оптимального порового объема кислоты прорыва, x длина рассматриваемой области, A и B являются коэффициентами, зависящие от режимных параметров. Также видно, что эти функции достаточно близко аппроксимируют данные численного моделирования (символы), о чем свидетельствуют высокие значения коэффициента достоверности (R^2) при обоих значениях пористости (рис. 4).

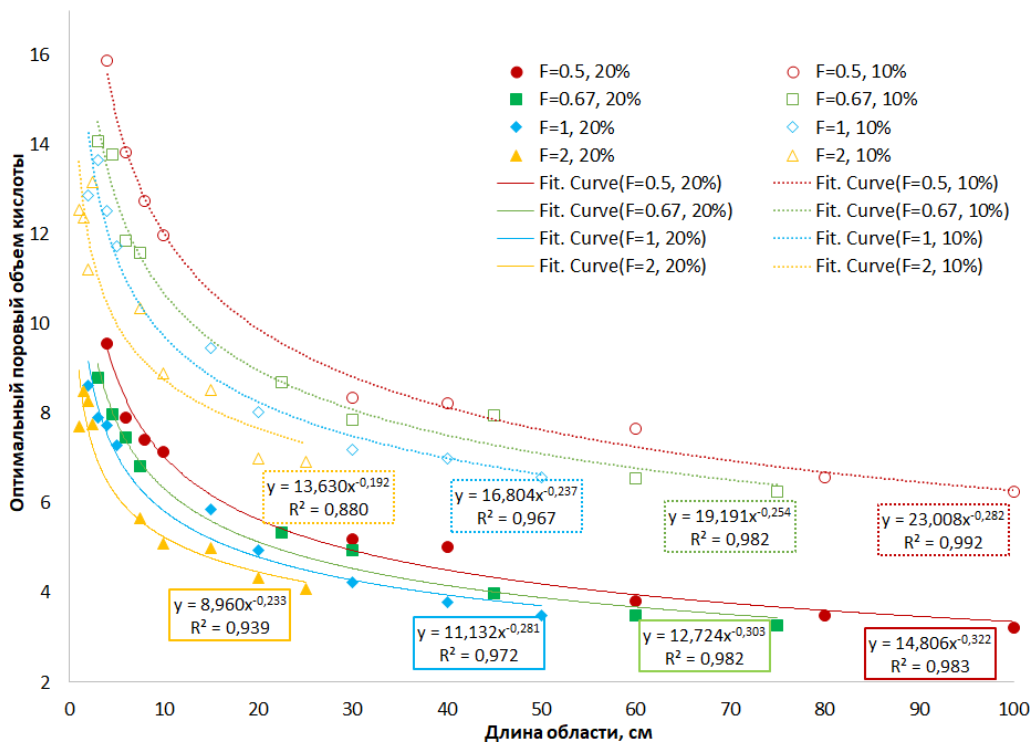


Рисунок 4. Зависимость PV_{opt} от L для пористости 10% (открытые символы) и 20% (заполненные символы) при разных F

На рис. 4 отчетливо видно, что аппроксимирующие кривые для обоих значений пористости параллельно расположены друг к другу при фиксированном F , следовательно, можем объединить их уравнения в одно, которое учитывает пористость. Следовательно, предполагая о том, что коэффициенты A и B являются линейными функциями пористости ϕ , получим общее уравнение следующего вида:

$$PV_{opt} = (a\phi + b)L^{-(c\phi+d)} \text{ для } F = 0.5, 0.67, 1, 2 \quad (1)$$

где PV_{opt} – значение оптимального порового объема кислоты прорыва (безразмерный), a, b, c, d – коэффициенты, определяемые путем подгонки уравнений (1) к данным численного моделирования, L – длина образца (см), ϕ – пористость (%). Коэффициенты c, d являются безразмерными величинами, a, b имеют размерность, обратной к размерности величины $L^{-(c\phi+d)}$. Предполагается, что PV_{opt} для других значений пористости (кроме 10% и 20%) можно определить путем линейной интерполяции/экстраполяции значений при пористости 10% и 20%, соответственно. Сопоставляя уравнение (1) с уравнениями на рис. 4 определяем значения коэффициентов a, b, c, d , которые приведены в таблице 2 для разных значений F .

Таблица 2. Значения коэффициентов a, b, c, d при разных F

F	a	b	c	d
0.5	-0.8202	31.210	0.0040	0.242
0.67	-0.6467	25.658	0.0047	0.209
1	-0.5672	22.476	0.0044	0.193
2	-0.4670	18.300	0.0041	0.151

Уравнение (1) является более универсальным и позволяет найти PV_{opt} для образцов любого размера и пористости. Рассчитанные (предсказанные) с использованием данного уравнения значения PV_{opt} для образцов длиной от 1 до 200 см и пористостью 20% (сплошные линии) в сравнении с рассчитанными значениями с применением численной модели (символы разной формы) приведены ниже на рис. 5. Как видно из этого рисунка, предсказанные и рассчитанные значения PV_{opt} хорошо согласуются при всех значениях F . Кроме этого, можем сказать, что уравнение (1) позволяет предсказать PV_{opt} для областей достаточно большого и маленького размеров. Также видно, что при увеличении длины области PV_{opt} для всех F мало отличаются. Из уравнения (1) следует, что при стремлении L к бесконечности, PV_{opt} стремится к нулю, означающее малость объема кислоты нужного для ее прорыва по сравнению с поровым объемом обрабатываемой области.

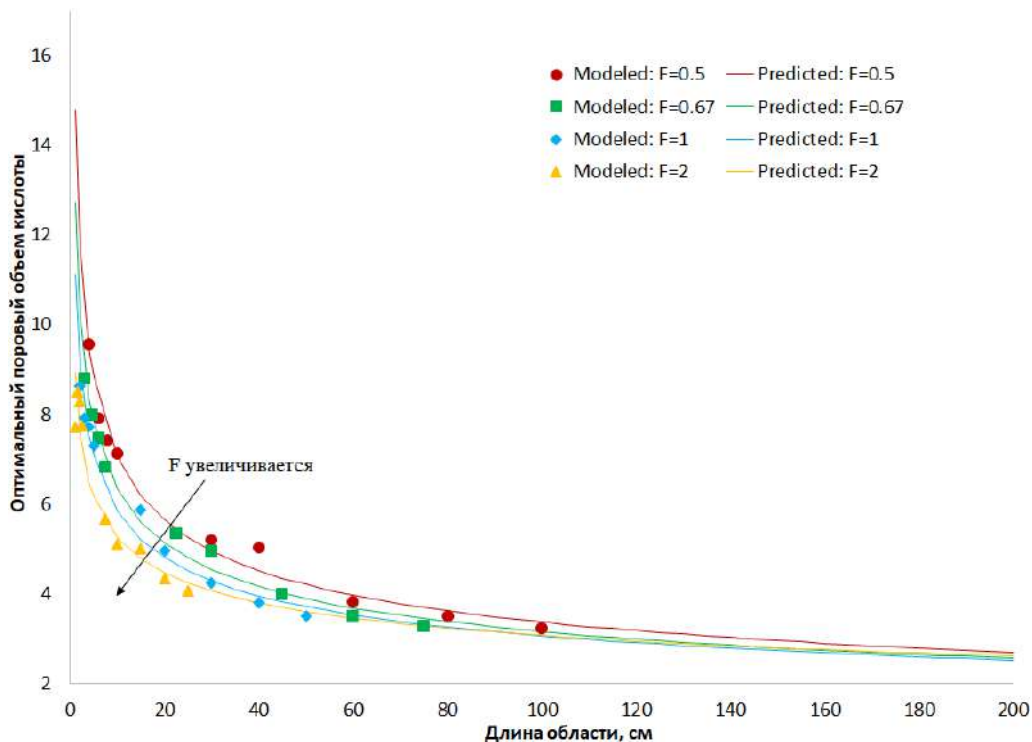


Рисунок 5. Предсказанные с помощью (1) значения PV_{opt} для разных F и $\phi = 20\%$

Заключение

В настоящей работе численно изучено растворение карбонатной породы на основе двух-масштабной математической модели. Были проведены множество численных расчетов с целью определения влияния параметра F в разных масштабах на растворение карбонатной породы. На основе анализа результатов сделаем следующие выводы:

- С увеличением масштаба области структура червоточины меняется от более каналовой к разветвленной. В масштабе "керна" (области с $H = 2 - 5$ см) червоточины имеют более прямую форму и становятся шире, а в масштабе "ПЗС" (области с $H = 15 - 50$ см) они становятся более тонкими. Кроме этого, в масштабе "ПЗС" доминантные червоточины имеют фрактальную структуру.
- Изменение масштаба области существенно повлияло на PV_{opt} для обоих значений пористости при всех F . При увеличении размера области в масштабе "керна" PV_{opt} снижается более существенно,

чем в масштабе "ПЗС". В масштабе "ПЗС" для прорыва требуется вдвое меньше кислотного раствора чем в масштабе "керна" практически при всех значениях F .

Изменение PV_{opt} с увеличением масштаба области лучше описывается степенной функцией $PV_{opt} = (a\phi + b)L^{-(c\phi+d)}$. В данном уравнении коэффициенты a, b, c и d являются табличными функциями F , а L – длина области. Данное уравнение позволяет экстраполировать PV_{opt} , полученные в лабораторных условиях к более крупному масштабу, например, масштабу призабойной зоны скважины.

Благодарность. Данное исследование было проведено в рамках проектов AP09058419 и AP08052055 при поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

References:

- 1 Bazin, B., & Abdulahad, G. (1999). Experimental investigation of some properties of emulsified acid systems for stimulation of carbonate formations. *Proceedings of the Middle East Oil Show*, 347–356. <https://doi.org/10.2523/53237ms>.
- 2 Fredd, C. N., & Scott Fogler, H. (1998). Influence of transport and reaction on wormhole formation in porous media. *AIChE Journal*, 44(9), 1933–1949. <https://doi.org/10.1002/aic.690440902>.
- 3 Li, W., Einstein, H. H., & Germaine, J. T. (2019). An Experimental Study of Matrix Dissolution and Wormhole Formation Using Gypsum Core Flood Tests: 1. Permeability Evolution and Wormhole Geometry Analysis. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(11), 11055–11073. <https://doi.org/10.1029/2018JB017238>.
- 4 Ghommem, M., Zhao, W., Dyer, S., Qiu, X., & Brady, D. (2015). Carbonate acidizing: Modeling, analysis, and characterization of wormhole formation and propagation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 131, 18–33. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.04.021>.
- 5 Izgec, O., Zhu, D., & Hill, A. D. (2010). Numerical and experimental investigation of acid wormholing during acidization of vuggy carbonate rocks. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 74(1–2), 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.08.006>.
- 6 Kalia, N., & Balakotaiah, V. (2010). Wormholing in perforated completions. *Proceedings - SPE International Symposium on Formation Damage Control*, 1(February), 176–192. <https://doi.org/10.2118/127347-ms>.
- 7 Liu, N., & Liu, M. (2016). Simulation and analysis of wormhole propagation by VES acid in carbonate acidizing. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 138, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.12.011>.
- 8 Maheshwari, P., & Balakotaiah, V. (2013, March 23). 3-D Simulation of Carbonate Acidization with HCl: Comparison with Experiments. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/164517-MS>.
- 9 Cohen, C. E., Ding, D., Quintard, M., & Bazin, B. (2008). From pore scale to wellbore scale: Impact of geometry on wormhole growth in carbonate acidization. *Chemical Engineering Science*, 63(12), 3088–3099. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.03.021>.
- 10 Hao, Y., Smith, M. M., & Carroll, S. A. (2019). Multiscale modeling of CO₂-induced carbonate dissolution: From core to meter scale. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 88(January), 272–289. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.06.007>.
- 11 Kalia, N., & Balakotaiah, V. (2009). Effect of medium heterogeneities on reactive dissolution of carbonates. *Chemical Engineering Science*, 64(2), 376–390. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.10.026>.
- 12 Panga, M. K. R., Balakotaiah, V., & Ziauddin, M. (2002, September 29). Modeling, Simulation and Comparison of Models for Wormhole Formation During Matrix Stimulation of Carbonates. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/77369MS>.
- 13 Ratnakar, R. R., Kalia, N., & Balakotaiah, V. (2013). Modeling, analysis and simulation of wormhole formation in carbonate rocks with in situ cross-linked acids. *Chemical Engineering Science*, 90, 179–199. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2012.12.019>.
- 14 Akasheva, Z. K., Asilbekov, B. K., & Soltanbekova, K. A. (2021). NUMERICAL SIMULATION OF CARBONATE ROCKS DISSOLUTION NEAR THE WELLBORE. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, 112(4). <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2021.v112.i4.07>.
- 15 Daccord, G. (1987). Chemical dissolution of a porous medium by a reactive fluid. *Physical Review Letters*, 58(5), 479–482. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.58.479>.

NUMERICAL SOLUTION OF A MIXED PROBLEM FOR A TWO-DIMENSIONAL SYSTEM OF SAINT-VENANT EQUATIONS

Berdyshev A.S.^{1,2}, Alov R.D.³, Akbarova A.A.³, Abdiramanov Zh.A.^{1,2}*

¹ *Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

² *Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan*

³ *National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan*

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

Abstract

The work is devoted to the construction and study of a numerical method for solving the Saint-Venant equation. These equations are of great practical importance in modern hydraulic engineering and are suitable for describing natural processes in the atmosphere, rivers, and oceans, as well as for modeling tides. Questions of formulation of mixed problems for the two-dimensional system of Saint-Venant equations, are studied. A new upwind difference scheme of splitting in spatial directions is constructed for solving the mixed problem of the two-dimensional Saint-Venant equation, which describes flows without turbulent diffusion components. The stability of the difference scheme concerning energy norms is established. The results of numerical experiments for model problems are presented, including a numerical simulation of water flow in the Ugam River. The numerical calculation is based on the use of the two-point sweep method.

Keywords: two-dimensional system of Saint-Venant equations, upwind difference scheme of splitting on directions, stability.

Аңдатпа

А.С. Бердышев^{1,2}, Р.Д. Алов³, А.А. Акбарова³, Ж.А. Абдираманов^{1,2}

¹ *Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан*

² *Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан*

³ *Мирзо Улугбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті, Ташкент, Өзбекстан*

СЕН-ВЕНАН ТЕҢДЕУЛЕРІНІҢ ЕКІ ӨЛШЕМДІ ЖҮЙЕСІ ҮШІН АРАЛАС ЕСЕПТІҢ САНДЫҚ ШЕШІМІ

Жұмыс Сент-Венан теңдеуін шешудің сандық әдісін құруға және зерттеуге арналған. Бұл теңдеулер қазіргі гидротехникада үлкен практикалық маңызға ие және атмосферадағы, өзендер мен мұхиттардағы табиғи процестерді сипаттау үшін, сондай-ақ толқындарды модельдеу үшін қолайлы. Сен-Венан теңдеулерінің екі өлшемді жүйесіне аралас есептерді шығару сұрақтары зерттеледі. Турбулентті диффузиялық құраушыларсыз ағындарды сипаттайтын екі өлшемді Сен-Венан теңдеуінің аралас есебін шешу үшін кеңістіктік бағыттағы бөлудің жаңа желге қарсы айырымы схемасы құрастырылған. Энергия нормаларына қатысты айырмашылық схемасының тұрақтылығы белгіленеді. Угам өзеніндегі су ағынын сандық модельдеуді қоса алғанда, модельдік есептер бойынша сандық тәжірибелердің нәтижелері ұсынылған. Сандық есептеу екінүктелік прогонка әдісін қолдануға негізделген.

Түйін сөздер: Сен-Венан теңдеулерінің екі өлшемді жүйесі, бағыттар бойынша бөлудің ағынға қарсы айырымдық сұлбасы, орнықтылық.

Аннотация

А.С. Бердышев^{1,2}, Р.Д. Алов³, А.А. Акбарова³, Ж.А. Абдираманов^{1,2}

¹ *Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан*

² *Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан*

³ *Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан*

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ СЕН-ВЕНАНА

Работа посвящена построению и исследованию численного метода решения уравнения Сен-Венана. Эти уравнения имеют важное прикладное значение в современной гидротехнике и пригодны для описания природных процессов в атмосфере, реках и океанах, а также для моделирования приливов и отливов. Исследуются вопросы постановки смешанных задач для двумерной системы уравнений Сен-Венана. Построена новая противопоточная разностная схема расщепления по пространственным направлениям для решения смешанной задачи двумерного уравнения Сен-Венана, описывающая течения без компонентов турбулентной диффузии. Установлена устойчивость разностной схемы по энергетическим нормам. Приведены результаты

численных экспериментов для модельных задач, в том числе проведено численное моделирование течения воды в реке Угам. Численный расчет основан на использовании метода двухточечной прогонки.

Ключевые слова: двумерная система уравнений Сен-Венана, противоточная разностная схема расщепления по направлениям, устойчивость.

1. Introduction

For the numerical solution of various problems for the system of Saint-Venant equations, scientists have proposed a number of methods [1] - [8]. In [9] approaches with separation of gaps and methods of end-to-end counting are described pretty detailed. The authors of this book focus on Godunov-type methods based on exact and approximate solutions to the Riemann problem of arbitrary gap decay. It is known that the essential properties of difference schemes are their conservativeness [8], [10] - [12], well-balanced [7], [13], [14], possibility of end-to-end calculation, choice of explicit/implicit scheme [15], approximation order, convergence, stability. When choosing a difference scheme an important property is its stability. In the case of conditionally stable schemes, a restriction is imposed on the choice of the integration step on time. A slight violation of the stability condition can lead to an increase in error and non-physical solutions. For hyperbolic systems, the time step is determined from the Courant condition.

2. Problem statement

The system of Saint-Venant equations describing flows without turbulent diffusion components has the following form [16]:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial x} = \phi_1, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial y} = \phi_2, \\ \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Hu}{\partial x} + \frac{\partial Hv}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

where

$$\begin{aligned} \phi_1 &= lv - g \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C_s^2 H} u + \frac{\tau_x}{\rho H} + \frac{\partial h}{\partial x}, \\ \phi_2 &= -lu - g \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C_s^2 H} v + \frac{\tau_y}{\rho H} + \frac{\partial h}{\partial y}, \end{aligned}$$

x, y – directions of orthogonal coordinate axes, t – time, u, v – speed components, H – water depth, ρ – water density, g – acceleration of free fall, τ_x, τ_y – components of wind stress on the water surface, C_s – Shezi coefficient, l – Coriolis parameter.

(1) can be reduced to the following system of linear hyperbolic equations:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + B \frac{\partial V}{\partial y} = F, \quad (2)$$

where

$$V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} u & 0 & c \\ 0 & u & 0 \\ c & 0 & u \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} v & 0 & 0 \\ 0 & v & c \\ 0 & c & v \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix},$$

u, v, c are given functions.

$$f_1 = (v_1) \left\{ u_x + l - g^2 \frac{2(u)^2 + v^2}{2C_s^2(c)^2 U} \right\} + (v_2) \left\{ u_y + l - g^2 \frac{uv}{2C_s^2(c)^2 U} \right\} + \frac{v_3}{2} \left\{ 2c_x + g^2 \frac{uU}{C_s^2(c)^3} - \frac{g\tau_x}{4\rho(c)^3} \right\},$$

$$f_2 = (v_1) \left\{ v_x - l - g^2 \frac{uv}{2C_s^2(c)^2 U} \right\} + (v_2) \left\{ v_y + g^2 \frac{2(v)^2 + (u)^2}{2C_s^2(c)^2 U} \right\} + \frac{v_3}{2} \left\{ 2c_y + g^2 \frac{vU}{C_s^2(c)^3} - \frac{g\tau_y}{4\rho(c)^3} \right\},$$

$$f_3 = u_x v_3 / 2 + 2c_x v_1 + v_y v_3 / 2 + 2c_y v_2.$$

$$U = \sqrt{(u)^2 + (v)^2}$$

The matrix A depending on the value u is represented as the sum of two respectively A^+ non-negatively defined and A^- non-positively defined matrices:

$$A = A^+ + A^-,$$

It should be noted that there are 5 possible cases for u :

$$u < -c; \quad -c \leq u < 0; \quad u = 0; \quad 0 < u < c; \quad c \leq u.$$

Similarly, the matrix B , depending on the value v is represented as the sum of two respectively B^+ non-negatively defined and B^- non-positively defined matrices:

$$B = B^+ + B^-,$$

There are also 5 possible cases for v :

$$v < -c; \quad -c \leq v < 0; \quad v = 0; \quad 0 < v < c; \quad c \leq v.$$

In this case, system (2) will take the following record form:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (A^+ + A^-) \frac{\partial V}{\partial x} + (B^+ + B^-) \frac{\partial V}{\partial y} = F,$$

Exactly this kind of matrix splitting A and B into the sum of two sign -defined matrices, respectively on A^+ , B^+ - non-negatively defined part and on A^- , B^- - non-positively defined part gives us the opportunity to build an upwind difference scheme.

It should be noted that in [17] a numerical calculation of Lyapunov-stable solutions of the one-dimensional Saint-Venant equation was carried out using an upwind implicit difference scheme on the example of the Big Almaty Canal.

In domain $Q = \{(t, x, y) : 0 \leq t < +\infty, 0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y\}$ let us build a difference grid with steps Δt on direction t , $\Delta x = X / J$ on direction x and $\Delta y = Y / L$ on direction y . Here $[a]$ denotes the integer part of a real number a . J, L - some integers. Difference grid steps $\Delta x, \Delta y$ we select it in such a way that the equalities are fulfilled $J\Delta x = X$ и $L\Delta y = Y$. This means that the difference grid completely covers the areas Q . Denote $t^\kappa = \kappa \Delta t$, $\kappa = 0, K$; $x_j = j\Delta x$, $j = 0, J$ and $y_l = l\Delta y$, $l = 0, L$. The nodal points of the difference grid (meaning the intersection of straight lines $t = t^\kappa$, $x = x_j$ and $y = y_l$) we denote by (t^κ, x_j, y_l) . The set of nodal points of the difference grid is denoted by Q_h , where

$$Q_h = \{(t^\kappa, x_j, y_l) : \kappa = 0, K; j = 0, J; l = 0, L\}.$$

And the values of the numerical solution at the nodal points are denoted by

$$V_{jl}^\kappa = V(t^\kappa, x_j, y_l), \quad \kappa = 0, K; j = 0, J; l = 0, L.$$

To find a numerical solution to a mixed problem over a difference grid Q_h , we propose the following upwind implicit difference scheme

$$I. \frac{\bar{V}_{jl}^\kappa - V_{jl}^\kappa}{\Delta t} + (B^+)^{\kappa}_{jl} \frac{V_{jl}^\kappa - V_{j-1}^\kappa}{\Delta y} + (B^-)^{\kappa}_{jl} \frac{V_{j+1}^\kappa - V_{jl}^\kappa}{\Delta y} = 0, \quad \kappa = 0, K-1; j = 1, J-1; l = 1, L-1.$$

$$II. \frac{V_{jl}^{\kappa+1} - \bar{V}_{jl}^\kappa}{\Delta t} + (A^+)^{\kappa}_{jl} \frac{V_{jl}^{\kappa+1} - V_{j-1}^{\kappa+1}}{\Delta x} + (A^-)^{\kappa}_{jl} \frac{V_{j+1}^{\kappa+1} - V_{jl}^{\kappa+1}}{\Delta x} = F_{jl}^\kappa, \quad \kappa = 0, K-1; j = 1, J-1; l = 1, L-1.$$

In the difference scheme (I)-(II), the value of \bar{V}_{ji}^{κ} is an auxiliary intermediate value for determining the value of $V_{ji}^{\kappa+1}$ through V_{ji}^{κ} . In the algorithm of finding a numerical solution, the values of \bar{V}_{ji}^{κ} are first determined from (I), and then substituted into (II), thereby the values of $V_{ji}^{\kappa+1}$ are determined.

3. Calculation experiment

The numerical experiment was carried out on a computer with the following technical characteristics: Intel(R) Core(TM) i7-8700, 16Gb, Windows 10, and PTC Mathcad Prime 7.

The Ugam mountain river was chosen as a computational experiment. Ugam has a fast current, below the Yugansk forestry its speed is 1.6 m/s. The width in the lower reaches (above the village of Charvak) is 23 m, the depth is 70 cm, the bottom soil is viscous. The bed of the Ugam is empty.

Let us introduce the parameters of the difference grid: time $t = 5 \text{ s}$, time step $\Delta t = 0.03$, length of the river $X = 200 \text{ m}$, length step $\Delta x = 0.5$, width of the river $Y = 23 \text{ m}$, width step $\Delta y = 0.5$.

Let us calculate the l Coriolis parameter by the formula

$$l = 2\Omega \sin \varphi$$

where Ω is an angular velocity of the Earth's rotation around the axis; φ — is a geographical latitude of the location. When crossing the equator, the Coriolis parameter and, accordingly, the Coriolis force change the sign.

The angular velocity of the Earth's rotation is:

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} = 7.2921 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

where T — sidereal period of the Earth rotation around the axis, equal to one sidereal day (23 hours 56 minutes, 4,0905 seconds).

Ugam is located at geographical latitude $41^{\circ}37'46''$, respectively

$$\varphi = 41^{\circ}37'46'' \approx 41.629444^{\circ}$$

Then l is Coriolis parameter for the Ugam river:

$$l = 2\Omega \sin \varphi = 2 \cdot 7.2921 \cdot 10^{-5} \cdot \sin(41.629444) = -10.3469869 \cdot 10^{-5}$$

Resistance coefficient C_s — can be determined by the formula of N.N. Pavlovsky:

$$C_s = \frac{1}{n} R^m$$

Where n is the roughness coefficient characterizing the condition of the channel surface for the case of sewer pipes is taken in the range (0,012...0,015); for other cases, information is given in the literature [18]. R is a hydraulic radius. The value of the hydraulic radius varies depending on the size and shape of the cross-section of the channel, for open channels of large width it is assumed to be equal to the average depth of the stream. Accordingly, the hydraulic radius for the Ugam River is 0.6 m.

m is an indicator of the degree depending on the value of the roughness coefficient and the hydraulic radius:

$$m = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1)$$

This formula is recommended for values $R \in (3, \dots, 5)$. With large hydraulic radii or other values of roughness coefficients, the use of Pavlovsky's formula in hydraulic calculations of riverbeds leads to significant errors. At the value $m = 1/6$ the Shezi formula is reduced to the Manning formula.

The roughness coefficient for the Ugam River is equal to $n = 0.025$. Accordingly, the exponent for the Ugam river will be equal to

$$m = 2.5\sqrt{0.025} - 0.13 - 0.75\sqrt{0.6}(\sqrt{0.025} - 0.1) = 0.23152359236$$

Shezi coefficient for the Ugam River

$$C_s = \frac{1}{n} R^m = \frac{1}{0.025} \cdot 0.6^{0.23152359236} = 35.5383100387$$

Normal wind pressure τ_x, τ_y the obstacle in the first approximation is determined by the formula

$$\tau = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2$$

where v is a wind speed m/s, ρ is an air density kg/m³, depending on its humidity, temperature and atmospheric pressure, 0,5 is a coefficient of resistance (flow). The Anglo-Saxons use a coefficient equal to 0,75, i.e. they receive data 1,5 times higher, but the order of magnitude, of course, is the same.

In table 1, wind pressure depending on the speed and wind strength on the obstacle. Calculation for air density 1,2 kg/m³

Table 1. Wind load (in the first approximation)

		Wind speed in m/s								
		1 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s	20 m/s	25 m/s	30 m/s	40 m/s	50 m/s
Pressure, Pa = N/m²		0.60	15	60	135	240	375	540	960	1500
object 1m×1m	force per 1 m ² , N	0.60	15.00	60.00	135.00	240.00	375.00	540.00	960.00	1500.00
object 2m×2m	force per 4 m ² , N	2.40	60.00	240.00	540.00	960.00	1500.00	2160.00	3840.00	6000.00
object 1m×1m	force per 1 m ² , N	0.06	1.53	6.12	13.78	24.49	38.27	55.10	97.96	153.06
object 2m×2m	force per 4 m ² , N	0.24	6.12	24.49	55.10	97.96	153.06	220.41	391.84	612.24

Ugam has a fast flow, which corresponds to the inequality $c \leq u$. Then the matrix is representable as the sum of two matrices of the form:

$$A = A^+ + A^-, \quad A^+ = \begin{pmatrix} u & 0 & c \\ 0 & u & 0 \\ c & 0 & u \end{pmatrix}, \quad A^- = 0;$$

We decompose the matrices A^+, A^- as follows:

$$A^+ = PZ\Lambda_{A^+}Z^*P, \quad A^- = PZ\Lambda_{A^-}Z^*P, \\ \Lambda_{A^+} = \text{diag}(u, u+c, u-c), \quad \Lambda_{A^-} = \text{diag}(0, 0, 0),$$

then

$$A = A^+ + A^- = PZ\Lambda_{A^+}Z^*P + PZ\Lambda_{A^-}Z^*P = PZ\Lambda_A Z^*P, \\ \Lambda_A = \Lambda_{A^+} + \Lambda_{A^-} = \text{diag}(u, u+c, u-c).$$

Also for the speed of the river corresponds to the inequality $0 < v < c$. Then the matrix B is representable as the sum of two matrices

$$B = B^+ + B^-, \quad B^+ = \begin{pmatrix} v & 0 & 0 \\ 0 & \frac{v+c}{2} & \frac{v+c}{2} \\ 0 & \frac{v+c}{2} & \frac{v+c}{2} \end{pmatrix}, \quad B^- = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{v-c}{2} & \frac{c-v}{2} \\ 0 & \frac{c-v}{2} & \frac{v-c}{2} \end{pmatrix};$$

We decompose the matrices B^+, B^- as follows:

$$B^+ = PZ\Lambda_{B^+}Z^*P, \quad B^- = PZ\Lambda_{B^-}Z^*P, \\ \Lambda_{B^+} = \text{diag}(v, v+c, 0), \quad \Lambda_{B^-} = \text{diag}(0, 0, v-c),$$

then

$$B = B^+ + B^- = PZ\Lambda_{B^+}Z^*P + PZ\Lambda_{B^-}Z^*P = PZ\Lambda_BZ^*P,$$

$$\Lambda_B = \Lambda_{B^+} + \Lambda_{B^-} = \text{diag}(v, v+c, v-c).$$

Let us consider in more detail the difference scheme of splitting in directions for this case:

Splitting by direction y:

If $(0 < v_{jl}^\kappa < c_{jl}^\kappa)$, then as the first step of splitting, consider the difference scheme

$$\bar{V}_{jl}^\kappa = V_{jl}^\kappa - r_y (B^+)_{jl}^\kappa (V_{jl}^\kappa - V_{jl-1}^\kappa) - r_y (B^-)_{jl}^\kappa (V_{jl+1}^\kappa - V_{jl}^\kappa), \quad \kappa = 0, K-l; \quad j = 1, J-1; \quad l = 1, L-1.$$

We substitute the matrix B^\pm expansions into and multiply the resulting equality on the left by the matrix Z^*P . As a result, scheme will have the following form:

$$(Z^*P)_{jl}^\kappa \bar{V}_{jl}^\kappa = (Z^*P)_{jl}^\kappa V_{jl}^\kappa - r_y (\Lambda_{B^+} Z^*P)_{jl}^\kappa (V_{jl}^\kappa - V_{jl-1}^\kappa) - r_y (\Lambda_{B^-} Z^*P)_{jl}^\kappa (V_{jl+1}^\kappa - V_{jl}^\kappa).$$

Let us rewrite this scheme in terms of vector functions $T_{jl}^\kappa = (Z^*P)_{jl}^\kappa V_{jl}^\kappa$ and $\bar{T}_{jl}^\kappa = (Z^*P)_{jl}^\kappa \bar{V}_{jl}^\kappa$:

$$\bar{T}_{jl}^\kappa = T_{jl}^\kappa - r_y (\Lambda_{B^+})_{jl}^\kappa (T_{jl}^\kappa - T_{jl-1}^\kappa) - r_y (\Lambda_{B^-})_{jl}^\kappa (T_{jl+1}^\kappa - T_{jl}^\kappa).$$

The component notation of this schema looks like this:

$$\begin{cases} (\bar{t}_1)_{jl}^\kappa = (t_1)_{jl}^\kappa - r_y v_{jl}^\kappa ((t_2)_{jl}^\kappa - (t_2)_{jl-1}^\kappa), \quad l = \overline{1, L}; \\ (\bar{t}_2)_{jl}^\kappa = (t_2)_{jl}^\kappa - r_y (v_{jl}^\kappa + c_{jl}^\kappa) ((t_2)_{jl}^\kappa - (t_2)_{jl-1}^\kappa), \quad l = \overline{1, L}; \\ (\bar{t}_3)_{jl}^\kappa = (t_3)_{jl}^\kappa + r_y (v_{jl}^\kappa - c_{jl}^\kappa) ((t_3)_{jl+1}^\kappa - (t_3)_{jl}^\kappa), \quad l = \overline{0, L-1}. \end{cases}$$

As boundary conditions, consider the following conditions:

On the left boundary for $l = 0$, it is required to set two boundary conditions,

$$(v_1)_{j0}^\kappa = 0, \quad (v_2)_{j0}^\kappa + (v_3)_{j0}^\kappa = 0 \Rightarrow (t_1)_{j0}^\kappa = 0, \quad (t_2)_{j0}^\kappa = 0,$$

And on the right boundary for $l = L$ it is required to set one boundary condition

$$(v_2)_{jL}^\kappa - (v_3)_{jL}^\kappa = 0 \Rightarrow (t_3)_{jL}^\kappa = 0.$$

Note that from the equalities:

$$V = P\tilde{W} = PZT;$$

$$\tilde{w}_1 = v_2, \quad \tilde{w}_2 = v_1, \quad \tilde{w}_3 = v_3;$$

$$t_1 = \tilde{w}_2, \quad t_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\tilde{w}_1 + \tilde{w}_3), \quad t_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\tilde{w}_1 - \tilde{w}_3)$$

for $l = 0$, taking into account the boundary conditions, the validity of the following inequality for the boundary quadratic form follows:

$$-\left((\Lambda_B)_{jl}^\kappa T_{jl}^\kappa, T_{jl}^\kappa \right) \Big|_{l=0} = (-|v|t_1^2 - |v+c|t_2^2 + |v-c|t_3^2)_{j0}^\kappa \geq 0.$$

Similarly, on the right boundary in y for $l = L$, taking into account the boundary conditions, it follows that the following inequality holds true for the boundary quadratic form:

$$\left((\Lambda_B)_{jl}^\kappa T_{jl}^\kappa, T_{jl}^\kappa \right) \Big|_{l=L} = (|v|t_1^2 + |v+c|t_2^2 - |v-c|t_3^2)_{jL}^\kappa \geq 0.$$

Splitting by direction x:

If $(c_{jl}^\kappa \leq u_{jl}^\kappa)$, then as the second step of splitting, consider the difference scheme

$$V_{jl}^{\kappa+1} = \bar{V}_{jl}^{\kappa} - r_x (A^+)^{\kappa} (V_{jl}^{\kappa+1} - V_{j-l}^{\kappa+1}), \quad \kappa = 0, K-1; \quad j = 1, J; \quad l = 1, L-1.$$

We substitute the matrix A^{\pm} expansions into and multiply the resulting equality on the left by the matrix Z^*P . As a result, scheme will have the following form:

$$(Z^*P)_{jl}^{\kappa} V_{jl}^{\kappa+1} = (Z^*P)_{jl}^{\kappa} \bar{V}_{jl}^{\kappa} - r_x (\Lambda_{A^+} Z^*P)_{jl}^{\kappa} (V_{jl}^{\kappa+1} - V_{j-l}^{\kappa+1}).$$

Let's rewrite this scheme in terms of vector functions $T_{jl}^{\kappa} = (Z^*P)_{jl}^{\kappa} V_{jl}^{\kappa}$ and $\bar{T}_{jl}^{\kappa} = (Z^*P)_{jl}^{\kappa} \bar{V}_{jl}^{\kappa}$:

$$T_{jl}^{\kappa+1} = \bar{T}_{jl}^{\kappa} - r_x (\Lambda_{A^+})_{jl}^{\kappa} (T_{jl}^{\kappa+1} - T_{j-l}^{\kappa+1})$$

The component notation of this schema looks like this:

$$\begin{cases} (t_1)_{jl}^{\kappa+1} = (\bar{t}_1)_{jl}^{\kappa} - r_x u_{jl}^{\kappa} ((t_1)_{jl}^{\kappa+1} - (t_1)_{j-l}^{\kappa+1}), & j = \overline{1, J}; \\ (t_2)_{jl}^{\kappa+1} = (\bar{t}_2)_{jl}^{\kappa} - r_x (u_{jl}^{\kappa} + c_{jl}^{\kappa}) ((t_2)_{jl}^{\kappa+1} - (t_2)_{j-l}^{\kappa+1}), & j = \overline{1, J}; \\ (t_3)_{jl}^{\kappa+1} = (\bar{t}_3)_{jl}^{\kappa} - r_x (u_{jl}^{\kappa} - c_{jl}^{\kappa}) ((t_3)_{jl}^{\kappa+1} - (t_3)_{j-l}^{\kappa+1}), & j = \overline{1, J}. \end{cases}$$

As boundary conditions, consider the following conditions:

On the left boundary for $j = 0$, it is required to set three boundary conditions,

$$(v_2)_{0l}^{\kappa} = 0, (v_1)_{0l}^{\kappa} + (v_3)_{0l}^{\kappa} = 0, (v_1)_{0l}^{\kappa} - (v_3)_{0l}^{\kappa} = 0 \Rightarrow (t_1)_{0l}^{\kappa} = 0, (t_2)_{0l}^{\kappa} = 0, (t_3)_{0l}^{\kappa} = 0.$$

and on the right boundary for $j = J$ there is no need to set boundary conditions.

Note that from the equalities:

$$\begin{aligned} V &= P\tilde{W} = PZT; \\ \tilde{w}_1 &= v_1, \tilde{w}_2 = -v_2, \tilde{w}_3 = v_3; \\ t_1 &= \tilde{w}_2, t_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\tilde{w}_1 + \tilde{w}_3), t_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\tilde{w}_1 - \tilde{w}_3) \end{aligned}$$

for $j = 0$, taking into account the boundary conditions, the validity of the following inequality for the boundary quadratic form follows:

$$-\left((\Lambda_A)_{jl}^{\kappa} T_{jl}^{\kappa}, T_{jl}^{\kappa} \right) \Big|_{j=0} = (-|u|t_1^2 - |u+c|t_2^2 - |u-c|t_3^2)_{0l}^{\kappa} \geq 0.$$

Similarly, on the right boundary in y for $l = L$, taking into account the boundary conditions, it follows that the following inequality holds true for the boundary quadratic form:

$$\left((\Lambda_A)_{jl}^{\kappa} T_{jl}^{\kappa}, T_{jl}^{\kappa} \right) \Big|_{j=J} = (|u|t_1^2 + |u+c|t_2^2 + |u-c|t_3^2)_{Jl}^{\kappa} \geq 0.$$

During the computational experiment, the following result was obtained:

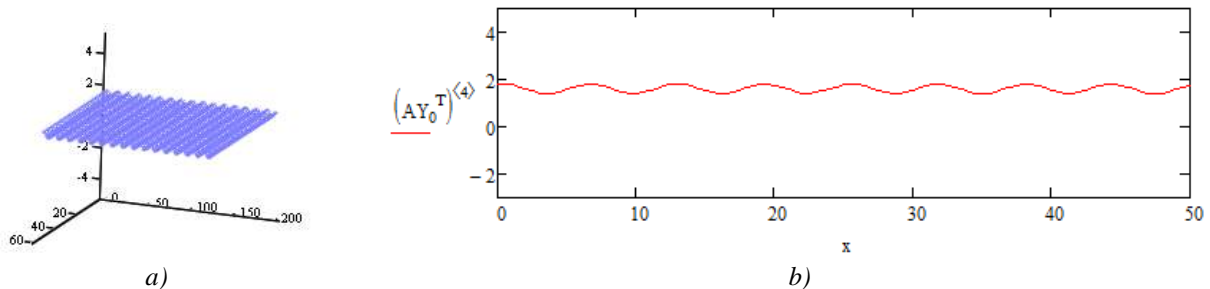


Figure 1. u – velocity in the x direction at a fixed y

Table 2. Numerical solution u – velocity in the x direction at a fixed y

$N\bar{z}$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 4$	$j = 6$	$j = 8$	$j = 10$
$k=1$	1.7993659589	1.7673311277	1.5982297381	1.4307559192	1.4188843276	1.57352965
$k=2$	1.7993658153	1.7673309631	1.5982295543	1.4307557151	1.4188841207	1.5735294606
$k=3$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587
$k=4$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587
$k=5$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587
$k=6$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587
$k=7$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587
$k=8$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587
$k=9$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587
$k=10$	1.7993658154	1.767330964	1.5982295561	1.4307557163	1.4188841198	1.5735294587

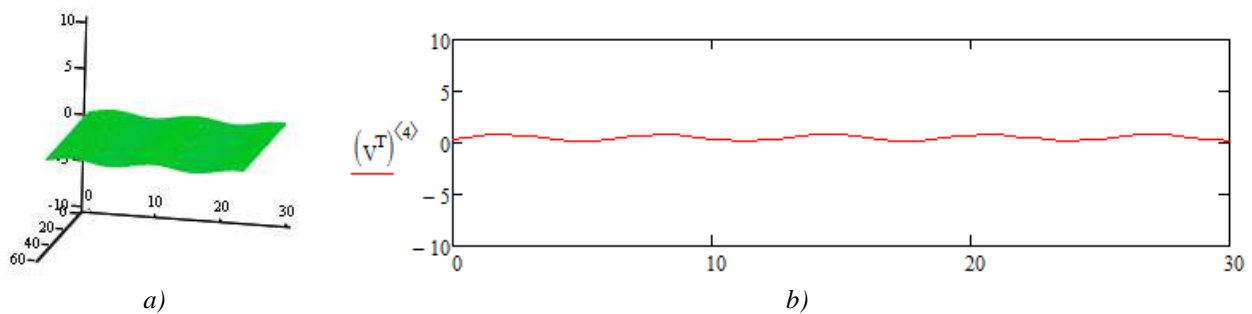


Figure 2. v – velocity in the y direction at a fixed x

Table 3. Numerical value v – is a velocity in the y direction

$N\bar{z}$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 4$	$j = 6$	$j = 8$	$j = 10$
$k=1$	0.5645359964	0.6970959796	0.796807474	0.6236355456	0.3367936667	0.200002938
$k=2$	0.5645359964	0.6970959796	0.796807474	0.6236355456	0.3367936667	0.200002938
$k=3$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378
$k=4$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378
$k=5$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378
$k=6$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378
$k=7$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378
$k=8$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378
$k=9$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378
$k=10$	0.5645359977	0.6970959808	0.7968074738	0.623635544	0.336793665	0.2000029378

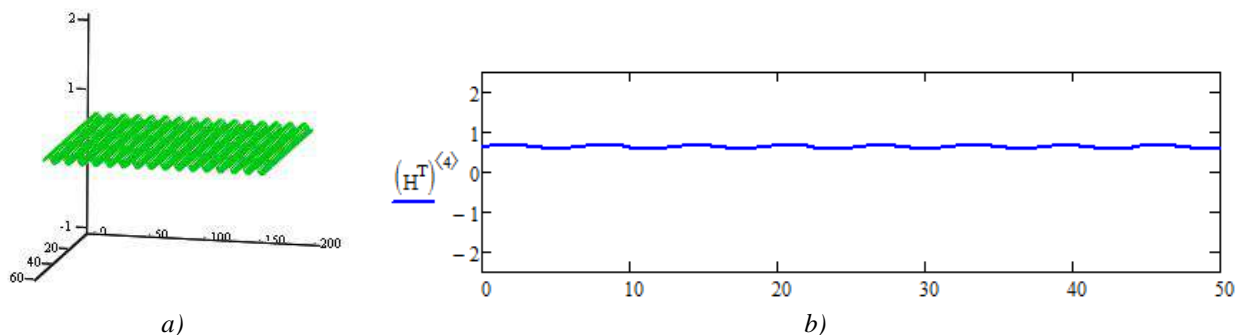


Figure 3. H – is a water depth in the x direction at a fixed y

Table 4. Numerical value H – is a water depth

N_0	$j = 1$	$j = 2$	$j = 4$	$j = 6$	$j = 8$	$j = 10$
$k=1$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=2$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=3$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=4$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=5$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=6$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=7$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=8$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=9$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287
$k=10$	0.6478523293	0.6707570423	0.6882481578	0.658014842	0.6094303071	0.5869171287

For the experiment, a plot of 200 meters long and 23 meters wide was taken. Figure 1 shows a graph of the speed change in the direction of the river length. Figure 2 shows a graph of the speed change in the direction of the river width. Figure 3 shows a graph of changes in the water height level in the direction of the Ugam River length.

4. Conclusion

In this manuscript we have considered a two-dimensional system of Saint-Venant equations. The two-dimensional system of equations takes into account many parameters affecting the flow behavior, for instance such parameters as ρ – water density, g – acceleration of free fall, φ – geographical latitude of the location, n – the roughness coefficient of the bed bottom, v – speed of wind, ρ_{air} – air density kg/m^3 , which in turn depends on its humidity, temperature and atmospheric pressure, R – hydraulic radius. For the numerical solution of a mixed problem for a two-dimensional system of Saint-Venant equations, an upwind difference splitting scheme in directions was proposed. A computational experiment for the Ugam River was also carried out and described in detail.

5. Acknowledgement

The work was supported by grant funding of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, grant No. AP08856594, 2020-2022.

References:

- 1 Khoperskov A., Khrapov S. A numerical simulation of the shallow water flow on a complex topography // Numerical Simulations in Engineering and Science / Ed. by Srinivasa Rao. — IntechOpen, 2018. — P. 237–254. DOI: [10.5772/intechopen.71026](https://doi.org/10.5772/intechopen.71026)
- 2 Kovyrykina O. A., Ostapenko V. V. Primeneniye skhemy KABARE dlya chislennykh resheniy melkoy vody // Marchuk Scientific Readings -2017. 2017. P. 434-440. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0044466917070092>
- 3 Kovyrykina O. A., Ostapenko V. V. O postroyenii kombinirovannykh raznostnykh skhem povyshennoy tochnosti // Reports of the Academy of Sciences. Vol. 478. 2018. P. 517-522. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524856691-696>
- 4 Zyuzina N. A., Ostapenko V. V. O raspade neustoychivyykh sil'nykh razryvov pri approksimatsii skhemy KABARE skalyarnogo zakona sokhraneniya s vypuklym potokom // Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2018. Vol. 58, № 6. P. 988-1012. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.7868/S004446691806011X>
- 5 Shokin Yu. I. Rychkov A. D., Khakimzyanov G. S., Chubarov L. B. A combined computational algorithm for solving the problem of long surface waves runup on the shore // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2016. Vol. 31, no. 4. P. 217–227. https://www.researchgate.net/publication/311718600_A_combined_computational_algorithm_for_solving_the_problem_of_long_surface_waves_runup_on_the_shore
- 6 Shokin YU. I., Beyzel' S. A., Rychkov A. D., Chubarov L. B. Chislennoye modelirovaniye nakata voln tsunami na poberezh'ye s ispol'zovaniyem krupnykh chastits // Math modeling. 2015. Vol. 27, № 1. P. 99-112. (in Russian) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23421467>
- 7 Yelizarova T. G., Bulatov O. V. Chislennyy algoritm resheniya regul'yarnoy melkoy vody na nestruturirovannykh setkakh // Preprints of the Institute of Applied Mathematics. M.V. Keldysh RAS. 2014. № 21. P. 1-27. (in Russian) https://keldysh.ru/papers/2014/2014_prep2014_21.pdf
- 8 Khrapov S. S., Khoperskov A. V., Kuzmin N. M. and others. Chislennaya skhema dlya modelirovaniya dinamiki reaktsiy vod na osnove kombinirovannogo podkhoda SPH–TVD // Computational methods and programming. 2011. Vol. 12, № 2. P. 282-297. (in Russian) <https://num-meth.ru/index.php/journal/article/view/462>

- 9 Kulikovskiy A. G., Pogorelov N. V., Semenov A. Yu. *Matematicheskiye voprosy chislennogo resheniya giperbolicheskikh sistem uravneniy*. M.: Physmatlit, 2001. – 607 p. (in Russian) https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_163
- 10 Popov Yu.P., Samarski A.A. *Polnost'yu konservativnyye raznostnyye skhemy* // *Journal of Comp. Math. and Math. Physics*. 1969. Vol. 9, № 4. P. 953–958. (in Russian) <http://www.mathnet.ru/links/b81c13a093bc3197ead0f9c0ec45de0f/zvmmf7105.pdf>
- 11 Skiba Y. N. *Finite-difference mass and total energy conserving schemes for shallow-water equations* // *Rus. Meteorology and Hydrology*. 1995. Vol. 2. P. 55–65. <https://www.semanticscholar.org/paper/Finite-difference-mass-and-total-energy-conserving-Skiba/da0addb534dc0de00c64fe50aa46fb2955864ab>
- 12 Burguete J., Garc'ia-Navarro P., Murillo J. *Numerical boundary conditions for globally mass conservative methods to solve the shallow-water equations and applied to river flow* // *International journal for numerical methods in fluids*. 2006. Vol. 51, no. 6. P. 585–615. <https://doi.org/10.1002/flid.1127>
- 13 Berthon C., Chalons C. *A fully well-balanced, positive and entropy-satisfying Godunov-type method for the shallow-water equations* // *Mathematics of Computation*. — 2015. — Vol. 85, no. 299. — P. 1281–1307 DOI: [10.1090/mcom3045](https://doi.org/10.1090/mcom3045)
- 14 Castro M. J., Ortega S., Par'es C. *Well-balanced methods for the shallow water equations in spherical coordinates* // *Computers & Fluids*. 2017. Vol. 157. P. 196-207. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2017.08.035>
- 15 Sukhinov A. I., Chistyakov A. Ye., Shishenya A. V., Timofeyev Ye. F. *Predskazatel'noye modelirovaniye realizovannykh gidrofizicheskikh protsessov na mnogoprotsessornoy sisteme s ispol'zovaniyem yavnykh skhem* // *Math modeling*. 2018. Vol. 30, № 3. P. 83–100. (in Russian) <https://www.libnauka.ru/journal/matematiceskoe-modelirovanie/matematiceskoe-modelirovanie-2018-30-3/predskazatelnoe-modelirovanie-pribrezhnykh-gidrofizicheskikh-protsessov-na-mnogoprotsessornoy-sisteme-s-ispolzovaniem-yavnykh-skhem-matematiceskoe-modelirovanie/>
- 16 Tran Gia Lich and Le Kim Luat. *Boundary conditions for the two-dimensional Saint-Venant equation system* // *Appl. Math. Modelling*. 1992, Vol. 16. P. 498 - 502. [https://doi.org/10.1016/0307-904X\(92\)90044-4](https://doi.org/10.1016/0307-904X(92)90044-4)
- 17 Alov R.D., Berdyshev A.S., Akbarova A., Baishemirov Zh. *Development of an algorithm for calculating stable solutions of the Saint-Venant equation using an upwind implicit difference scheme* // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2021. Vol. 4, No.112, P. 47-56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239148>
- 18 Kiselev P.G. *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam* M.: Energiya. 1972. P. 312. (in Russian) http://books.totalarch.com/handbook_of_hydraulic_calculations

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

МРНТИ 30.17.51
УДК 532.546, 51-74

<https://doi.org/10.51889/5747.2022.61.53.010>

**COMPARISON OF GEOSTATISTICAL METHODS FOR MODELING
INFILTRATION TYPE URANIUM DEPOSITS**

Aizhulov D.Ye.^{1,2}, Tungatarova M.S.^{1,2}*

¹*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,*

²*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

**e-mail: madina.tungatarova@gmail.com*

Abstract

Filtration process occurring during the formation of infiltration type deposits largely affects the geometry and content of uranium deposits, which creates a challenge when conventional methods of geostatistics are applied for geomodelling purposes. Verification of these methods is practically impossible since true picture of the deposit is never known. In this work authors use a synthetic model generated through reactive transport simulation accounting for specific characteristics inherent in deposits, which formed via infiltration process. Two conventional methods were tested: inverse distance weighting method and the method of kriging. Comparison shows, that in terms of resource estimation and if intrinsic parameters of the method are chosen correctly, inverse distance method can provide a higher accuracy as compared to kriging with various number of exploratory wells used.

Keywords: flow in porous media, reactive transport modelling, geostatistics, kriging, inverse distance weighting, infiltration type deposits.

Аннотация

Д.Е. Айжулов^{1,2}, М.С. Тунгатарова^{1,2}

¹*Сатпаев Университет, Алматы, Қазақстан,*

²*Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЕОСТАТИСТИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА
ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА**

Процесс фильтрации, участвующий при формировании месторождений инфильтрационного типа, в значительной степени влияет на геометрию и содержание урановых месторождений, что создает проблему при применении традиционных методов геостатистики при геологическом моделировании. Верификация этих методов практически невозможна, так как нет сведений о истинной картине минерализации месторождений. В этой работе авторы используют синтетическую модель, созданную в результате моделирования реагирующего переноса с учетом специфических процессов, присущих образованному в результате процесса инфильтрации отложениям. В рамках проведенных работ были протестированы два традиционных метода: метода обратных взвешенных расстояний и метода кригинга. Сравнение показывает, что с точки зрения оценки запасов и при правильном выборе параметров, метод обратных взвешенных расстояний может обеспечить более высокую точность по сравнению с кригингом при различном количестве используемых разведочных скважин.

Ключевые слова: течение в пористых средах, реагирующий массоперенос, геостатистика, кригинг, метод обратных взвешенных расстояний, месторождения инфильтрационного типа.

Аңдатпа

Д.Е. Айжулов^{1,2}, М.С. Тунгатарова^{1,2}

¹ Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан,

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

ИНФИЛЬТРАЦИЯЛЫҚ ТИПТІ УРАН КЕН ОРЫНДАРЫН МОДЕЛЬДЕУГЕ АРНАЛҒАН ГЕОСТАТИСТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ САЛЫСТЫРУ

Инфильтрациялық типті кен орындарының қалыптасуына қатысатын фильтрация процесі уран кен орындарының геометриясы мен мөлшеріне аса әсер етеді, соның нәтижесінде геологиялық модельдеу барысында дәстүрлі әдістерді қолдану кезінде қиындықтар туады. Айтылған әдістерді верификациялау іс-жүзінде мүмкін емес, өйткені кен орнының нақты минерализация бейнесі туралы мәліметтер жоқ. Бұл жұмыста авторлар, инфильтрация процесі нәтижесінде қалыптасқан түзілімге тән, ерекше процесстерді ескере отырып, реакцияланатын тасымалды модельдеу нәтижесінде жасалған синтетикалық модельді қолданады. Жасалған жұмыстар аясында екі дәстүрлі әдіс тестіленді: кері өлшемді қашықтық және кригинг. Салыстыру нәтижесі, қолданылатын барлау ұңғымаларының әртүрлі сандары үшін, қорларды бағалау көзқарасынан және параметрлерді дұрыс таңдаған жағдайда кері өлшемді қашықтық әдісі кригингпен салыстырғанда жоғары дәлділікті қамтамасыз ететінін көрсетті.

Түйін сөздер: кеуекті ортадағы ағым, реакцияланатын массатасымалдау, геостатистика, кригинг, кері өлшемді қашықтық әдісі, инфильтрациялық типті кен орындар.

Introduction

Infiltration type deposits (ITD), which also have a high degree of reservoir oxidation, are also called “rollfronts”, and are an accumulation of minerals in porous medium (mostly sandstones) [1]. Deposits are formed due to the infiltration and precipitation of minerals; they are found in the redox fronts between oxidated and reduced environment.

Maksimova [2] considered the main factors in the formation of polyelement (uranium, molybdenum, selenium, rhenium, vanadium, scandium, yttrium, lanthanides) infiltration type deposits confined to aquifers of the sedimentary cover. Based on the generalization and analysis of hydrodynamic data, the ore-controlling bedded epigenetic zonation and the behavior of various chemical elements in the ore-forming process, the paper determined that the hydrodynamic factor is the main factor in the formation of ITD. Thus, ITD deposits can appear only in artesian basins with an infiltration hydrodynamic regime.

Dahlkamp's works [3, 4] present a broad overview of the features of the geological structure of uranium deposits, and a generalization of these data in the form of a typological classification with a detailed description of individual uranium regions and deposits. The paper presents various types of deposits and the specifics of their formation, including epigenetics. In [4], the distinctive characteristics of ITD are given, described as deposits, which are bandy sections of inclusions of the minerals, limited by weakly permeable beddings from top and bottom. Mineralized zones consist of elongated and curved fronts directed along permeable layers and perpendicular to the flow of groundwater. Mineralized zones have a convex shape down the hydrological gradient. They have indistinct borders with reductant filled environment downstream of the water flow and contrast boundaries with oxidized media in upstream (Figure 1).

In particular case, ore formation began with the rising of the Tien-Shan mountain range, which supplied with minerals an adjacent Megatien-Shan province (Southern Kazakhstan) basin from the south and provided uranium and other ore-related elements.

In the work of Yazikov [5], a list of hydrogeological factors affecting the profitability of production of ITD is determined, in particular: lithological composition and thickness of water-bearing rocks; depths of occurrence of aquifers and groundwater levels, the nature of groundwater development; direction of movement and speed of the natural flow of groundwater; underlying and blocking aquicludes; filtration properties of rocks of the ore-bearing horizon.

The paper [6] highlights the regularities and duration of the formation and placement of uranium deposits. The following subtypes of deposits are distinguished: roll (fronts of reservoir oxidation, also known as ITD), reservoir, near-fault-stratal and paleovalley.

Of great importance in the formation of uranium mineralization are various hydrodynamic regimes of groundwater [7]. The distribution of groundwater is determined by the surface topography, and is determined by the forces of gravity. During their ore formation, the permeability of ore-bearing rocks and the presence of a geochemical barrier in the zone of wedging out of chemically oxidized rocks are of decisive importance. The water regime, together with the composition of rocks, determines the morphology of ore bodies, the texture and structure of ores.

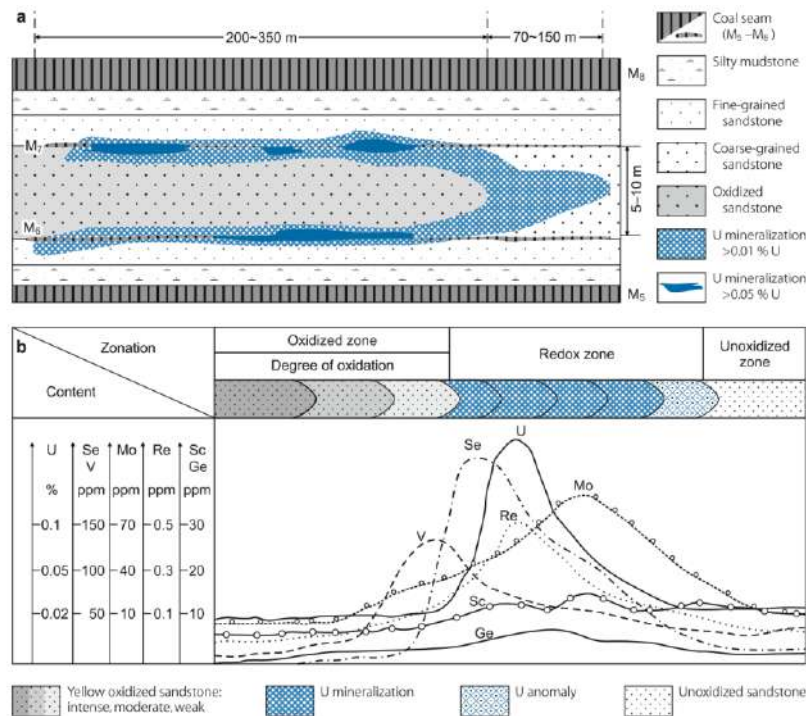


Figure 1. The form of mineralization in the form of "rolls" in the ITD. The concentration of various components along the flow of groundwater relative to the oxidized and reduced zones is shown [3,4]

In the work of Tarkhanov [8], the regularities of the spatial distribution of uranium and the factors contributing to the formation of large deposits are considered. A formula for estimating potential resources is proposed that takes into account the following factors: initial and residual uranium content in solutions, rock permeability, hydraulic head, duration of ore formation, and the degree of contrast of the redox barrier.

As a result of the review of works on the study of hydrodynamic and hydrogeological processes of the formation of ITD, the following factors were identified, taken into account by the authors when building a hydrodynamic model:

- 1) gravity is the cause of the movement of groundwater, therefore the flow in the reservoir is due to the presence of a hydraulic slope;
- 2) filtration characteristics affect the final geometry of the ore body;
- 3) ITD usually have upper and lower impermeable layers;
- 4) the final form of mineralization in top view looks like a winding ribbon and a crescent-like (elongated tongue) in a vertical section.

Verifying the accuracy of geostatistical methods is one of the major challenges in geological modeling, as the actual mineralization pattern is never known. Existing technologies do not allow a full reservoir scan to determine in detail the actual distribution of mineral concentrations (or other characteristics) to determine the accuracy of the results of geostatistical methods.

The aim of current work is to provide an instrument for generating synthetic infiltration type deposits to verify and compare existing stochastic methods. A synthetic deposit is a computational grid (3D data array) with known, real values of mineral concentration in each of its nodes. By placing exploratory wells with different configurations, well data can be collected, on the basis of which geostatistical calculations could be carried out using traditional methods. To analyze the accuracy of the methods, the results obtained are then compared with known values.

Simulation of synthetic infiltration type uranium deposit

The mathematical model of water filtration in a permeable porous reservoir is described by the Darcy and mass conservation laws [9]

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (1)$$

$$\vec{u} = -k_f \nabla H \quad (2)$$

where \vec{u} – solution filtration velocity, k_f – stratum filtration coefficient, H – stratum hydrodynamic head.

Substituting equation (2) into equation (1), we obtain an elliptic type equation, which is solved by the over-relaxation method

$$\nabla \cdot (k_f \nabla H) = 0 \quad (3)$$

In [10], in a 2D formulation, using Comsol Multiphysics, a preliminary study of influence of the hosting domain shape, filtration properties and chemical reactions on the geometry and content of the deposit was carried out. In the framework of this work, a preliminary 3D software functionality has been developed for studying the processes of formation of ITD. The developed software functionality was used to generate a test geological model of the ITD field. The authors considered an area in the form of a parallelepiped with a computational domain shown in Figure 2. The Neumann boundary condition was set on the upper and lower walls, which corresponds to the presence of impenetrable layers:

$$\left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{sides} = 0 \quad (4)$$

The hydraulic slope is described by the following boundary conditions at the inlet and outlet of the domain:

$$\begin{aligned} p|_{in} &= p_{atm} + \rho gh \\ p|_{out} &= p_{atm} \end{aligned} \quad (5)$$

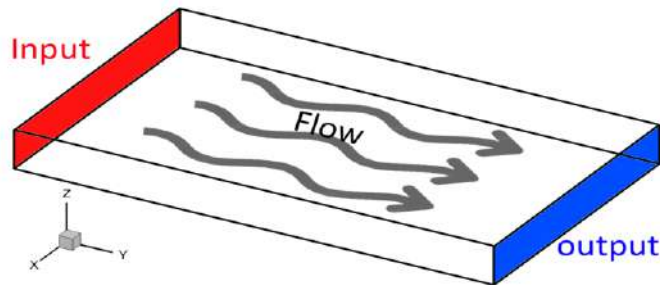


Figure 2. Calculation domain

Heterogeneous distributions of the filtration coefficient in the reservoir were considered. The non-uniform distribution was obtained by the following formula (Figure 3):

$$Kf_{i,j,k} = (2 + \sin \frac{\pi k}{(N_z - 1)} (\sin \pi i + \cos \pi j))R \quad (6)$$

where $Kf_{i,j,k}$ – the value of the filtration coefficient in the grid node i, j, k , N_z – number of grid nodes along the Z , and R axes range of allowable K_f values.

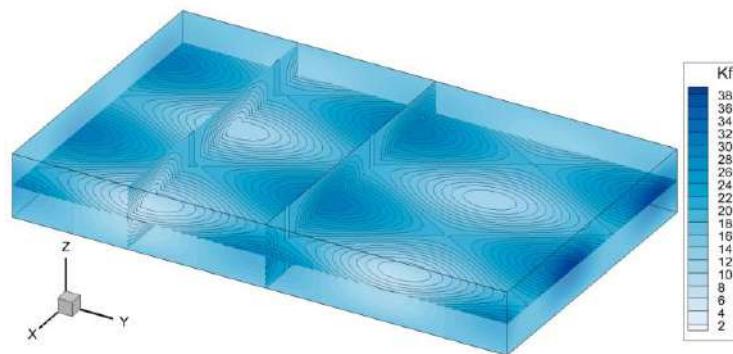


Figure 3. Heterogeneous distribution of permeability in the reservoir

Based on the pressure field found from the Darcy law (2), the velocity field is determined, which is subsequently used to study the transport of dissolved mineral and its deposition in the reservoir. The resulting pressure distributions and streamlines are shown in Figure 4.

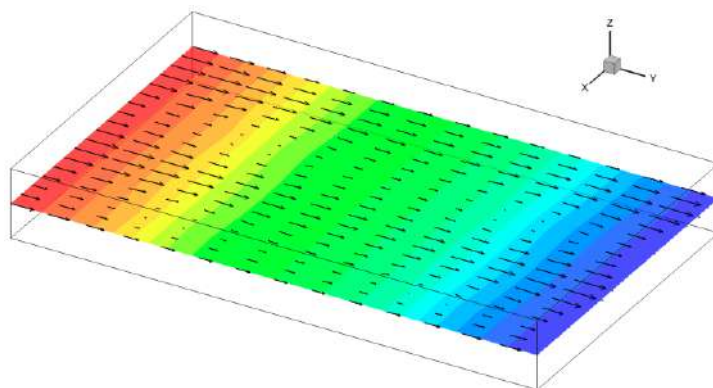


Figure 4. Distribution of pressure and velocity in the reservoir

The velocity field was used to simulate the mass transport of the mineral during the filtration of the solution in the reservoir, and to obtain a synthetic uranium ITD.

Comparison of the effectiveness of geostatistical methods as applied on generated synthetic infiltration type uranium deposit

Domain was covered by a set of virtual exploration wells from which ore intervals are collected, that are accepted as input data for geostatistical methods. The aim of the methods is to restore the mineralization pattern as close as possible to the fact based on well data. Geostatistical estimation methods are based on assigning a weight of influence value λ_i for nodes where data is known each located at x_i position to determine the value of mineral concentration $Z^*(x)$ at an arbitrary point x :

$$Z^*(x) = \sum \lambda_i Z(x_i)$$

Fundamentally, the methods differ in the algorithm for determining the weight. Two methods of geostatistics that are often used to reconstruct the reservoir geological model were considered: the inverse distance weighted (IDW) method and the kriging method. Using the constructed test geological model, the methods of inverse distances weighting and the kriging method were evaluated. In the IDW method, the calculation of values at any point are determined according to the following formula [11].

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} Z(x_i) \quad (7)$$

where d_i is the distance between point x and x_i , calculated by the formula

$d = \sqrt{a(x - x_i)^2 + b(y - y_i)^2 + c(z - z_i)^2}$, a, b, c are the coefficients characterizing the anisotropy of the formation.

In the kriging method, the value of influence weight is calculated from the selected semivariogram model to determine the statistical nature of the reservoir. The construction of a variogram is carried out according to the following formula [11]

$$\gamma(h) = \frac{(\overline{Z(x+h)} - \overline{Z(x)})^2}{2} \quad (8)$$

where the value of the semivariogram function $\gamma(h)$ is equal to half the square of the means of all points that are approximately at distance h from each other. By selecting several arbitrary distances h and the discontinuous semivariogram curve is calculated under which the model is selected.

Using the notion of a covariogram in the form:

$$C(h) = C(0) - \gamma(h), C(0) = \sigma_x \quad (9)$$

the weight λ_i of each known point x_i is calculated by solving the following matrix equation:

$$\begin{bmatrix} C(x_1 - x_1) & C(x_1 - x_2) & \dots & C(x_1 - x_n) & 1 \\ C(x_2 - x_1) & C(x_2 - x_2) & \dots & C(x_2 - x_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C(x_n - x_1) & C(x_n - x_2) & \dots & C(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(x - x_1) \\ C(x - x_2) \\ \dots \\ C(x - x_n) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

A test synthetic geological model obtained as part of the work was used to compare the methods of inverse distance weighting and kriging.

Implemented functionality was used to cover the test block with a network of exploration wells, the number of which varied. Along each well, with a given frequency, data is collected, which are then used as input parameters for geostatistical methods (Figure 5).

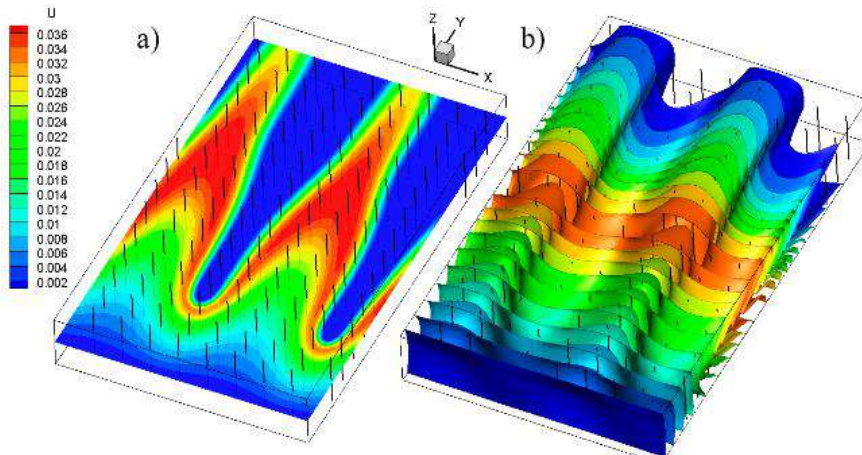


Figure 5. Distribution of the mineral in plan (a) and isosurfaces of the mineral content (b) in the reservoir

Developed software was used to perform the interpolation using the kriging and IDW methods. Figure 6 shows the resulting initial test geological model and the qualitative results of interpolation by the methods of IDW and kriging.

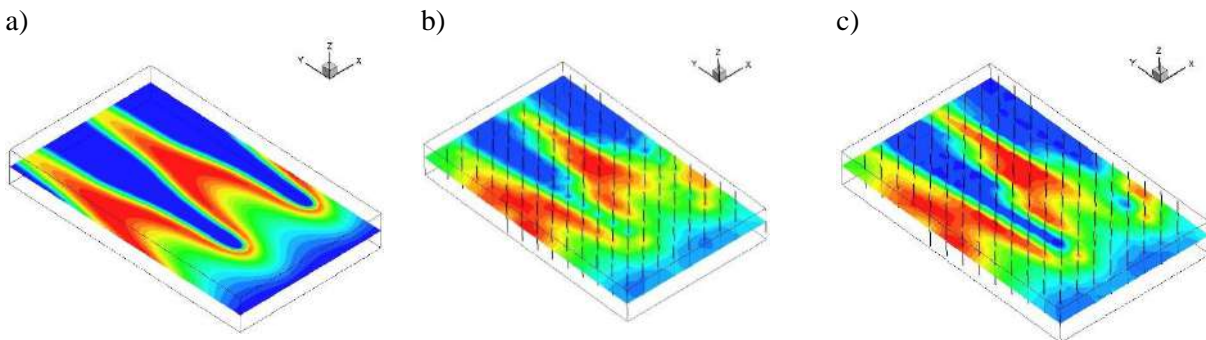


Figure 6. Initial mineral distribution in the reservoir (a), field models reconstructed by inverse distance (b) and kriging (c)

Qualitatively, kriging shows a better picture in comparison with IDW, with a lower average and maximum error for all grid nodes.

For quantitative analysis, the mineral reserves were compared, according to the results of geostatistical methods, with the true value for a different number of exploration wells used. The mineral reserves are calculated by the following formula

$$Reserves = \sum_i \frac{c_i}{100} \rho V_i \quad (11)$$

where c is the concentration of the mineral, ρ is the density of the ore body, V_i is the volume of the i^{th} node of the computational grid.

The results show (Figure 7) that the accuracy of both methods is highly dependent on the number of exploration wells. To improve the accuracy of calculating reserves in the reservoir, it is recommended to increase the number of exploration wells. Applied to ITD fields, IDW provided a more accurate estimate of reserves with different numbers of wells.

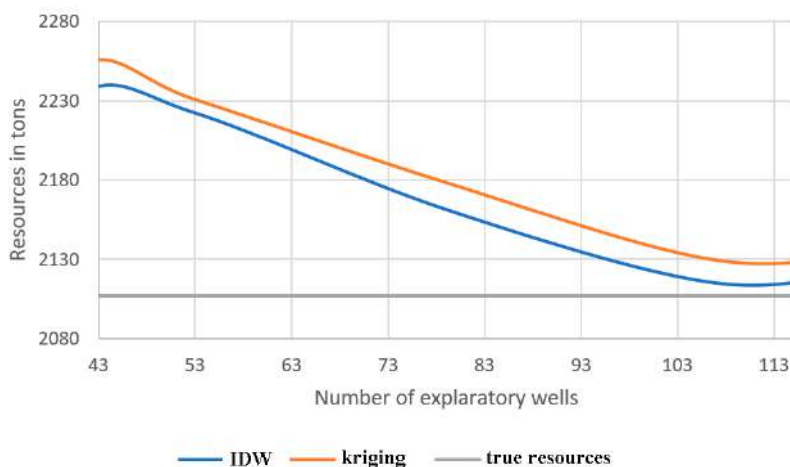


Figure 7. In-situ uranium reserves calculated using test and reconstructed geological models by different methods

Conclusion

Infiltration type deposits have untypical geometry as well as distribution of mineral concentration attributed to the process of their formation as compared to sedimentary deposits. Sedimentary hosting environment generally has a horizontal anisotropy, while choosing correct anisotropy parameter becomes a challenging process due to heterogeneity of such deposits. However, reactive transport simulation can be used to mimic the infiltration and chemical mass transfer processes participating in the formation of these mineralizations to generate a testing model with all inherent parameters which can be attributed to infiltration type deposits.

A synthetic deposit has been generated in this work for verification purposes. Exploration process has been simulated with varying number of boreholes to obtain log data as input information for geostatistical methods. Two methods have been implemented and used to model the deposit based on well log data. To obtain quantitative data resource estimation process has been conducted on verification model, and on the results of both kriging and IDW. While kriging accounts for inherent variability with variogram models, it is generally harder to choose appropriate variogram model. IDW, however, is a much simpler and less resource intensive method. Comparison shows that in all cases (with varying number of wells) inverse distance method is slightly more accurate than kriging.

Current work demonstrates, that geostatistical methods can be verified with appropriate application of reactive transport simulation techniques. This technique can not only be used to compare the performance of other stochastic methods, but also to develop and verify a future method specific to infiltration type deposits.

The work has been carried out under financing provided by MES of RK within the project number AP08051929.

Список использованных источников:

- 1 Adams S. S., Cramer. R. T. *Data-process-criteria model for roll-type uranium deposits, Geological environments of sandstone-type uranium deposits // Report of the working group on uranium geology organized by the International Atomic Energy Agency.* Вена: МАЭА, 1985. – С. 383-399.
- 2 Максимова М.Ф., Шмариович Е.М. *Пластово-инфильтрационное рудообразование.* М.: Недра, 1993. 160 с.
- 3 Dahlkamp F.J. *Uranium Ore Deposits.* Гейдельберг: Springer-Verlag, 1993. – 460 с.
- 4 Dahlkamp F.J. *Uranium Deposits of the World Asia.* – Гейдельберг: Springer-Verlag, 2009. – 492 с.
- 5 Язиков В.Г. *Особенности проведения гидрогеологических и инженерно-геологических работ на разных стадиях разведки и освоения инфильтрационных (гидрогенных) месторождений урана.* Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 96 с.
- 6 Живов В.Л., Бойцов А.В., Шумилин М.В. *Уран: геология, добыча, экономика.* М.: Атомиздат, 2012. 304 с.

- 7 Бойцов В.Е., Верчеба А.А. Геолого-промышленные типы месторождений урана: учебное пособие. – М.: КДУ, 2008. 310 с.
- 8 Тарханов А.В., Бугриева Е.П. Крупнейшие урановые месторождения мира / Под редакцией Г.А. Машиковцева. М.: ВИМС, 2012. 118 с.
- 9 Bear J. *Modeling Phenomena of flow and Transport in Porous Media*. Springer, 2018. p. 730
- 10 D. Aizhulov, N. Shayakhmetov, and A. Kaltayev, “Quantitative Model of the Formation Mechanism of the Rollfront Uranium Deposits”, *Eurasian Chem. Tech. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 213-221, Sep. 2018.
- 11 M. Pyrcz *Geostatistical reservoir Modeling* / M. Pyrcz, C. Deutch. Oxford University Press, 2014. p. 433

References:

- 1 Adams S. S., Cramer. R. T. *Data-process-criteria model for roll-type uranium deposits, Geological environments of sandstone-type uranium deposits // Report of the working group on uranium geology organized by the International Atomic Energy Agency*. Vienna: IAEA, 1985. C. 383-399.
- 2 Maksimova M.F., Shmariovich E.M. *Seam-infiltration ore formation*. М.: Nedra, 1993. 160 p. (In Russian)
- 3 Dahlkamp F.J. *Uranium Ore Deposits*. - Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. - 460 p.
- 4 Dahlkamp F.J. *Uranium Deposits of the World Asia*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. - 492 p.
- 5 Yazikov V.G. *Features of carrying out hydrogeological and engineering-geological works at different stages of exploration and development of infiltration (hydrogenous) uranium deposits*. - Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2012. - 96 p. (In Russian)
- 6 Zhivov V.L., Boytsov A.V., Shumilin M.V. *Uranium: geology, mining, economics*. М.: Atomizdat, 2012. 304 p. (In Russian)
- 7 Boitsov V.E., Vercheba A.A. *Geological and industrial types of uranium deposits: textbook*. - М.: KDU, 2008. - 310 p. (In Russian)
- 8 Tarkhanov A.V., Bugrieva E.P. *The largest uranium deposits in the world* / Edited by G.A. Mashkovtseva. М.: VIMS, 2012. 118 p. (In Russian)
- 9 Bear J. *Modeling Phenomena of flow and Transport in Porous Media*. Springer, 2018. p. 730
- 10 D. Aizhulov, N. Shayakhmetov, and A. Kaltayev, “Quantitative Model of the Formation Mechanism of the Rollfront Uranium Deposits”, *Eurasian Chem. Tech. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 213-221, Sep. 2018.
- 11 M. Pyrcz, C. Deutch. *Geostatistical reservoir Modeling*. – Oxford University Press, 2014. – p. 433

GRAVITY EFFECT ON WELL SCREENS ALIGNMENT DURING THE IN-SITU LEACHING

Shayakhmetov N.M.^{1}, Kurmanseit M.B.², Alibayeva K.A.¹*

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

²*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

**e-mail: shayakhmetovn@gmail.com*

Abstract

The production of a mineral via in-situ leaching method in the conditions of a rollfront deposit is accompanied by many problems associated with the impossibility of direct observation of the process. This article discusses the problem of the influence of the density heterogeneity of the injected solution on the efficiency of well screen operation. As a result of the influence of gravitational forces, with a non-uniform distribution of the density of the liquid, the effect of a "fall" of solutions occurs, which significantly reduces the efficiency of mining under conditions of well screen located at the same level and the remoteness of the lower aquiclude from the lower boundary of the well screen. The problem was investigated on the basis of mathematical modeling using finite difference schemes. The calculation was carried out for a hexagonal pattern with six injection and one production wells. The results showed that the change in the lowering level of solutions depending on the distance between the wells and the density of the injected leach solution is linear. These results make it possible to determine the effective location of well screens at various values of the density of the injected solution.

Keywords: mathematical modeling, mineral extraction, in-situ leaching method, filtration theory, gravitational effects, wells, well screen.

Аңдатпа

Н.М. Шаяхметов¹, М.Б. Құрмансейіт², К.А. Алибаева¹

¹*Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ, Қазақстан*

²*Сәтпаев университеті, Алматы қ, Қазақстан*

ЖЕРАСТЫ ҰҢҒЫМАЛЫ ШАЙМАЛАУ БАРЫСЫНДА ГРАВИТАЦИЯНЫҢ ҰҢҒЫМА ФИЛЬТРЛАРЫНЫҢ ОРНАЛАСУЫНА ӘСЕРІ

Қабатты-инфильтрациялық кен орны жағдайында жер асты ұңғымалы шаймалау әдісімен пайдалы қазбаны өндіру, процесті тікелей бақылаудың мүмкін еместігімен байланысты көптеген мәселелермен қатар жүреді. Бұл мақалада айдалынатын ерітіндінің тығыздығының гетерогенділігінің ұңғыманың фильтрінің жұмысының тиімділігіне әсер ету мәселесі қарастырылады. Гравитациялық күштердің әсерінен сұйықтықтың тығыздығының біркелкі бөлінбеуі кезінде ерітінділердің «түсу» әсері пайда болады, ұңғыма фильтрлары бір деңгейде орналасқан және фильтрдың төменгі шекарасы өткізбейтін төменгі қабаттан қашық орналасқан жағдайда, фильтрлардың орналасқан жерінде кен өндіру тиімділігін айтарлықтай төмендейді. Мәселе ақырғы айырмашылық схемаларын қолданып математикалық модельдеу негізінде зерттелді. Есептеу алты айдау және бір өндіру ұңғымасы бар алтыбұрышты (гексагоналды) орналасу схемасы үшін жүргізілді. Нәтижелер ұңғымалар арасындағы қашықтыққа және айдалатын сілтісіздендіру ерітіндісінің тығыздығына байланысты ерітінділерінің түсу деңгейінің өзгеруі сызықты екенін көрсетті. Бұл нәтижелер айдалатын ерітіндінің тығыздығының әртүрлі мәндерінде ұңғыма сүзгілерінің тиімді орналасуын анықтауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: математикалық модельдеу, минералды өндіру, жерасты шаймалау әдісі, фильтрация теориясы, гравитациялық эффектілер, ұңғымалар, ұңғыма фильтрлары.

Аннотация

Н.М. Шаяхметов¹, М.Б. Құрмансейіт², К.А. Алибаева¹

¹*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

²*Сатпаев университет, г. Алматы, Казахстан*

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИИ НА РАСПОЛОЖЕНИЕ ФИЛЬТРОВ СКВАЖИН ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Добыча минерала методом подземного скважинного выщелачивания в условиях пластово-инфильтрационного месторождения сопровождается множеством задач, связанных с невозможностью прямого наблюдения за процессом. В данной статье рассматривается задача влияния неоднородности плотности закачиваемого раствора на эффективность работы фильтров скважин. В результате воздействия гравитационных сил, при неоднородном распределении плотности жидкости возникает эффект «падения» растворов что

значительно снижает эффективность обработки при условиях расположения фильтров на одном уровне и отдаленности нижнего водоупора от нижней границы фильтра скважины. Задача была исследована на основе математического моделирования с применением конечно-разностных схем. Расчет был проведен для шестиугольной (гексагональной) схемы расположения с шестью закачными и одной откачной скважинами. Результаты показали, что изменение уровня понижения растворов в зависимости от расстояния между скважинами и плотности закачиваемого выщелачивающего раствора является линейным. Данные результаты позволяют определить эффективное расположение фильтров скважин при различных значениях плотности закачиваемого раствора.

Ключевые слова: математическое моделирование, добыча минералов, метод подземного скважинного выщелачивания, теория фильтрации, гравитационные эффекты, скважины, фильтры скважин.

Introduction

In-situ leaching (ISL) is an economically viable and environmentally friendly method of uranium mining. The extraction of the mineral by the ISL method is carried out from the host rock using a chemical solution that converts solid uranium into a dissolved form, then the dissolved uranium is extracted to the surface using a network of wells [1]. The use of this method is possible with certain properties of the host rock. The main condition is the permeability of the rock to deliver the solution to the rock and further dissolution of uranium [2]. Deposits with such characteristics are called infiltration and are divided into two types [3]:

1. reservoir-infiltration, formed as a result of the transfer of minerals along artesian infiltration-hydrodynamic systems. The continuous flow of groundwater directly contributes to the formation of the tongue-shaped form of the ore deposit. This form of deposits is called rollfront. Rollfront deposits in most cases are low concentrated, which is largely convenient for applying the ISL method;

2. soil-infiltration, formed in static infiltration-hydrodynamic systems.

Production by the ISL method is mainly used for reservoir-infiltration fields. In the conditions of soil-infiltration deposits, the full application of the ISL method is possible only for the following types:

1. Khiagdinsky (Khiagdinsky ore field in Buryatia, RF);

2. Semizbaysko-Dalmatovskiy (Semizbay in the Akmola region of the Republic of Kazakhstan, Malinovskoye in the Kemerovo region of the Russian Federation and the Dalmatovskaya group of deposits in the Kurgan region of the Russian Federation);

3. Devladovsky (Devladovsky group of deposits of the so-called Ukrainian shield).

Rollfront deposits are conditionally divided into two parts: frontal and rear (Figure 1). The front part has the maximum thickness, is characterized by a high concentration of uranium and is called the "bag part". The rear part of the roll is usually low power and is called "wings". Between the wings there is an oxidized zone with a significantly low or zero mineral concentration [3].

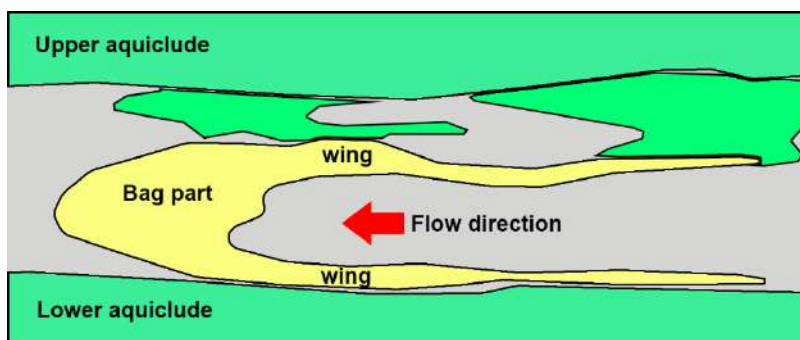


Figure 1. Illustration of the shape and arrangement of the elements of the ore-bearing formation

An aquiclude is an impermeable layer, usually represented by clayey rocks [4]. The upper and lower aquiclude prevents groundwater from flowing into the depths or to the surface, which ensures the movement of the mineral front through successive leaching and sedimentation. The shape of a rollfront deposit is also determined by the direction of groundwater flow, i.e. the bag part of the deposit is directed along the flow of groundwater [5].

The injection of the solution into the formation is provided with well screens. At the same time, in the production wells, the screens provide reverse movement, i.e. from the reservoir to the wells for further withdrawal of the dissolved mineral to the surface. An important requirement for screens is the separation of

mechanical impurities in the form of rock particles and the screen itself. During production by the ISL method, the following requirements are imposed on the screens of technological wells [6]:

1. resistance to the effects of the applied leaching reagents;
2. mechanical strength to reduce the impact of hydrodynamic pressure;
3. optimal filtration characteristics - ensuring the penetration of productive and leaching solutions, with minimal penetration of rock particles;
4. resistance to the formation of mechanical and chemical clogging during the entire period of operation of the technological block;
5. providing the necessary throughput volume of solutions to reduce the cost of operating the field.

The maximum length of the screen is limited by mechanical strength, in practice it does not exceed 8 meters, while the distance between the upper and lower aquicludes can reach up to 20 meters [7]. Accordingly, for complete coverage of the ore deposit, additional wells are placed nearby with screens installed at different levels. In the rear part of the roll, the use of several production wells at a close distance is not profitable due to the low uranium content. In this regard, the problem arises of determining the optimal location of the screens along the well.

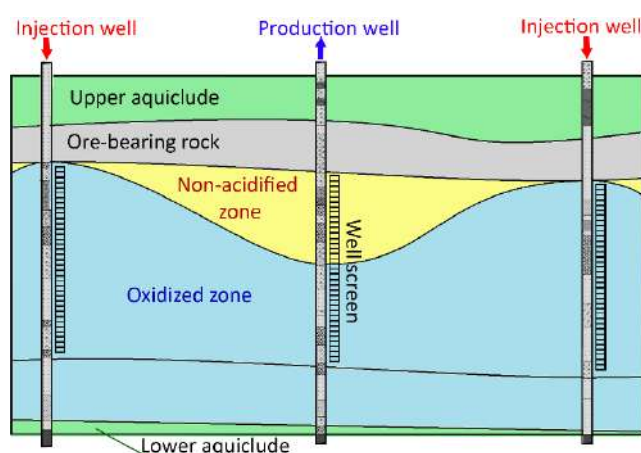


Figure 2. Influence of the density of solutions on the arrangement of screens due to gravitational forces

On the other hand, the density of the leaching solution lies in the range from 1000 to 1050 kg/m³ and differs from the density of formation waters. It was shown in [8] that the difference in the densities of the solution and formation waters leads to a lowering of the level of the flow of the solution in the rock due to gravity.

In addition, an increase in the distance between wells or the absence of a bottom aquiclude also affects the level of fluid flow in the formation, as a result of which it is necessary to adjust the location of the well screens. In this regard, the task arises of studying these factors for the location of screens along the height of the wells (Figure 2).

Problem statement and research methods

A three-dimensional area is considered with injection wells located at the vertices of a regular hexagon and one production well in its center (Figure 3). The fluid flow in the reservoir, taking into account changes in fluid density and gravitational forces, is described by the following equations [8]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \varphi U \text{grad}(\rho) = 0 \quad (1)$$

$$\text{div}(U\varphi) + \frac{gk_{zz}}{\mu} \frac{\partial \rho}{\partial z} = - \frac{q_{inj} \delta(x - x_{inj}, y - y_{inj}) + q_{prod} \delta(x - x_{prod}, y - y_{prod})}{\rho} \quad (2)$$

$$U\varphi = - \frac{k}{\mu} (\text{grad}(P) + \rho g) \quad (3)$$

where,

ρ - liquid density [kg/m³], U - filtration rate [m/s], φ - porosity coefficient, g - gravity acceleration [m/s²], k - permeability tensor [m²], q_{inj} , q_{prod} - flow rates of injecting and extracting wells [m³/s], $\delta(x-x_{inj}, y-y_{inj})$,

$\delta(x-x_{prod}, y-y_{prod})$ - Dirac delta function for location of injecting and extracting wells, P - pressure [Pa] .

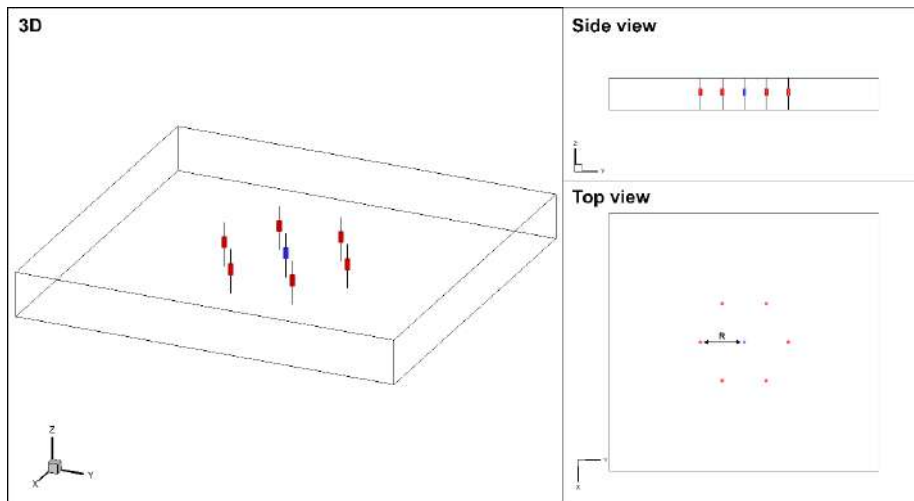


Figure 3. Computation area with wells (red – injection wells, blue – production wells, well size does not correspond to scale)

Let us assume that the rock is limited by the lower and upper aquicludes, and therefore the no-flow condition is applied at these boundaries:

$$\frac{\partial P(x, y, z_t)}{\partial z} = \frac{\partial P(x, y, z_b)}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

At the remaining boundaries of the region, the pressure is equal to the hydrostatic pressure and the Dirichlet condition is applied:

$$P(x_e, y, z) = P(x_w, y, z) = P(x, y_s, z) = P(x, y_n, z) = \rho g z \quad (5)$$

In production, to prevent spreading beyond the boundaries of the block and impoverishment of solutions by groundwater, the sums of flow rates of injection and production wells are equalized. When solving this problem, the same conditions were set:

$$\sum_{i=1}^6 q_{inj_i} = -q_{prod} \quad (6)$$

$$q_{inj_i} = \frac{q_{prod}}{6}$$

At the initial moment of time, the formation water density is constant and equal to 1000 kg/m³. The density of the injected solution (ρ_{inj}) depends on the value of the concentration of the reagent and varies in the range of 1000-1050 kg/m³, where the value of 1050 kg/m³ corresponds to the density of the solution at an acidity of 30 g/l and the condition of leaching of 1% of the mining material.

The distance between the injection and production wells (R) is shown in Figure 3, and is also the radius of the circumscribed circle of the hexagon.

Thus, this paper investigates (i) the effect of fluid density and (ii) the distance between injection and production wells on the drawdown level of the injected fluid. The solution for each value of density (ρ_{inj}) and distance between wells (R) is calculated separately.

Algorithm

The algorithm for solving the problem consists of the following steps:

1. Entering the density of the injected solution (ρ_{inj}) and the distance between wells (R);
2. Construction of the computational domain and placement of wells at a given distance R;
3. Determination of the distribution of the density of the solution in the reservoir from equation (1);
4. Determining the distribution of the velocity field from equation (2);
5. Based on certain values of the velocity, the construction of streamlines of the solution in the reservoir using the Pollock method [9]. Streamline - a curve (str_i) consisting of N_p points, the direction of the tangent to which at each point coincides with the direction of the fluid particle velocity at this point [10] (Figure 4);

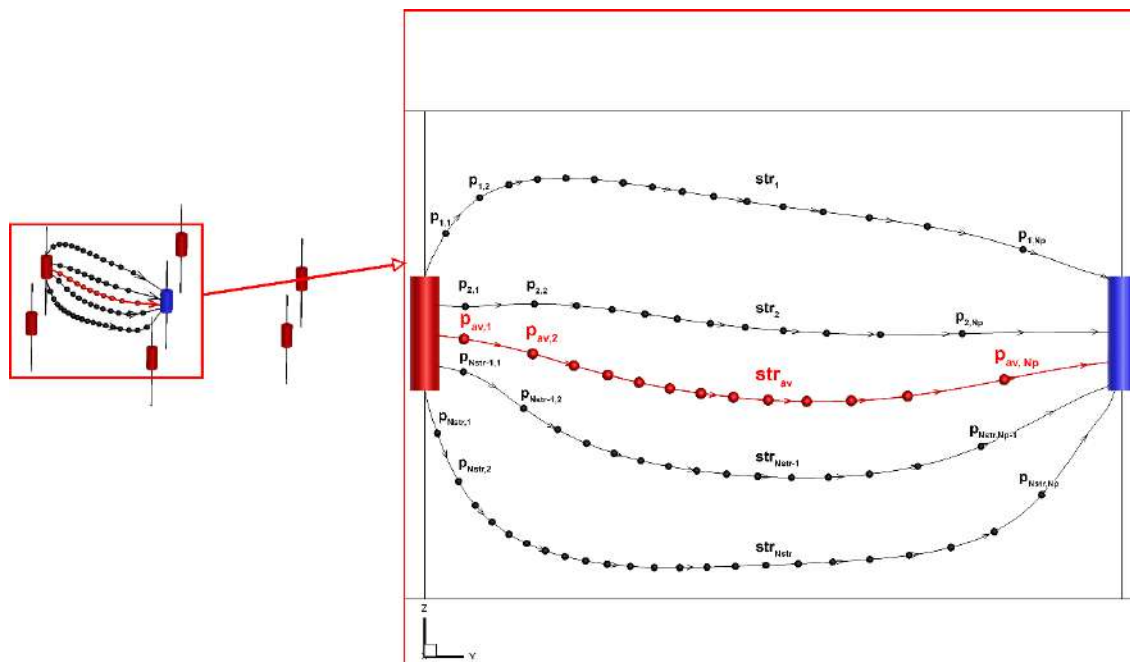


Figure 4. Illustration of streamlines (str_i) with points ($p_{i,j}$) along them

6. Calculation of the "arithmetic mean" streamline. According to Figure 4 and formula 7, for each value of density and distance between wells, the average depth of the streamlines is calculated:

$$\begin{aligned}
 str_i(p_{i,1}, p_{i,2} \dots p_{i,N_p}) &= f(U_x, U_y, U_z) \\
 p_{i,j}(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}) \\
 str_{av}(p_{av,1}, p_{av,2} \dots p_{av,N_p}) \\
 p_{av,j}(x_{av,j}, y_{av,j}, z_{av,j}) \\
 x_{av,j} &= x_{i,j} \\
 y_{av,j} &= y_{i,j} \\
 z_{av,j} &= \frac{z_{1,j} + z_{2,j} + \dots + z_{N_{str},j}}{N_{str}} \\
 i &= 1 \dots N_{str}, j = 1 \dots N_p
 \end{aligned} \tag{7}$$

7. Calculation of the deviation (decrease level - H_d) averaged over the depth of the streamlines (str_{av}) for density values (ρ_{inj}) 1010-1050 kg/m^3 from the "arithmetic average" over the depth of the streamlines (str_{av}) for the injected density (ρ_{inj}) 1000 kg/m^3 ;

8. Calculation of the maximum decrease level (H_{max}) for each density of the injected solution (ρ_{inj}) and distance between wells (R).

Results and discussions

The distribution of pressure and streamlines in the specified area for the density ($\rho_{inj}=1050 \text{ kg/m}^3$) of the injected solution is shown in Figure 5.

Due to the symmetry of the pressure and velocity fields, for qualitative and quantitative analysis, it is sufficient to consider the change in the average streamline in the area between the injection and production wells (as shown in Figure 6).

As can be seen from Figure 6, an increase in the density of the injected solution leads to a drop in the level of the streamlines under the action of gravitational forces. This effect leads to an increase in the time of development of the deposit, which affects the efficiency of production.

The dependence of the levels of "arithmetic average" streamlines (H_d) on the distance between wells for different values of the density of the injected mud is shown in Figure 7.

As can be seen from Figure 7, an increase in the density of the injected solution leads to an increase in the magnitude of the streamline drawdown level.

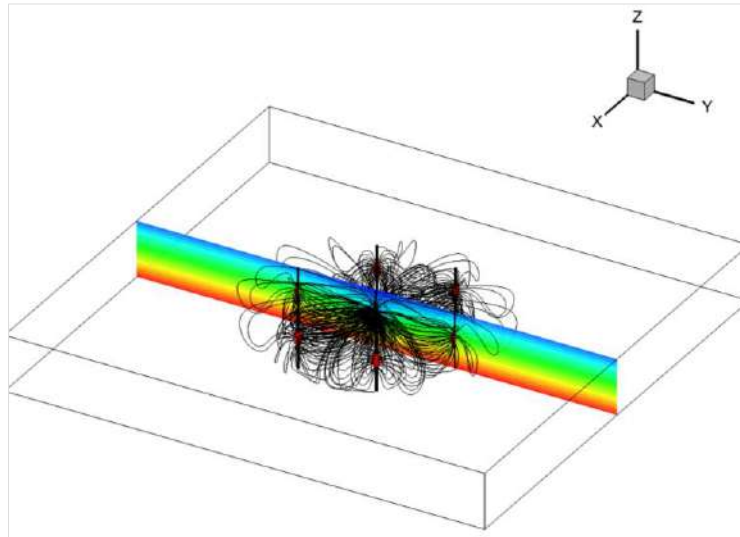


Figure 5. Distributions of pressure in the slice and streamlines for case when $\rho_{inj}=1050 \text{ kg/m}^3$

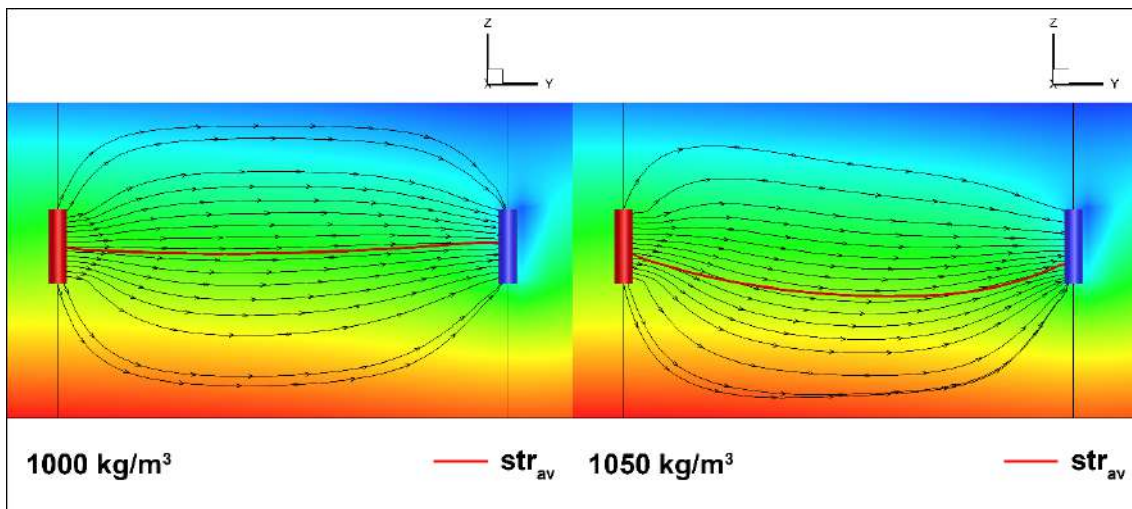


Figure 6. Distribution of streamlines and pressure along the shear between pumping and injection wells for values of 1000 kg/m^3 and 1050 kg/m^3

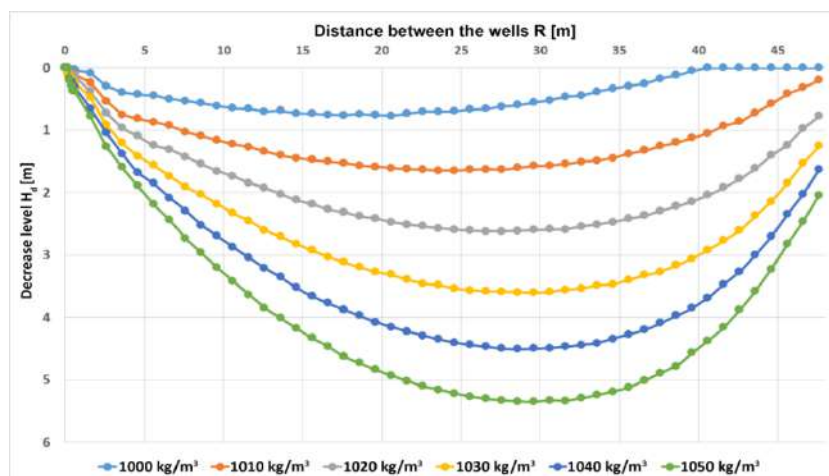


Figure 7. Dependence of the levels of "arithmetic average" streamlines (H_d) on the distance between wells for different values of the density of the injected solution (ρ_{inj})

A comparative analysis of the dependences of the maximum value of the decrease in the level of the average streamlines on the distance between the wells for various values of the fluid density is shown in Figure 8.

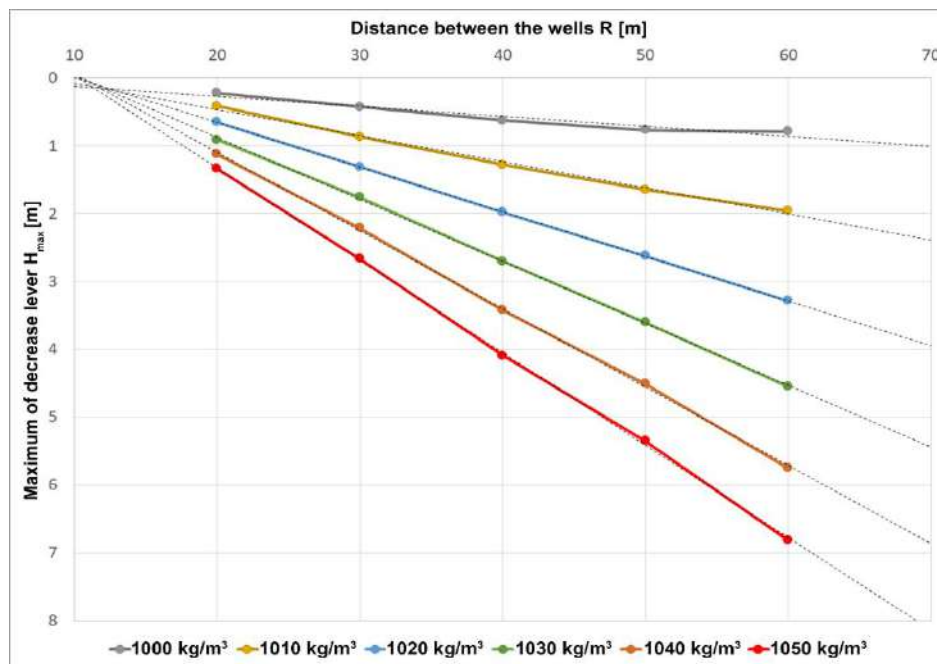


Figure 8. Dependence of the maximum depth of fall (H_{max}) on the distance between wells (R) at different densities of the injected solution (ρ_{inj})

As can be seen from Figure 8, the dependence of the change in the maxima of the drawdown levels on the distance between the wells for different values of the fluid density is linear. The level of decrease in the average streamline at a solution density of 1000 g/m^3 and a distance between wells of 60 meters does not exceed 1 meter, while at a solution density of 1050 g/m^3 .

Conclusion

Under the conditions of reservoir-infiltration deposits, where the thickness of the deposit is heterogeneous along the reservoir, the location of the well screens in height is one of the main tasks for increasing the efficiency of uranium mining by the ISL method. Depending on the thickness of the deposit, multi-layer screens or several closely spaced wells with different levels of screens are used.

In this paper, we studied the change in the depth of the flow drop at different values of the density of the solution, and also investigated the effect of the distance between the injection and production wells on the depth of the decrease in flow from the injection well at different values of the density of the solution.

To minimize the influence of reservoir filtration characteristics on the fluid flow in the rock, in this work, the porous medium under consideration was considered homogeneous and isotropic. The influence of the anisotropy of the medium on determining the effective location of wells is the task of the next work.

The paper shows that the gravitational effect increases with increasing density of the solution, which leads to the descent of the solution. An increase in the distance between the pumping and injection wells also leads to a decrease in the average streamline. Thus, when well screens are installed at the same level in height, the flow from the injection well is bent, part of the productive solution goes down beyond the operating area of the production well screen. This, in turn, leads to a decrease in the injectivity of the injection well, and, accordingly, the efficiency of field development decreases.

Taking into account all the above-mentioned main factors, in this work, the dependence of the change in the maximum depth of fall for various values of the density of the injected solution and the distance between the wells, which is linear, was established.

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of a grant financing project “Digital technology for the efficient positioning and management of technological wells for uranium extraction with In-Situ Leaching method” (AP08052470).

Список использованных источников:

- 1 МАГАТЭ. *Manual of acid in situ leach uranium mining technology*. – Вена: МАГАТЭ, 2001. – 283 с.
- 2 Поезжаев И.П., Полиновский К.Д., Горбатенко О.А. *Геотехнология урана. Учебное пособие*. - Алматы, 2017. – 327 с.
- 3 Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н. *Геотехнология урана на месторождениях Казахстана*. – Алматы, 2001. 444 с.
- 4 Трубецкой К. *Горное дело: Терминологический словарь*. Litres, 2018. – 638 с.
- 5 Aizhlov D.Y., Shayakhmetov N.M., Kaltayev A. *Quantitative model of the formation mechanism of the rollfront uranium deposits // Eurasian Chemico-Technological Journal*. – Almaty: КазНУ им. аль-Фараби, 2018. – С. 213-221. <https://doi.org/10.18321/ectj724>
- 6 Носков М.Д. *Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания: учебное пособие / М.Д. Носков*. Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2010. – 83 с.
- 7 Сергиенко И.А., Мосев А.Ф., и др. *Бурение и оборудование геотехнологических скважин*. - М: Недра, 1984. - 224 с.
- 8 Kurmanseit M.B., Tungatarova M.S. *Influence of gravity effect to the recovery rate at uranium in-situ leaching // Вестник НИА РК*. Алматы: НИА РК. С. 148-157.
- 9 Сидельников К.А., Лялин В.Е., Григорьев И.М. *Моделирование на базе методов трубок и линий тока // Вестник Удмуртского университета*. – 2012. – №2. – С. 109-119.
- 10 Batchelor G.K. *An Introduction to Fluid Dynamics*. – Cambridge University Press, 2000. – 615 с. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511800955>

References:

- 1 (2001) *Manual of acid in situ leach uranium mining technology*. 283 p.
- 2 Poeszhaev I.P., Polinovskij K.D., Gorbatenko O.A. (2017) *Geotehnologija urana. Uchebnoe posobie [Geotechnology of uranium. Tutorial]*. 327 p. (In Russian)
- 3 Yazikov V.G., Zabaznov V.L., Petrov N.N. (2001) *Geotehnologija urana na mestorozhdenijah Kazahstana [Geotechnology of uranium in the deposits of Kazakhstan]*. 444 p. (In Russian)
- 4 Trubeckoj K. (2018) *Gornoe delo: Terminologicheskij slovar' [Mining: Terminological dictionary]*. 638 p. (In Russian)
- 5 Aizhlov D.Y., Shayakhmetov N.M., Kaltayev A. (2018) *Quantitative model of the formation mechanism of the rollfront uranium deposits. Eurasian Chemico-Technological Journal*. 213-221. <https://doi.org/10.18321/ectj724>
- 6 Noskov, M.D. (2010) *Dobycha urana metodom skvazhinnogo podzemnogo vyshchelachivaniya: uchebnoye posobiye [Mining uranium by borehole in-situ leaching: a tutorial]*. 83 p. (In Russian)
- 7 Sergiyenko I.A., Mosev A.F. (1984) *Burenije i oborudovaniye geotekhnologicheskikh skvazhin [Drilling and equipment of geotechnological wells]*. 224 p. (In Russian)
- 8 Kurmanseit M.B., Tungatarova M.S. (2018) *Influence of gravity effect to the recovery rate at uranium in-situ leaching. Vestnik NIA RK*. 148-157.
- 9 Sidel'nikov K.A., Lyalin V.Ye., Grigor'yev I.M. (2012) *Modelirovanie na baze metodov trubok i linij toka [Modeling based on streamtube and streamline methods]*. *Vestnik Udmurt-skogo universiteta*. №2, 109-119. (In Russian)
- 10 Batchelor G.K. (2000) *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press. 615 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511800955>

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ
METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

МРНТИ 14.35.09
УДК 004. 378

<https://doi.org/10.51889/5710.2022.64.90.012>

Р.Е. Абдуалиева¹, С.М. Сеитова¹*

*¹Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған қ., Қазақстан
e-mail: rimaergaliyevna09@gmail.com

**МАТЕМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ АҚПАРАТТЫҚ ҚҰЗЫРЕТТІЛІГІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДА
КЕЙС ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУҒА ҚОЙЫЛАТЫН ТАЛАПТАР**

Аңдатпа

Мақалада мұғалімдердің ақпараттық құзыреттілегін дамытуға Кейс технологиясын қолдану мәселесі қарастырылған. Математика мұғалімдеріне ақпараттық коммуникациялық технологияларды игеру, жаратылыстану – ғылыми дүниетанымды қалыптастырып, оқу-танымдық қызметті жетілдіреді. Ол ғылыми-техникалық прогрестің жаңа жетістіктеріне бейімделуге қабілетті тұлғаны дамытуға ықпал етеді. Мақсаты: жаңартылған білім беру жүйесін тиімді қолдану арқылы математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттіліктерін қалыптастыру. Міндеттері: кейс технологиясының оқыту процесіндегі орны мен оны қолданудағы талаптарды анықтау; сипаттама беру.

Заманауи сұранысқа сай мұғалімнің құзыреттілігін дамытуда ақпараттық құзыреттілік оның құрамдас бөлігі. Мұғалімдердің ақпараттық құзыреттіліктерін қалыптастыруда, алдымен АКТ-ны қолданудың психологиялық-педагогикалық негіздерінің мәнін, мүмкіндіктері мен перспективаларын игереді. Оқыту процесінде, білім сапасын арттыруда технологияның өзіндік орны бар. Кейс технологиясын қолданудағы оқытушының іс-әрекеті: кейс таңдап алу және сұрақтар құрауға арналған шығармашылық жұмыс (жағдайларды тақырыпқа сәйкес таңдау, мақсат пен міндетті анықтау, жағдайды құрастыру және суреттеу); оқытушының аудиториядағы іс – әрекеті (кіріспе, жағдайдың талдануы, пікірталас, қортындылау). Кейс технологиясын қолдануға қойылатын талаптарды айқындауда эксперименттік жұмыстар жүргізіп қорытындысын тұжырымдадық.

Түйін сөздер: құзыреттілік, ақпараттандыру, технология, математика, кейс, жаңартылған білім беру, мұғалім.

Аннотация

Р.Е. Абдуалиева¹, С.М. Сеитова¹

¹ Жетісу университеті им.И.Жансүгірова, г.Талдықорған, Қазақстан

**ТРЕБОВАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ КЕЙС-ТЕХНОЛОГИИ В ФОРМИРОВАНИИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ УЧИТЕЛЕЙ МАТЕМАТИКИ**

В статье рассмотрен вопрос применения кейс технологий для развития информационной компетентности учителей. Овладение информационно-коммуникационными технологиями учителями математики, является формирование естественно - научного мировоззрения, совершенствование учебно-познавательной деятельности. Она способствует развитию личности, способной адаптироваться к новым достижениям научно-технического прогресса. Цель: формирование информационных компетенций учителей математики через эффективное использование обновленной системы образования. Задачи: определить место кейс-технологии в процессе обучения и требования к ее применению; дать характеристику.

Информационная компетентность является неотъемлемой частью развития компетентности учителя в соответствии с современными требованиями. При формировании информационных компетенций учителя, прежде всего, осваивают сущность, возможности и перспективы психолого-педагогических основ использования ИКТ. Технологии занимают особое место в процессе обучения, в повышении качества образования. Действия учителя при использовании кейс-технологии: творческая работа по подбору кейсов и вопросов (выбор ситуаций

по теме, определение целей и задач, оформление и описание ситуации); действия учителя на уроке (вступление, анализ ситуации, обсуждение, заключение). Была проведена экспериментальная работа по определению требований к применению кейс-технологии и сформулирован вывод.

Ключевые слова: компетенция, информатизация, технология, математика, кейс, обновленное образование, учитель.

Abstract

REQUIREMENTS FOR THE USE OF CASE TECHNOLOGY IN THE FORMATION OF INFORMATION COMPETENCE OF MATHEMATICS TEACHERS

Abdualiyeva R.E.¹, Seitova C.M.¹

¹Zhetysu University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan

The article considers the issue of using case technologies for the development of information competence of teachers. The mastery of information and communication technologies by mathematics teachers is the formation of a natural – scientific worldview, the improvement of educational and cognitive activity. It promotes the development of a personality capable of adapting to new achievements of scientific and technological progress. Purpose: formation of information competencies of mathematics teachers through the effective use of the updated education system. Tasks: to determine the place of the case technology in the learning process and the requirements for its application; to give a characteristic.

Information competence is an integral part of the development of a teacher's competence in accordance with modern requirements. When forming information competencies, teachers, first of all, master the essence, possibilities and prospects of the psychological and pedagogical foundations of the use of ICT. Technologies occupy a special place in the learning process, in improving the quality of education. Teacher's actions when using case technology: creative work on the selection of cases and questions (selection of situations on the topic, definition of goals and objectives, design and description of the situation); teacher's actions in the lesson (introduction, situation analysis, discussion, conclusion). Experimental work was carried out to determine the requirements for the use of case technology and a conclusion was formulated.

Keywords: competence, informatization, technology, mathematics, case study, updated education, teacher.

Кіріспе

21-ғасырда технологиялық революция келуімен, қоғамды ақпараттандыру процесі туындады. Заманауи сұранысқа сай тұлғаны дайындау үшін білім беру жүйесіне, мұғалімге қойылатын талаптар түбегейлі өзгерді десек қателеспейміз. Себебі, мұғалім жарқын, ерекше тұлға, жалпыадамзаттық құндылықтардың терең және әр түрлі білімнің, жоғары мәдениеттің иесі болатындай адам идеалын тәрбиелеуге міндетті. Ал мұғалімнің маңызды кәсіби құзыреттіліктері: еңбекқорлық, жұмысқа деген қабілеттілігі, тәртіптілік, табандылық, кәсіби деңгейін жүйелі түрде арттыру, өз жұмысының сапасын үнемі жақсартуға ұмылып отыруы. Олай болса, қазіргі уақытта мұғалімнің кәсіби құзыреттілігін қалыптастыруға зор талаптар қойылып отыр, ал ақпараттық құзыреттілік оның құрамдас бөлігі [1].

Математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттіліктерін қалыптастыру үшін олардан алдымен АКТ-ны қолданудың психологиялық- педагогикалық негіздерінің мәнін, мүмкіндіктері мен перспективаларын игеруі талап етіледі. Себебі математика мұғалімдері үшін ақпараттық коммуникациялық технологияларды игеруі, ол жаратылыстану – ғылыми дүниетанымды қалыптастыруға ықпал ететін, ой – өрісін кеңейтетін, оқу-танымдық қызметті жетілдіру үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын таным құралы болып саналады [2].

Математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттіліктерін қалыптастыруда жаңартылған білім беру жүйесіне негізделген кейс технологияларын білім беру саласында тиімді қолданылу мәселесін қарастыру өзекті. Кейс технологиясы (ағылшынның case – потрфель) оқытуға қажетті әдістемелік болып табылатын материалдары іске асыратын технологиялардың жалпы атауы. Сондықтан, алдымызға жаңартылған білім беру жүйесін тиімді қолдану арқылы математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттіліктерін қалыптастыруды мақсат етіп қойып, кейс технологиясының оқыту процесіндегі орны мен оны қолданудағы талаптарын анықтауды міндеттедік.

Ол үшін кейс технологиясын оқыту процесіне енгізуге байланысты шетелдің және отандық ғалымдардың жұмыстарын зерттеп сараптадық. Бұдан кейс технологиясының келесі дағдыларды қалыптастыратының айқындадық:

- аналитикалық дағдылар. (деректерді ақпараттан ажырата білу, жіктеу, маңызды және маңызды емес ақпаратты бөлу, талдау, оны ұсыну, ақпараттың жетіспеушілігін табу);
- практикалық дағдылар (теориялық білімді күнделікті практикалық тәжірибеде қолдана білу);

- шығармашылық дағдылар (шығармашылық өте маңызды, балама шешімдерді құру дағдылары);
- коммуникативтік дағдылар (пікірталас жүргізу, айналасындағыларға сендіру қабілеті);
- әлеуметтік дағдылар (бағалау адамдардың мінез-құлқы, тыңдау, пікірталаста қолдау немесе дәлелдеу);
- өзіндік талдау дағдылары (пікірталастағы келіспеушілік, басқалардың пікірлерін түсіну, талдау).

Оқытушылардың сабағына қатысу, әңгімелесу және өзіміз жүргізген дәрістер нәтижелерін талдап, кейс технологиясын математикалық пәндерді оқытуда қолдануға болатындығына көз жеткіздік. Осыған сай болашақ математика мұғалімдерін заманауи сұранысқа сай дайындау үшін кейс технологиясын математикалық пәндерді оқытуда қолдану үшін алдымен оған қойылатын талаптарды айқындаудың қажеттілігі туындады. Себебі, математикалық пәндерді оқыту процесінде талаптарға сай кейс технологиясын қолдану болашақ математика мұғалімдерінің кәсіби біліктілігін арттырады деген болжамымыз эксперимент нәтижесінде дәлелденді.

Зерттеу әдістері

Математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттіліктерін дамыту, оқыту және оларды қолданудың психологиялық-педагогикалық негіздерінің мәнін, мүмкіндіктері мен перспективаларын қарастыру үшін:

- *теориялық зерттеудің жалпы ғылыми әдістері*, яғни білім беру стандарттары, математикалық, психологиялық, педагогикалық және әдістемелік әдебиеттерді талдадық;
- *әлеуметтік зерттеу әдістері*, яғни мұғалімдер, оқытушылардың сабағына қатысу, әңгімелесу.
- *эмпирикалық зерттеу әдістері*, зерттеу болжамын растау үшін эксперимент жүргіздік.

XX-ғасырдың дәстүрлі білім беру жүйесі жаңа форматтарға ауысып, қазіргі таңда білім беру процесі әр түрлі технологияларға сүйене отырылып жүргізілуде, соның бірі Кейс технологиясы (case-study). Кейс технология – оқытушылардың дәстүрлі және қашықтықтан білім беруін қамтамасыз ету кезінде мәтіндік, аудиовизуалдық, мультимедиялық оқу-әдістемелік жиынтықтарды жинау және оларды пайдаланушылардың өз бетінше меңгеруіне негізделген [3].

Кейс технологиясы (ағылшынның case – потрфель) оқытуға қажетті әдістемелік болып табылатын материалдары іске асыратын технологиялардың жалпы атауы.

Кейс технологиясын пайдалану материалдарына мыналар:

- әдістемелік нұсқаулар;
- жұмыс дәптерлері;
- анықтамалар;
- оқу, аудио, бейне материалдар;
- бақылау және емтихан материалдары жатады.

Сонымен қатар Кейс технологиясын қолдануды бес кезеңге бөлуге болады, олар

- бірінші кезең – проблемамен танысу, оның ерекшелігін айқындау;
- екінші кезең – мәселені, оған әсер ететін факторлар мен объектілерді анықтау;
- үшінші кезең – ой доданы ұйымдастыру үшін тұжырымдаманы, ойларды ұсыну;
- төртінші кезең – шешім қабылдау алдындағы талдау жұмыстары;
- бесінші кезең – кейстің шешімі, бірнеше нұсқадағы шешім, шешімдерге байланысты

туындайтын мәселелерін зерттеу.

Математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттілігін қалыптастыру үшін қолданылатын Кейс технология материалдарына қойылатын талаптарына тоқталсақ. Біріншіден, әр мұғалімнің өзінің сабақ беру форматы, жеке, авторлық, педагогикалық-дидактикалық, тәрбиелік, әдістемелік жүйелерді құруға ынталандыратын, өздігінен дамуға көмектесетін шарттардың тұлғаға бағытталған жүйесі және әдістемелік нұсқаулары болады. Сондықтан бұл әдістемелік нұсқаулар жалпы, арнайы, нақты әдістемелер шарттарын қамтуы қажет [4]. Мұндағы:

- жалпы әдістеме - орта білім математикасының бүкіл курсына қарастырады және оқытудың идеология бағытын, оқыту мазмұны мен әдістерінің бірлігін, оқыту түрлерінің, әртүрлі математикалық курстардың (алгебра, геометрия, анализ бастамалары) арасындағы байланыстарды, сабақтастықтарды оқу процесіндегі тәрбие жұмысы элементтерінің тұтастығын қамтиды [5].

- арнайы әдістеме - білімгерлердің жасына оқу материалы мазмұнының ерекшеліктеріне сәйкес курсты оқытудың дербес мәселелерін қарастырады. Арнайы әдістеме белгілі-бір тақырыпты немесе

бағдарламаның бір тарауын оқытудың реті жайында нұсқау береді. Оқу құралдарын қалай қолдануға, білімгерлер өздігінен орындайтын жұмыстар мен жаттығуларға ұсыныс жасалынған барлық теория мен практиканы меңгеруі кіреді.

- нақты әдістемесі - жалпы әдістеменің жеке мәселелері мысалы, математика сабақтарында және сабақтан тыс жұмыстарда эстетикалық тәрбие беру белгілі-бір топтың математика сабақтарын жоспарлау;

Екінші – жұмыс дәптері. Математиканы оқытуда оқытушының және білімгерлердің жұмыс дәптерлерінде берілген есептің немесе алдыға қойылған мақсаттың, міндеттердің жүзеге асырылуы туралы мәліметтер болуы шарт, себебі жұмыс дәптері болмаған жағдайда адамның жұмыс істеу қабілеті және ынтасы төмен болады. Ұйымдастырушы адамда әрдайым нұсқаулық немесе құрылған жоспардың жұмыс дәптері болуы міндетті.

Үшінші - анықтамалар, математикалық ұғымдардың теориялық негіздері ретінде анықтамалар беріледі. Ұғым шындық дүниесін біржақты ғана бейнелемейді, объектілердің жалпы маңызын ашып көрсетеді, заттың елеулі қасиеттерін анықтаумен қатар, жалпы мен жалқының, нақты мен абстрактінің бірлігін, белгілі бір ғылым саласының даму нәтижесін, оның көп уақыт тырнақталып жиналған қорытындысын түйіндейді [6].

Анықтама қарастыратын объектінің, құбылыстың соған ғана тән ерекше қасиетін сипаттайды. Мысалы белгілі бір көпқабатты үйдің өзіне тән көптеген қасиеттері бар. Олар: биіктігі, ұзындығы, периметрі, аудан көлемі деген сияқты т.б. бөліктері бар. Анықтама - өте күрделі логикалық және гносеологиялық категория. Ол біріншіден, жоғарғы материяның жемісі; екіншіден, ол шындық дүниесін бейнелейді; үшіншіден, жалпылау құралы; төртіншіден, ұғымның қалыптасуы сөзбен, жазумен және белгілеулермен тығыз байланысты болады. Сонымен анықтама - ойлаудың жоғарғы түрі, шындық дүниесін сипаттайтын «қару» болып табылады [7].

Төртінші осы анықтамаларға сүйене отырып, білімгерлерге жүз пайыз білім беру - оқу, аудио, бейне материалдар арқылы жүзеге асырылады [8]. Математика сабақтарында мультимедиялық технологияларды қолданудың бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктері бар.

Артықшылықтары: ақпаратты ұсыну формаларын ұтымды ету үшін: білімгерлерге бір уақытта бірнеше түрден – мәтін, суреттер, дыбыс арқылы жеткізілетін ақпарат тиімді түрде қабылданады. Көптеген білімгерлер естігендерінің 15% және көргендерінің 25% есте сақтайды. Аудио және бейне ақпараттарды бір уақытта қолдану есте сақтау қабілетін 65% дейін арттырады.

Көрнекілік дәрежесін жоғарылату: мультимедияның негізгі бөлігі болып табылатын эффектілерді қолдана отырып, біз қалыпты жағдайда көре алмайтын немесе ести алмайтын нәрсені көрсете алу.

Жылдам кері байланыс алу:

мультимедиа интерактивтілігі көрсетілім ретін басқарады;

- экранның әртүрлі нүктелерінде пайда болатын кеңестер түрінде қосымша ақпарат алу;

- диалог жүргізу, бақылау сұрақтарын қою мүмкіндігі және т. б., бұл оқытушының жұмысын айтарлықтай модельдейді және білім алушылардың коммуникативтік қабілеттерін дамытуға ықпал етеді;

- студенттердің ғылыми және мәдени қызығушылықтары мен сұраныстарына жауап береді [9,10].

Талқылау

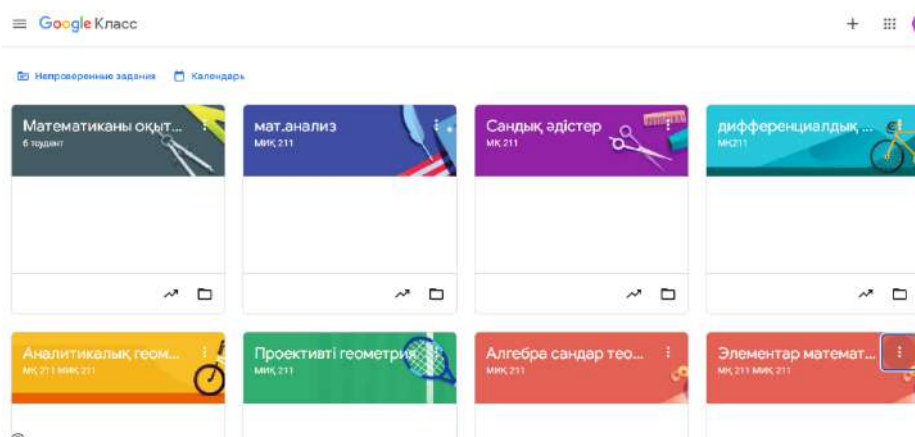
2020 жылдың наурыз айынан басталған пандемияға байланысты студенттер үйлерінен онлайн оқу форматтарына ауысқанда, ең үздік деген платформаларда және қосымшаларда осы кейстермен жұмыс істеу оқытушыларға да, білімгерлерге де оң әсерін беріп отырды және де бүгінгі күнге дейін беріп келеді. Бағалау мен қорытындылауда еш қиындық туындамады. Өз тәжірибемізде [googleclassroom.com](https://classroom.google.com), meet.google.com., [ZOOM](https://zoom.us), youtube.com., сияқты платформаларда жұмыс жасаған ыңғайлы әрі тиімді болды. Ашып айтқанда, [googleclassroom.com](https://classroom.google.com) сайтында жұмыс дәптері кейсін пайдаланса, [ZOOM](https://zoom.us) платформасында сабақты талқылау, өзара шешімдерімен бөлісу және де онлайн отырып бірін бірі бағалау сияқты жұмыстар жүргізілді.

Мысал ретінде [ZOOM](https://zoom.us) платформасында тек қана лектор ретінде, сабақ түсіндіруші және кері байланыс қана ала алатынсыз (1-сурет).



Сурет 1. ZOOM платформасында сабақ өту әдісі

Ал google classroom.com –дағы әр сабаққа арналған кейстерді көрсетіп өтейік (2-сурет).



Сурет 2. Google Classroom.com сайтындағы әр сабаққа арналған кейстер

Келесі көрсететін суретімізде ауызша кері байланыс - бұл білімгердің іс-әрекетін, оның жұмысының орындалуын бақылау нәтижелері бойынша білімгерге ауызша түсініктеме беру. Ауызша кері байланыс (оқытушының түсініктемесі) толық (егжей-тегжейлі) немесе қысқа (ашылмаған) болуы мүмкін. Түсіндірілмеген немесе қысқаша түсініктемелерді қолдану көбінесе оқытушының "өте жақсы", "жақсы", "дұрыс емес" деп бағалауын ғана қамтиды және білімгерге кеңес, ұсыныс, жұмыс бағытын бермейді. Қалыптастырушы бағалау мақсатына қол жеткізу үшін – тиімді кері байланыс ұсыну үшін егжей-тегжейлі түсініктемені пайдалану ұсынылады. Кері байланыс оқытушымен білімгерлерге өздерінің олқылықтарын көруге және оларды оқу процесінде ертерек түзетуге көмектеседі. Осылайша, алға жылжу қамтамасыз етіледі. "Бағдарламаланатын сауалнама" (3-сурет) кейсінде білімгер ұсынылған бірнеше жауаптың біреуін таңдайды (ауызша сауалнамада сирек қолданылады; түсініспеушілік түсінуге ауысатын пікірлер қақтығысын алудың жақсы мүмкіндігі).

Өзара бақылау және өзара тексеру - бұл бақылаудың ерекше түрі, себебі бұл жерде білімгерлердің жұмысты механикалық емес, бағалауды негіздеуі маңызды. Білімгердің бүкіл тобының жұмысы объективті бағаланғаны дұрыс. Сабақ жоспарына өзара тексеруді енгізбес бұрын, оқытушы білімгерлерге тексеру алгоритмдерін түсіндіруі керек. Мысалы, сіз білімгерлерден дәптерлермен алмасуды және бір-бірінен жаттығуды тексеруді сұрайсыз. Білімгерлер қателерді түзетіп қана қоймай, түзетуді негіздеуі керек – оны қолдану ережесі мен шарттарын түсіндіруі керек. Сол, сияқты осы аталған білім берудегі компьютерлік бағдарламалардың көмегімен, білімгерлер бағдарламаға толық түгел кіріп сабаққа арналған кілтті енгізіп кімнің қандай қателік жібергенін және де жұмыстарының толыққарқынды орындалғанын көре алды.

Сортировать по фамилии	Срок сдачи: Practical theme 13 из 100	Срок сдачи: Practical theme 12 из 100	Срок сдачи: 11 practice work из 100
Средняя оценка по классу			90
Айым Айткази			90
Мадина Навзканова			90
Сайлбек Сергазин			90
Айма Айтубекова			90
Baurzhen Bolet			90

Сурет 3. Google Classroom.com бағдарламаланатын сауалнамадан кейін бағалау сәті

Сондықтан алдымен оқытушымен бірге ұжымдық тексеру жүргізу ұсынылады. Яғни, бүкіл топ білімгерлерінің жауабын тыңдайды, содан кейін қателерді ұжымдық түзету жүзеге асырылады, түзетулердің негіздемесі айтылады. Осылайша білімгерлер іс-қимыл алгоритмін есте сақтап, бағалаудың объективтілігін үйренеді.

Кейс технологиясын қолданып сабақ беруде кездесетін кемшіліктер:

- көптеген білімгерлер мен оқытушылардың үйлерінде қолданыста компьютерлердің жоқ болуы;
- оқытушылардың компьютерлерді қолдана отырып сабаққа дайындалуға уақытының жеткіліксіздігі;
- оқытушының компьютерлік сауаттылығының жеткіліксіздігі;
- информатика оқытушысымен байланыстың болмауы;
- компьютерді сабақтың құрылымына біріктіру қиындығы;
- барлығына компьютерлік уақыттың жетіспейтіндігі;
- жұмысқа ынталандыру жеткіліксіз болған кезде білімгерлер көбінесе ойындарға, музыкаға, көптеген қосымшаларға (instagram, facebook, vk.com) және т. б. алаңдайды.

Дегенмен, аталған кемшіліктердің орнын ақпараттық және компьютерлік технологияларды білетін білікті маман тез еңсере алады. Математика пәні оқытушысы үшін АКТ-ы білім беру процесінің тиімділігін қамтамасыз ететін оқыту; жаратылыстану – ғылыми дүниетанымды қалыптастыруға ықпал ететін, ой – өрісін кеңейтетін, оқу-танымдық қызметті жетілдіру үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын таным; ғылыми-техникалық прогрестің жаңа жетістіктеріне бейімделуге қабілетті тұлғаны дамыту құралы болып табылады [10,11,12].

Нәтижелер

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университетінің «Математика», «Математика және информатика» мамандықтары білімгерлерімен жүргізілген «Элементар математика» курсының екі яғни «Рационал өрнектерді түрлендірудің дидактикалық негіздері. Бүтін сандардың бөлінгіштігі. Көпмүшені қалдықпен бөлу» және «Планиметрияның негізгі ұғымдары мен аксиомалары. Үшбұрыштың тамаша нүктелері мен сызықтары. Төртбұйыш, оның түрлері және негізгі қасиеттері» бөлімдері бойынша кейс технологиясын қолданып жүргізілген дәрістерге мысалдар.

1 мысал. Өмірдегі пайыздар

Проблема. Бұл шамамен үш жыл бұрын болған жағдай. Нұрлан ноутбукты 300 мың теңгеге несиеге алды. Ол екі жыл үш ай бойы айына 25000 теңге төлеп отырды, содан кейін кенеттен жұмысынан айрылды. Жұмыстан босатылғанға дейін жаңа телефон алуға жиналған біраз ақшасы болған (лайықты сома), бірақ, ол ақша жұмсалды. Ал, Нұрланға көмектесуге ата-аналарында да мүмкіндік жоқ. Туыстары басқа қалада және өздері жалақыдан жалақыға дейін деп өмір сүреді. Оның пәтер мен несиені төлеуге ақша таба алатын достары да болмады. Ол қайтадан жұмысқа орналасты, бірақ тағылымдамадан өтіп, жұмысқа тұрып, жалақы алғанға дейін екі айға жуық уақыт өтті. Жалақы алды. Енді несиені төлеуге болады. Дегенмен екі ай бойы төленбеген несиені кешіктіріп төлей береді екенмін

деп ойласа, бірақ әр бір төленбеген күніне банк айппұл салып, қарызы күнен күнге өскен. Банк құжатында төмендегідей мәселелер көрсетілген.

Несиенің жалпы мөлшері-300 000 мың теңге. Несие ноутбуктың ақысын төлеу үшін берілге. Несие алушы кредитті 2022 жылғы 1 қыркүйекке дейін өтеуге міндеттенген, көрсетілген мерзімде кредитті өтеуге қаражат түспеген жағдайда, несие бойынша берешек, пайыздарды қоса алғанда, мерзімі өткен несиелердің шотына енгізіледі және N шоттан есептен шығарылады. Калханов Н.Ж. 2022 жылы Еуразиялық банкке несиені пайдаланғаны үшін несие алушы жылдық 18 пайыз мөлшерінде төлем жасайды. Пайыздарды Банк ай сайын әр айдың 20-сынан кейін несие алушының есеп айырысу шотынан инкассалық тәртіппен есептейді және өндіріп алады. Пайыздарды есептеу мерзімін есептеу несие шотынан қаражат берілген күннен басталады және несие алушының несие шотына несиені өтеуге қаражат аударылған күнмен аяқталады. Келесі айдың 5-не дейін несие қарыз алушыдан тиесілі проценттерді өтеу үшін банк шотына қаражат түспеген жағдайда несие қарыз алушыдан тиесілі проценттер уақтылы төленбеген болып есептеледі. Өтеу мерзімі кредит бұзылған және проценттер төленген жағдайда банк мерзімі өткен әрбір күн үшін кредит берешегінің өтелмеген сомасының 5 проценті мөлшерінде айыппұл өндіріп алады. Осы проблемаға байланысты төмендегідей кейс тапсырмалары құрылды.

№1 тапсырма. Кейсте ұсынылған проблема және несие алуға байланысты құжаттармен танысу.

№2 тапсырма. Ұсынылған мағлұмат пен құжаттарды зерттеу. Мұндай жағдайдың пайда болу себептерін анықтаңыз.

№3 тапсырма. Барлық белгісіз терминдерді жазып, олардың мағынасын түсініңіз.

№4 тапсырма. Несие бойынша қарызды есептеңіз.

№5 тапсырма. Бұл берілген тапсырманың шешіміне өзіңіздің ұсынысыңызды айтыңыз. Шешім қабылданғаннан кейінгі мәселені талқылап, несие алғысы келгендерге кеңес беруді ойластыру.

№6 тапсырма. Білімгерлердің өз жұмысының нәтижелерін ұсынуы.

2 мысал. Орта шамаларды практикада қолдану

Білімгерлер төмендегідей кейс тапсырмаларын алады:

№1 тапсырма. Статистика дегеніміз не, ол қайда, қалай және қашан ғылым ретінде қалыптасты?

№2 тапсырма. Арифметикалық орта, геометриялық орта, гармоникалық орталарға анықтама беріңіз

№3 тапсырма. Мода, медиана, ауытқу, дисперсияны есептеуге мысал келтіріңіз.

Проблема: Берілген кейстің мазмұны білімгерлер бөлінген уақыт аралығында осы берілгенді оқып, танысып болғаннан кейін оқытушы негізгі кейс проблемасымен таныстырады, онда: токарьдың орнына екі жұмысшы келіп, оларға сынақ мерзімі бекітіледі, сол сынақ аралығында олар бірдей мөлшерде бөлшектер жасап шығулары қажет. Берілген жұмыстың нәтижелері 1- кестеде келтірілген.

Кесте 1. Жұмысшылардың бөлшектерді жасау көрсеткіші

Апта күні	Күндізгі өндіріс	
	1-ші жұмысшы	2 жұмысшы
дүйсенбі	52	61
сейсенбі	54	40
сәрсенбі	50	55
бейсенбі	48	50
жұма	46	44

Білімгерлерге қабылданатын үздік үміткерді таңдау ұсынылады. Мәселені шешу жоспары яғни кейс тапсырмалары ұсынылады:

№1 тапсырма. 1-ші жұмысшының күнделікті өндірісінің арифметикалық орта мәнін табыңыз (50).

№2 тапсырма. 2-ші жұмысшының күндік өндірісінің арифметикалық орта мәнін табыңыз (50).

№3 тапсырма. әр жұмысшы үшін орта деңгейден күнделікті ауытқуларды табыңыз (3, 4, - 1, -2, - 1- і жұмысшы үшін; 2, - 4, 3, - 1 – 2 жұмысшы үшін).

№4 тапсырма. Ауытқу квадраттарын табыңыз (9, 16, 1, 4,16 және 4, 16, 9, 1) – бірдей.

№5 тапсырма. Ауытқу квадраттарының арифметикалық ортасын табыңыз, яғни дисперсия - 9,2 бірінші жұмысшы үшін және екінші жұмысшы үшін 7,5.

№6 тапсырма. Шешім: екінші токарь біріншіден гөрі тұрақты жұмыс істейтіндігі қорытындылады.

3 мысал. Пифагор теоремасының көмегі

Пифагор теоремасын өмірлік жағдайда қолдануды көрсету. Проблема: бұл эпизод нақты тергеу тәжірибесінен алынған. Ұрлық туралы хабар алған тергеуші оқиға орнына келеді. Өтініш беруші қылмыскердің құндылықтар сақталған бөлмеге терезе арқылы кіргенін мәлімдейді. Тексеру барысында терезе тақтайының жерден 150 см қашықтықта екенін анықталды. Гимараттың қабырғасынан 200 см қашықтықта жер беті зақымдану белгілері жоқ тығыз өсінділермен жабылған. Тексеру кезінде баспалдақ сияқты техникалық құралдар табылған жоқ. Қылмыскер бөлмеге терезе арқылы кіріп, қандай да бір жолмен қашу үшін терезе тақтайының сыртқы жиегі арасындағы қашықтықты жүріп өтті деген болжам пайда болды. Ол Пифагор теоремасының көмегімен анықталады.

Тергеуші ұрлықтың болу жағдайының нұсқасын ұсынды.

Кейс тапсырмалары:

№1 тапсырма. Проблеманы талдаңыз.

№2 тапсырма. Пифагор теоремасын қолдану мүмкіндігін көрсететін сәттерді анықтаңыз.

№3 тапсырма. Тергеуші күдіктінің кінәсіздігі туралы нұсқаны қандай фактілерге сүйене отырып ұсынды? Өз жауабыңызды дәлелдеңіз.

№4 тапсырма. Пифагор теоремасының көмегімен күдіктінің кінәлі немесе кінәсіздігін дәлелдеңіз.

№5 тапсырма. Тергеушінің орнында қандай қорытынды шығарар едіңіз?

4 мысал. «Үшбұрыштардың ішкі бұрыштарының қосындысы»

Геометрия сабағында «Үшбұрыштардың ішкі бұрыштарының қосындысы» тақырыбын өткенде оқушыларға әртүрлі үшбұрыштар сызылған парақтар таратылды, осы үшбұрыштарды «бұрышты өлшеу» тақырыбын еске түсіре отырып өлшеп, барлық бұрыштарының қосындысын табу тапсырмасы берілді. Оқушылар практикалық жағдайда үшбұрыштың ішкі бұрыштарының қосындысы 180 градус екеніне көз жеткізеді. Ендігі тапсырма кейстер түрінде беріліп, олар теореманы тапсырмаларды орындай отырып өздіктерінен дәлелдейді.

№1 тапсырма. кез келген түзуге одан тыс нүкте арқылы параллель түзу жүргізуге бола ма, болса АВ түзуіне С нүктеден параллель жүргіз.

№2 тапсырма. осы жүргізілген түзу қай түзуге параллель болатынын жазып көрсет.

№3 тапсырма. егер АС қиюшы болса қиюшы қиғандағы бұрыштары туралы не айтуға болады?

№4 тапсырма. егер ВС қиюшы болса қиюшы қиғандағы бұрыштары туралы не айтуға болады?

№5 тапсырма. ішкі айқыш бұрыштар туралы не айтуға болады?

№6 тапсырма. қай бұрыштарды тең бұрыштар дейміз, неліктен?

№7 тапсырма. жазыңқы бұрыштың мәні неге тең?

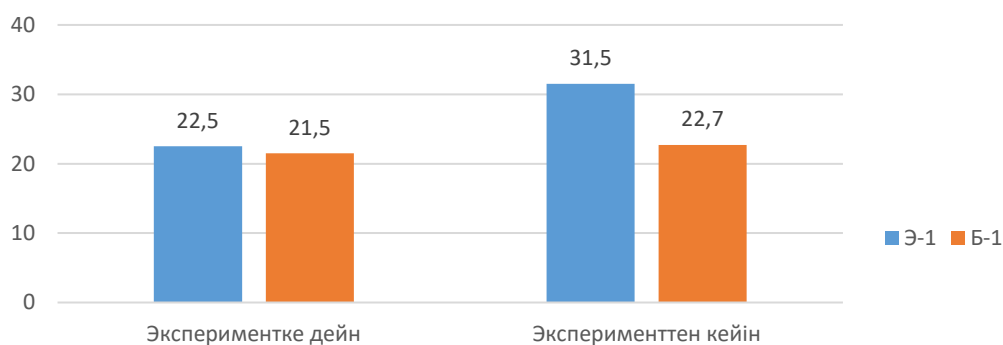
Жоғарыда көрсетілген мысалдардағыдай оқыту процесінде кейс технологиясын пайдаланудың тиімділігін эксперименттің нәтижесінен көруге болады. Экспериментке 21 білімгер қатысты.

Олар Э-1 және Б-1 топтары. Э-1 топтағылар математика сабақтарында кейс технологияларды пайдаланып оқығандар, Б-1 топтарындағы дәстүрлі университет бағдарламасының силлабусына сай оқыған топ.

Математика сабақтарында кейс-технологияны қолдану барысында білімгерлердің білім сапасының артуы математикалық пәндер бойынша аралық және жылдық бағалаудың нәтижелерінен алынды (2 кесте, 1-сурет).

Кесте 2. Жүргізілген эксперимент нәтижесі

Топтары	Экспериментке дейін	Эксперименттен кейін
Эксперименттік МҚ 211 (15) білімгер	22,5%	31,5%
Бақылау МИҚ 211 (6) білімгер	21,5%	22,7%



Сурет 1. Жүргізілген эксперимент нәтижесі

Диаграммада кейс технологиясының оқыту процесінде қолдану білімгерлердің білім сапасының кәсіби бағытта артқандығын сипатталған [11,12].

Қорытынды

Математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттілігін қалыптастыруда кейс технологиясын қолдануға қойылатын талаптарының аталған Кейс технологияның мәні - арнайы әзірленген оқу-әдістемелік материалдарды арнайы жинаққа яғни (кейс) жасау және де оларды білім алушыларға беру (жіберу) болып табылады. Мысалы математика сабағында кейс әдісін қолдану тек оқытумен ғана шектелмейді, бұл әдісті қолдану барысында білімгерлер зерттеуге және дәлелдеуге белсенді түрде қатыса алады. Сонымен қатар, білім және ізденіс мазмұнын біріктіру арқылы білімгердің біліми құзыреттілігін көтеруге болатындығы белгілі.

Әрбір кейс білім алушыларда өндірістік есептерді шешу алгоритмдерін өз бетінше құрастыру дағдыларын қалыптастыратын өндірістік жағдайлар негізінде әзірленген оқу-әдістемелік материалдардың толық жиынтығын білдіреді. Орындалған жобалардың нәтижелері, "түсінікті" болуы керек, яғни егер бұл теориялық мәселе болса, онда оның нақты шешімі, егер практикалық болса - қолдануға дайын нақты нәтиже (сабақта, нақты өмірде). Мысалы салыстырмалы түрде проблемалық жолмен есептерді шешуді алатын болсақ, проблемалық оқыту теориясы көптеген педагогтар еңбектерінде (Махмутов, Матнишкин, Оконь т.б.) зерттелді. Бұл теорияның ең басты ұғымдары «проблема» (оқулық) және «проблемалық жағдай» (ситуация) ұғымдары болып табылады. Проблемалық жағдай оқушыны жаңа білім алуға итермелейтін ойлау әрекетіне бастайды, оған жағдай туғызады [13, 14, 15].

Оқулықтарда математикалық есептер мынадай екі жағдайда проблемалық жағдайға душар етеді:

1) Егер оның шарты мен талабының арасына ойлау субъектісі болып саналатын оқушы адам т.а.

2) Ол адам бұл есепті қалай шешуді білмесе. Білімгерлерде проблемалық жағдай белгілі бір проблемалық жағдай қоюдың негізгі тәсілін көрсетуге болады.

Математика бжбілімгерлер үшін қиын сабақтың бірі, ал кейс стади әдісі интерактивті әдістің бір түрі ретінде оқушылар үшін өте тиімді әдіс болып саналады. Бұл әдістің көмегімен студенттердің өз беттерінше теорияны меңгере отырып, практикалық дағдыларға да үйренеді, сонымен қатар өз ойын жүзеге асыру мүмкіндігіне де ие болады. Білімгерлер ситуацияға талдау жасау арқылы болашақ маман ретінде қалыптасып, сабақты қызығып оқуға тырысады.

Менің ұсынып отырған әдістемем математика мұғалімдерінің ақпараттық құзыреттіліктерін кейс-технологиясын пайдала отырып жүзеге асыру жолдары қарастырылған. Білімгерлердің математика сабағында тек есептерді шығарып қана қоймай, теорема мен анықтамаларды талдап дәлелдеу арқылы ауызша сөйлеу дағдыларын қалыптастырады. Кейс-технология амал-тәсілін қолдану-қазіргі білім беру талабына оқушының сабаққа деген қызуғышылығын туғызатын жеке педогогикалық жаңа инновациялық жүйесі.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Фролов А. Л., Бекетова О. Н., Арифүллин М. В. Кейс-технология как прогрессивный и современный метод дистанционного обучения. // *Международный научно-исследовательский журнал. Педагогические науки*. 2021. № 3 (105). С. 84–89. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.105.3.075>
- 2 Голованова, Ю. В. Инновационный подход к обучению при использовании метода кейсов. // *Молодой ученый*. 2017. № 21 (155), С. 415–418. <https://moluch.ru/archive/155/43899/>.
- 3 Моргачева Н. В. Практика формирования методической компетентности будущего учителя естествознания средствами интерактивных технологий. // *European Social Science Journal*. 2018. № 8, С. 324–332.
- 4 Соловкина И. В., Деев М. Е. Особенности выпускной квалификационной работы по методике преподавания математики. // *Мир науки, культуры, образования*. 2021. № 6 (91), С. 54–57.
- 5 Сарванова Ж. А., Кочетова И. В., Кирсанова А. А. Современные образовательные технологии в формировании методической компетентности студентов-математиков педагогического вуза. // *Современные наукоемкие технологии*. 2021. № 6–2, С. 330–334.
- 6 Сидорина М. С., Чухачева Е. В. Роль кейс-технологий в подготовке будущих педагогов к овладению профессиональными компетенциями. // *Вестник Брянского государственного университета*. 2017. № 2 (32). С. 282–285.
- 7 Маклаева Э. В., Фёдорова С. В. Построение индивидуальной образовательной траектории на основе кейс-технологий. // *Начальная школа*. 2021. № 7. С. 20–24.
- 8 Ирсалимова С. М. Кейс-технология в образовательном процессе. // *Новая наука: Опыт, традиции, инновации*. 2017. № 4(3). С. 94–98.
- 9 Бакланова Н.А. Активные и интерактивные образовательные технологии в процессе подготовки учителя математики. // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. № 5. С. 62.
- 10 Дурноглазов Е. Е., Мордвинова Е. В. Использование кейс-технологии на уроках информатики для развития самостоятельной деятельности обучающихся. // *Педагогический поиск*. 2018. № 2. С. 17–19.
- 11 Осипова Л. А., Фомина А. В. Использование кейс-технологии в ходе формирования профессиональных компетенций будущих учителей. // *Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании*. 2021. № 1 (70). С. 31–33.
- 12 Куланов И.Б., Файзуллаев Ш.Э.У., Мардиев И.Р., Бурханова Ш.И.К. Применение кейс-метода в преподавании дискретной математики. // *Проблемы науки*. 2021. № 5 (64). С. 66–71.
- 13 Волик Т. Г., Спирина Е. В., Потапова Н. Н. Формирование экологической культуры обучающихся средствами кейс-технологии на уроках математики. // *Ульяновск*, 2020.
- 14 Кокарева З. А. Повышение профессиональной компетентности учителя на основе использования кейс-технологии. // *Источник*. 2019. № 4. С. 16–18.
- 15 Маркович О. С., Сергеев А. Н. Оценка эффективности применения кейс-технологии при обучении компьютерному моделированию будущих учителей информатики. // *Вестник Российского университета дружбы народов, Серия: Информатизация образования*. 2019. Т. 16. № 4. С. 351–364.

References:

- 1 Frolov A. L., Beketova O. N., Arifyllin M. V. (2021) Keis-tehnologiia kak progressivnyi i sovremennyi metod distantsionnogo obycheniia [Case technology as a progressive and modern method of distance learning]. *Mejdynarodnyi naychno-issledovatel'skii jyrnal, Pedagogicheskie nayki*. № 3 (105), 84–89. (In Russian) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.105.3.075>
- 2 Golovanova, Iy. V. (2017) Innovatsionnyi podhod k obycheniyy pri ispolzovanii metoda keisov [An innovative approach to learning using the case method]. *Molodoi ychenyi*. № 21 (155), 415–418. (In Russian) <https://moluch.ru/archive/155/43899/>.
- 3 Morgacheva N. V. (2018) Praktika formirovaniia metodicheskoi kompetentnosti bydyego ychitelia estestvoznaniia sredstvami interaktivnyh tehnologii [The practice of forming the methodological competence of a future natural science teacher by means of interactive technologies.]. *European Social Science Journal*. № 8, 324–332. (In Russian)
- 4 Solovkina I. V., Deev M. E. (2021) Osobennosti vypysknoi kvalifikatsionnoi raboty po metodike prepodavaniia matematiki [Features of the final qualifying work on the methodology of teaching mathematics.]. *Mir nayki, klytury, obrazovaniia*. № 6 (91), 54–57. (In Russian)
- 5 Sarvanova J. A., Kochetova I. V., Kirsanova A. A. (2021) Sovremennye obrazovatelnye tehnologii v formirovanii metodicheskoi kompetentnosti stydentov-matematikov pedagogicheskogo vyya [Modern educational technologies in the formation of methodological competence of students-mathematicians of a pedagogical university]. *Sovremennye naykoemkie tehnologii*. № 6–2, 330–334. (In Russian)
- 6 Sidorina M. S., Chyhacheva E. V. (2017) Rol keis-tehnologii v podgotovke bydyih pedagogov k ovladeniiy professionalnymi kompetentsiyami [The role of case technologies in preparing future teachers for mastering professional competencies]. *Vestnik Brianskogo gosydarstvennogo yniversiteta*. № 2 (32), 282–285. (In Russian)

- 7 Maklaeva E. V., Fëdorova S. V. (2021) *Postroenie individualnoi obrazovatelnoi traektorii na osnove keis-tehnologii [Building an individual educational trajectory based on case technology].* *Nachalnaia shkola.* № 7, 20–24. (In Russian)
- 8 Irsalimova S. M. (2017) *Keis-tehnologiiia v obrazovatelnom protsesse [Case technology in the educational process].* *Novaia nauka: Opyt, traditsii, innovatsii.* № 4(3), 94–98. (In Russian)
- 9 Baklanova N.A. (2020) *Aktivnye i interaktivnye obrazovatelnye tehnologii v protsesse podgotovki ýchitelia matematiki [Active and interactive educational technologies in the process of preparing a teacher of mathematics].* *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia.* № 5, 62. (In Russian)
- 10 Dýrnoglazov E. E., Mordvinova E. V. (2018) *Ispolzovanie keis-tehnologii na ýrokah informatiki dlia razvitiia samostoiatelnoi deiatelnosti obýchaiýhsia [The use of case technology in informatics lessons for the development of independent activities of students].* *Pedagogicheskii poisk.* № 2, 17–19. (In Russian)
- 11 Osipova L. A., Fomina A. V. (2021) *Ispolzovanie keis-tehnologii v hode formirovaniia professionalnyh kompetentsii býdýih ýchitelei [The use of case technology in the course of the formation of professional competencies of future teachers].* *Informatsionno-kommýnikatsionnye tehnologii v pedagogicheskom obrazovanii.* № 1 (70), 31–33. (In Russian)
- 12 Kýlanov I.B., Faizýllaev Sh.E.Ý., Mardiev I.R., Býrhanova Sh.I.K. (2021) *Primenenie keis-metoda v prepodavanii diskretnoi matematiki [Application of the case method in teaching discrete mathematics].* *Problemy nauki.* № 5 (64), 66–71. (In Russian)
- 13 Volik T. G., Spirina E. V., Potapova N. N. (2020) *Formirovanie ekologicheskoi kýltýry obýchaiýhsia sredstvami keis-tehnologii na ýrokah matematiki [Formation of ecological culture of students by means of case technology in mathematics lessons].* *Ýlianovsk.*
- 14 Kokareva Z. A. (2019) *Povyshenie professionalnoi kompetentnosti ýchitelia na osnove ispolzovaniia keis-tehnologii [Improving the professional competence of a teacher based on the use of case technology].* *Istochnik.* № 4, 16–18. (In Russian)
- 15 Markovich O. S., Sergeev A. N. (2019) *Otsenka effektivnosti primeneniia keis-tehnologii pri obýchenii kompiýternomy modelirovaniý býdýih ýchitelei informatiki [Evaluation of the effectiveness of the use of case technology in teaching computer modeling to future teachers of informatics].* *Vestnik Rossiiskogo ýniversiteta drýjby narodov, Seriiia: Informatizatsiia obrazovaniia.* № 4, 351–364. (In Russian)

МРНТИ 14.01.85
УДК 371.32

<https://doi.org/10.51889/9582.2022.49.45.013>

А.Е. Абылкасымова¹, С.Е. Каппасова^{1*}, Л.У. Жадраева¹

¹Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: eldisan@mail.ru

МЕКТЕП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДИСКУРСАР КӨМЕГІМЕН ДАМУ

Аңдатпа

Алгебра пәнінде оқушылардың оқу сауаттылығын математикалық дискурстар арқылы дамыту үшін «Екі жақты күнделікті» және концептуалды оқыту сабақтарына сәйкес тапсырмаларды қолдану біздің тәжірибемізде педагогикалық зерттеудің негізгі мақсаты болып табылады. Мұнда оқушылардың топта жүргізілген зерттеу нәтижелері - деректерді интерпретациялау, сұрақтар қою арқылы талдау – сәйкестендіру негізінде «Екі жақты күнделікті» тәсілі арқылы қорытынды тұжырым жасай алу жолдары қарастырылады. Зерттеу нысаны ретінде 7-ші сыныптың алгебра пәні алынды. Зерттеу жұмысы оқушыларға арнайы құрастырылған тапсырмаларды оқып, талдау арқылы ондағы шамалардың әртүрлі көріністерін сәйкестендіру, алынған сәйкестіктен қорытындылар жасауды қамтыды. Алгебра пәнінде оқушылар шынайы өмірден алынған тапсырмалардағы шамалар арасындағы тәуелділікті талдау, сәйкестендіру үшін математикалық заңдылықтарға сүйеніп, концептуалды түсінігін дамытады.

Түйін сөздер: алгебра, оқушы, функционалды сауаттылық, математикалық дискурс, екі жақты күнделікті, интерпретация, тапсырма, сәйкестендіру, эксперимент.

Аннотация

А.Е. Абылкасымова¹, С.Е. Каппасова¹, Л.У. Жадраева¹,

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

РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГРАМОТНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ДИСКУРСА

В нашей практике основной целью педагогического исследования является использование заданий в соответствии с уроками «двустороннего дневника» и концептуального обучения для развития математической грамотности, математической речи посредством математических дискурсов. Здесь рассматриваются результаты исследования с помощью подхода «двухстороннего дневника», проведенного учащимися в группе - интерпретация данных, анализ с заданием вопросов – на основе идентификации. В качестве объекта исследования взят предмет алгебры 7 класса. Исследовательская работа заключалась в чтении и анализе специально разработанных заданий для учащихся на сопоставление различных выражений величины, выводов из полученных совпадений. По предмету алгебра учащиеся развивают свое концептуальное понимание опираясь на математические законы анализа и сопоставления зависимости величин в задачах, взятых из реальной жизни.

Ключевые слова: алгебра, ученик, функциональная грамотность, математический дискурс, двусторонний дневник, интерпретация, задание, идентификация, эксперимент.

Abstract

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL LITERACY OF SCHOOLCHILDREN THROUGH DISCOURSES

Abylkassymova A.E.¹, Kappasova S.E.¹, Zhadrayeva L.U.¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

In our practice, the main goal of pedagogical research is the use of tasks in accordance with the lessons of the "two-way diary" and conceptual learning to develop the reading literacy of students in algebra in the mainstream school through mathematical discourses. Here, the results of the research conducted by students in a group - interpretation of data, analysis with asking questions - based on identification, using the "two-sided diary" approach, a conclusion can be drawn.

The subject of algebra in the 7th grade was taken as the objects of study. The research work included the study by students of tasks specially compiled in the group and their analysis by comparing various manifestations of the quantities contained in them, conclusions from the correspondences obtained. In algebra lessons, students develop a conceptual understanding, relying on the laws of natural science for analysis, identification of the relationship between quantities in tasks from real life, i.e., the development of interdisciplinary literacy is carried out.

Keywords: mathematics, student, functional literacy, mathematical discourse, two-sided diary, interpretation, assignment, identification, experiment.

Кіріспе

Математикалық сауаттылықтың дамуы жалпы оқушылардың сөйлеу мәдениетін дамытып, қазіргі қоғамда олардың тұлға ретінде ұтымды сөйлеу коммуникацияларын қалыптастыратыны көптеген зерттеуші ғалым-әдіскерлердің еңбектерінде атап көрсетілгендігі белгілі. Яғни, математикалық сауаттылық оқушыларға:

- математиканың өмірдегі орнын түсініп білуіне;
- әр түрлі формада берілген сандық ақпаратты оқы отыра талдау жасауына;
- есептерді шығарудың ыңғайлы тәсілдерін іздестіре отырып орындауына, оның нәтижесін тексере отырып, өмірмен байланыстыруына;
- математикалық білімін өмірлік жағдайларында кездесетін түрлі мәселелерді шешуде еркін қолдана алуына ықпал жасайды [1,2].

Математикалық сауаттылық – адамның өзі өмір сүріп жатқан әлемдегі математиканың рөлін анықтау және түсіну қабілеті, дәлелді математикалық пайымдаулар жасай алуы және математиканы қазіргі және болашақ қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін шығармашыл, мүдделі және ойлайтын азамат ретінде қолдана алу қабілеті. Сауаттылық термині мектеп бағдарламасында анықталған математикалық білім мен дағдыларды білу негізгі мақсаты емес екенін көрсету үшін қолданылады. Математикалық білімді әр түрлі жағдайларда қолдануға, рефлексия мен интуицияны қажет ететін әртүрлі тәсілдерді қолдануға басты назар аударылады. Ол үшін тек математикалық білім мен дағдылар ғана емес, көп жағдайда мектептегі басқа пәндердің әртүрлі тақырыптары мен бөлімдерінен білім мен дағдылар қажет. Орта мектепте жаратылыстану-математика бағытындағы пәндер бойынша оқу бағдарламасының мақсаттарында оқушылардың сауатты азамат болып қалыптасуы үшін ғылыми ақпараттарды қабылдау, түсіну, талдау және қорытындылау қабілетін дамытуды қамтамасыз ету керектігі көрсетілген. Себебі, ғылым табиғат құбылысын бақылауды, анықтауды, сызып жазу мен тәжірибе түрінде зерттеудің ғылыми әдістерін қолдануды және ғылыми тілді, әсіресе жазбаша тілді қолдануды қамтамасыз етеді. Бірыңғай негізгі мемлекеттік стандарттар жасөспірімдердің сауаттылығын арттыру үшін пәнаралық сауаттылыққа назар аударады [3]. Пәнаралық сауаттылық «математика, жаратылыстану және әлеуметтік ғылымдар сияқты пәндік салаларда енгізілген кеңейтілген оқу сауаттылығы» ретінде сипатталады. Пәнаралық сауаттылық – сұрақ қою, визуализация және қорытындылау сияқты кез келген пәнаралық сала үшін когнитивтік стратегияларды ұсынатын дәстүрлі мазмұндық сауаттылыққа басқа көзқарас. Концептуалды бөлік пәнаралық сауаттылықтың маңыздылығын көрсетеді [4].

Пәнаралық сауаттылық Education Research Complete, ERIC және PsycINFO зерттеулері бойынша мамандар арасындағы қарым-қатынас ретінде дискурс теориясына негізделген. Ойлауды меңгеру үшін ауызша немесе жазбаша тілді формальды меңгеру ретіндегі дискурс теориясының бастамасы Харристің (1952) «Дискурсты талдау» тезисіне дейін кездеседі. Соңғы алпыс жыл ішінде дискурс теориясы бірнеше академиялық салаларда лингвистика, әлеуметтік лингвистика, когнитивтік лингвистика, антропология, философия, әдебиеттану, пәнаралық мәдениеттану және әлеуметтік теорияларда қабылданды және нақтыланды. Пәнаралық сауаттылық көптеген зерттеулер бойынша мамандар арасындағы қарым-қатынас ретінде дискурс теориясына негізделген. Дискурс – ойлаудың нәтижесі ауызша немесе жазбаша тілге толық ауыстырылған, мағыналық және құрылымдық жағынан толық аяқталған сөйлеу шығармасының категориясы. [5].

Сфард бойынша, математикалық дискурс төрт мәтіндік сипаттамамен сипатталады: математикалық сөздер, нарративтер (баяндау), көрнекі медиаторлар және шаблон (рутина). *Математикалық сөздер* шамаларды, пішіндерді және амалдарды білдіреді. Математикалық сауаттылық нақты мәні бар терминдерді мұқият оқуды және қайта оқуды қамтиды. Математикада басқа пәндерге қарағанда бір бетте азырақ сөз болса да, түсіну үшін әрбір сөздің мағынасын толық ашу керек. Мысалы, аргументтермен негізделген сөйлемдерді байланыстыру үшін қолданылатын «сөз тіркестері немесе фразалар»

Сфардтың екінші дискурсивті ерекшелігі – *нарративтер (баяндау)* - нысанды немесе қатынасты сипаттайтын және ақиқат немесе жалған деп бағалауға болатын сөздер тізбегі. Әдетте, нарративтер анықтамаларды, дәлелдемелерді, теоремалар мен теорияларды қамтиды.

Сфардтың *көрнекі медиаторларының* үшінші ерекшелігі, әдетте, формулалар, диаграммалар, графиктер және сызбаларды қоса алғанда, дискурс үшін жасалған абстрактілі белгілердің кескіндері болып табылады. Көрнекі медиаторлар математикалық сауаттылықтың ажырамас бөлігі болып

табылады және «бар ойды жеткізуге немесе білдіруге арналған жай көмекші құрал» емес. Керісінше, олар қарым-қатынас актінің және осылайша, ойлау процестерінің құрамдас бөлігі ретінде қарастырылады» [6].

Математикалық дискурс қарым-қатынас пен әрекеттің нақты анықталған моделі ретінде *шаблонды* қамтиды. Кейбір бағдарламалар санаттауды, ұқсас процедуралары бар жағдайларды тануды, операциялық қасиеттерге негізделген есептеулерді және дедуктивті пайымдауды қамтиды. Шаблон дәлелдеу мен қолайлы аргументтерді анықтайды (Кесте 1).

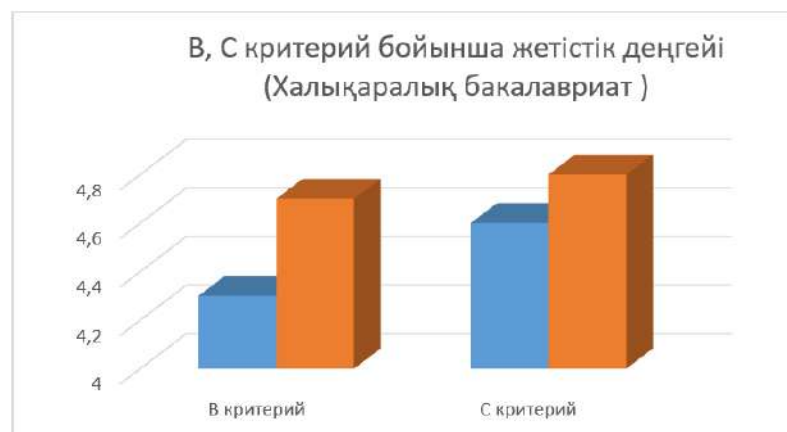
Кестеде математикалық сауаттылықты қалыптастыру үшін қолданылатын дискурстар мен оларды қолдануға қатысты ұсыныстар берілген.

Кесте 1. Математикалық дискурстар мен нұсқаулық ұсыныстар

Дискурстар	Нұсқаулық ұсыныстар
Математикалық сөздер	Терминдер мен командалық сөздерді меңгерту, тиянақтап оқу, анықтамаларды жазу, логикалық сөз тіркестерін меңгерту
Нарративтер (баяндау)	Мұқият оқу, тұжырымдарды тексеруге жаттықтыру, түсіндіру
Көрнекі медиаторлар	Ұғымдардың әртүрлі көріністерін талдау, қорытындылар, тұжырымдар құру
Шаблон (рутина)	Математикалық дәлелдеудің, заңдылықтардың әртүрлі деңгейлерін жаттықтыру

Әдіснама

Оқушылардан алынған сауалнамалардың қорытындысы бойынша «Мәтінді түсінуге не кедергі келтіреді?» (диаграмма 1) деген сұраққа оқушылардың 40% «Таныс емес терминдердің көп болуы» деп көрсетсе, «Графикті сипаттауда/тұжырымдауда туындайтын қиындықтар?» сұрағына оқушылардың көпшілігі «Қорытынды тұжырым жасау» деп жауап берген. «Деректерді түрлендіруге арналған формулаларды қолданудағы қиындықтар» сұрағына оқушылардың 40% «Айнымалылар арасындағы тәуелділік байланысты анықтау» деп таңдаған. «Кестедегі сандық деректерді сипаттауда пайда болатын кедергілер?» сұрағына оқушылардың 67% «Деректерден қажетті сәйкес формуланы құрастыру» деп жауап берген. Сауалнама қорытындысы оқушылардың термин сөздерді түсіну деңгейінің төмендігін, деректердің берілуінің әртүрлі формалары арасындағы байланысты анықтай алмайтындығын, академиялық тілді қолданып, қорытынды тұжырым жасау дағдыларының төмендігін көрсетті (1-сурет).



Сурет 1. Сауалнама қорытындысы.

Оқушылардың деректерді талдау, олардың әртүрлі көріністерін сәйкестендіру және солардың нәтижесінде қорытындылар жасау дағдыларын дамыту үшін МҮР бағдарламасындағы АТЛ дағдыларының (Middle Years Programme, Approaches to Learning,) «Зерттеу» және «Ойлау» категориялары ішінен оқушылардың жоғарыда көрсеткен қиындықтарын болдырмауға көмектесетін бірнеше дағдылар таңдап алынды. Оларды оқушы бойында қалыптастыру және дамыту үшін математикалық дискурстың қандай түрлерін қолдануға болатыны анықталды. Соларға қатысты

тапсырмалар түрлері қарастырылып әзірленді. Тандалған ATL дағдылары МҮР математика бағдарламасының қандай критерийлерінде (стрендтерінде) бағаланатыны анықталды (Кесте 2).

Кесте 2. ATL дағдылары мен дискурстың байланысы

ATL дағдылары (зерттеу дағдылары)	Математикалық дискурс	ХБ бойынша деңгейді бағалау критерийлері
1. Деректерді түсіндіру.	Терминдер, анықтамалар (математикалық сөздер) Логикалық сөз тіркестері (Нарративтер)	С критерий (i стренд) тиісті математикалық тілді дәйекті қолданады
2. Жөнді шешімдер мен талдаулар келтіру	Терминдер, анықтамалар (математикалық сөздер) Логикалық сөз тіркестері (Нарративтер)	С критерий (iv стренд) толық және дәйекті пайымдау желісімен тілдеседі;
3. Ақпаратты табу, түсіндіріп беру, пайымдау және құрастыру	Терминдер, анықтамалар (математикалық сөздер) Логикалық сөз тіркестері (Нарративтер)	С критерий (i стренд) тиісті математикалық тілді дәйекті қолданады В критерий (ii стренд) заңдылықтарды табылған нәтижемен сәйкес өзара қарым-қатынастар және/ немесе жалпы ережелер ретінде сипаттайды.
4. Ақпаратты әртүрлі форматта және платформада ұсыну.	Шынайы жағдайларда қолдану Деректерді әртүрлі формада ұсыну (көрнекі медиаторлар)	С критерий (iii стренд) математикалық көрсетудің әртүрлі формалары арасында тиімді ауысады;
5. Күрделі жүйелер мен сұрақтарды оқыту үшін модель мен моделдеуді қолдану.	Пәндер мен идеялар арасындағы байланыс Шынайы жағдайларда қолдану Деректерді әртүрлі формада ұсыну (көрнекі медиаторлар)	Д критерий (ii стренд) нақты өмірдегі жағдайды модельдеу үшін сәйкес математикалық стратегияларды таңдайды Д критерий (iii стренд) нақты өмірдегі есептің ақиқат шешіміне жету үшін таңдаған математикалық стратегияны қолданады
6. Сұрақтар мен идеяларды талдау және қорытындылау.	Математикалық сөзді қолдану Логикалық сөз тіркестері (Нарративтер)	В критерий (iii стренд) қатынастарды және/немесе жалпы ережелерді тексереді және негіздейді.
7. Мәселені анықтау үшін зейінді бақылау жасау	Сандар табиғатын ережеге негізделген жүйе ретінде түсіну (шаблон)	В критерий (ii стренд) заңдылықтарды табылған нәтижемен сәйкес өзара қарым-қатынастар және/ немесе жалпы ережелер ретінде сипаттайды.

Зерттеу барысында көрсетілген дағдыларды дамыту үшін концептуалды оқыту сабақтарының тапсырмаларын немесе оған ұқсас тапсырмаларды қолдану дискурстық талдауға көмектеседі деген MARS (Mathematics Assessment Resource Service) орталығының пікіріне тоқталдық. Әсіресе, «Сәйкестікті орнатуға» берілген тапсырмалардың математикалық дискурстың көрнекі медиаторлар (деректерді әртүрлі формада ұсыну) сипаттамаларын дамытудың бір жолы екені айқын. Себебі, мұнда оқушылар мәтінмен, графикпен, формуламен, кестемен, диаграммамен берілген бірдей ұғымдарды (шамаларды) талдау жасау арқылы сәйкестендіреді, неге сәйкес екенін түсіндіреді. Ал ұғымдарды (шамаларды) классификациялауға берілген тапсырмаларды орындауда оқушылар әртүрлі форматта жазылған деректерді топтарға біріктіру үшін талдау жасап, нәтижесінен ол топқа жататынын түсіндіреді және әрбір топқа сәйкес ортақ белгілерін тұжырымдайды. Сонымен қатар, оқушылардың жетістік деңгейін анықтауға берілген қалыптастырушы бағалау жұмысын «Екі жақты күнделік» түрінде жүргізу оқушылардың ойлау қадамдарын көруге, уақытында түзету жасауға мүмкіндік береді және дискурстың математикалық сөздер, нарративтер сияқты сипаттамаларын дамытуға мүмкіндік беретін болғандықтан, тәжірибеде қолданылды. «Екі жақты күнделік» тәсілі анықтамалар, теоремалар, ұғымдар туралы оқушының түсінік деңгейін анықтауға мүмкіндік беретін таптырмас құрал болды. Зерттеу барысында бұл тәсіл ең жиі қолданылған тәсіл болып табылды [7].

Математика сабағында зерттеу барысында оқушылардың талдау арқылы қорытынды жасау дағдыларын дамыту үшін қолданылған тапсырмалардың түрлері:

- «Екі жақты күнделік» – математикалық дискурстың математикалық сөздер, нарративтер сипаттамасын қолдану арқылы жүзеге асырылды,

- «Сәйкестікті орнату» тапсырмасы – математикалық дискурстың көрнекі медиаторлар сипаттамасын қолдану арқылы жүзеге асырылды, ол ұғым туралы концептуалды түсінік қалыптастыруға көмектеседі.

- «Классификациялау» тапсырмасы – математикалық дискурстың көрнекі медиаторлар сипаттамасын қолдану арқылы жүзеге асырылды,

Бұл тапсырмаларды орындау арқылы оқушылардың ұғымның анықтамасын, қасиеттерін түсіндіру, оларды әр түрлі көріністерде беру, сәйкестігін талдау, ортақ қасиеттері мен ерекшеліктерін тұжырымдау, қорытындылау дағдылары қалыптасады. Тапсырмалар өтілген тақырыптарға байланысты біртіндеп беріліп отырады. Бұл дағдыларды дамыту оқушылардың қорытынды бағалау жұмыстарының таңдалған критерийлері мен стрендтері бойынша жетістік деңгейін жоғарлатады деген болжам жасалды. «Сәйкестікті орнатуға» берілген тапсырмалардың математикалық дискурстың көрнекі медиаторлар (деректерді әртүрлі формада ұсыну) сипаттамаларын дамытудың бір жолы екені айқын. Себебі, мұнда оқушылар мәтінмен, графикпен, формуламен, кестемен, диаграммамен берілген бірдей ұғымдарды (шамаларды) талдау жасау арқылы сәйкестендіреді, неге сәйкес екенін түсіндіреді.

Оқушылардың терминдерді қолдануын дамыту және тексеру «Екі жақты күнделік» стратегиясы көмектеседі. Тапсырмаларда математикалық сөздер, сөз тіркестерін, терминдерді қолданып, анықтамалар құрастырады, заңдылықтардан қорытындылар тұжырымдай алады. «Екі жақты күнделік» стратегиясы жазбаша орындалатындықтан, оқушылардың жұмысына асықпай кері байланыс беру, бірнеше жұмыстарды салыстырып оқушының даму динамикасын бақылау, талдау мүмкіндігін береді.

Алынған нәтижелер оқушылардың білімі мен дағдыларын дискурстар сипаттамаларының көмегімен дамыту оқушылардың математикалық ұғымды терең түсінуіне көмектесетінін көрсетті. Ал «Екі жақты күнделік» әдісі оқушылардың есеп шығару дағдысын ғана емес, оның әрбір қадамда пайымдауын қадағалауға, сол арқылы оларға уақытында көмек көрсетуге, дамытуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Зерттеу нәтижесі

Оқушылардың жетістік деңгейлерін салыстыру үшін деректерді талдауда олардың бастапқы сауалнамадағы 40%-ның жауабы қиындық туғызатын мәселе терминдерге қатысты болғандықтан, оқушылардың терминдерді қолдануын дамыту және тексеру мақсатында «Екі жақты күнделік» стратегиясы көмегімен кері байланыстар жүргізілді (Кесте 3). Мұнда олар математикалық сөздер, сөз тіркестерін, терминдерді қолданып, анықтамалар құрастырды, заңдылықтардан қорытындылар тұжырымдады. Оқушылардың көрсеткен нәтижелері «жақсы», «орташа», «төмен» деп бағаланып, әрбір тексеру қорытындысы кестеге толтырылды. Бұл тексеру 6 рет жүргізіліп, орташа мәндері есептелді. Төменде оқушылардың ереже, анықтамаларды тұжырымдау, кейбір заңдылықтардан қорытынды жасау дағдыларын тексеруде математикалық терминдерді дұрыс қолдануына қатысты көрсеткен нәтижелері көрсетілген.

Кесте 3. Оқушылардың ережелерді тұжырымдау, қорытынды жасау дағдыларын тексеру нәтижесі

№	«жақсы»	«орташа»	«төмен»	күтілетін мән
1	2	3	5	4
2	1	5	4	4
3	2	5	3	4
4	3	4	3	4
5	3	4	3	4
6	2	6	2	4
Барлығы:	13	27	20	24

Деректерді талдау үшін оқушылардың мәтіндегі терминдерді түсіну, ережелерді, анықтамаларды тұжырымдауда терминдерді қолдануда кездесетін қиындықтар деңгейі зерттеуге дейінгі деңгеймен

(40%) салыстырғанда төмендеді деп күтіліп, «Хи квадрат тест» (Кесте 4) көмегімен осы күтілімнің растығы тексерілді. Төмендегі кестеден p айнымалысының мәні белгіленген маңыздылық деңгейінен (0,05) анағұрлым артық болғандықтан, біздің жасаған болжамымызды жоққа шығармаймыз, бұл оқушыларда терминдерге қатысты кездесетін қиындықтары төмендеді дегенді білдіреді [8].

Кесте 4. Зерттеу нәтижелерін математикалық-статистикалық талдау нәтижелері

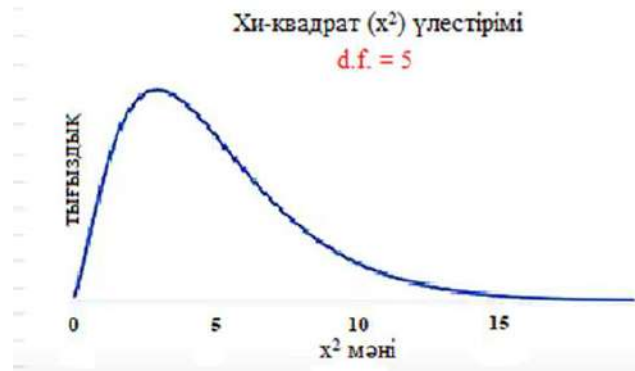
d.f.	5
χ^2	2
$\chi^2 (0,05;5)$	11,07049769
p value	0,849145036
χ^2 test	0,849145036

Зерттеу басталғанда оқушылардың үштен бірі көрсеткен «Графикті сипаттауда айнымалылар арасындағы тәуелділікті анықтау» мәселесін жетілдіру үшін «Сәйкестікті орнату», «Классификациялау» стратегиялары қолданылды. Мұнда оқушылар деректердің әртүрлі көріністерін талдады, сәйкестендірді, негіздеді. Оқушылардың деңгейін тексеру үшін осындай 3 түрлі тапсырма орындатылды. Оқушылардың бұл тапсырмаларды орындау барысы бейнетаспаға жазылып, оқушылардың сөйлеу дағдылары талданды (Сурет 1). Ықтималдық тығыздығының және әртүрлі еркіндік дәрежелері үшін χ^2 таралу функциясының графигі көрсетілген. Бастапқыда көптеген оқушылардың өз ойын толық мәтінмен айтпай, терминдерді қолданбай, вербальды емес қарым-қатынасты көбірек қолданғаны байқалды. Тіпті кейбір қабілеті жоғары деңгейдегі оқушылар ұғым туралы толық деректерді білседе, оны басқаға түсіндіруде қиындықтарға тап болғаны көрінді. Біртіндеп оқушылар математикалық тілді қолдана бастағаны байқалды. Өз пікірлерін ортаға салып талқылау математикалық стандарттардың маңызды құрамдас бөлігі болып табылғандықтан, олардың жетістік деңгейін бағалау үшін Кайзер мен Вилландердің математикалық сауаттылықтың бес деңгейі жүйесін қолдануды жөн көрдік. Олар:

- Бірінші деңгей – *сауатсыздық* – негізгі ұғымдар мен әдістерді білмеу.
- Екінші деңгей, *номиналдық сауаттылық*, онда оқушылар аты бойынша ұғымды түсінеді, бірақ қате түсінгендіктен оны шектеулі қолданады.
- Үшінші деңгей – *функционалдық сауаттылық*, онда оқушылар сөздік қор мен әдіс-тәсілдерді нақты жағдайда қолданады, бірақ басқа жағдайға тасымалдай алмайды және жалпы тұжырымдар жасай алмайды.
- Төртінші деңгей – *концептуалды немесе процедуралық сауаттылық*, онда оқушылар жалпылау жасайды. Ұғымдар мен процедуралар арасындағы байланысты түсіне алатын оқушылар әртүрлі функцияларды біріктіретін зерттеулер жүргізу үшін негізгі идеялар мен әдістерді пайдаланады.
- Иерархияның бесінші деңгейі – *көп өлшемді сауаттылық* - математиканы әлеуметтік, тарихи және философиялық өлшемдерде, соның ішінде математиканың қазіргі әлеуметтік мәселелерге қалай қолданылатынын контекстендіретін және әлемдегі заңдылықтарды сипаттау үшін табылған әдіс болып табылады.

Біздің ойымызша, зерттеу басында оқушылардың көпшілігінің математикалық сауаттылық деңгейі екінші деңгейде болса, зерттеу соңында кейбірі үшінші деңгей – функционалдық сауаттылық деңгейіне көтерілсе, кейбіреуі концептуалды сауаттылық деңгейіне көтерілді деуге болады. Себебі оқушылар сөйлеу барысында қарастырған терминдерді орынды пайдалана алды, деректердің әртүрлі көріністері арасындағы байланысты талдап, дұрыс сәйкестендірді, сәйкестіктерді қолданып, ұғымдардың қасиеттерін жалпылады.

Оқушылардың В (Заңдылықты зерттеу) мен С (Коммуникация, математикалық тіл) критерийлері бойынша соңғы екі бағалау жұмыстарының орташа ұпайы есептеліп салыстырылды. Төмендегі диаграммадан оқушылардың көрсеткіштерінде сәл жоғарылау барлығын байқайға болады. Диаграмма: Математика пәні бойынша бойынша қорытынды бағалау жұмысының нәтижесі (В және С критерийлері).



Сурет 2. Еркіндік дәрежелерінің әртүрлі саны үшін χ^2 (χ^2 - квадрат) үлестіріміндегі ықтималдық тығыздығының $q(x)$ тәуелділігі.

Қорытынды

Бұл мақалада оқушылардың математикалық терминдерді пайдаланып талдау, қорытынды жасау дағдыларын дамыту үшін математикалық дискурстың 4 түрлі сипаттамалары арқылы дамытуға қатысты тапсырмаларды қолданудың нәтижесі талқыланды. Мұнда математикалық сөз, нарративтерді дамытуға қатысты тапсырмалар «Екі жақты күнделік» стратегиясы арқылы берілсе, дискурстың көрнекі медиаторлар мен шаблон сипаттамаларын «Сәйкестікті орнату», «Классификациялау» тапсырмалары арқылы жүзеге асырылды.

«Екі жақты күнделік» стратегиясының зерттеу нәтижесін талқылаудағы, алынған нәтижелерден қорытынды жасаудағы ықпалы көп болды. Себебі бұл стратегия жазбаша орындалатындықтан, оқушылардың жұмысына асықпай кері байланыс беру, бірнеше жұмыстарды салыстырып оқушының даму динамикасын бақылау, талдау мүмкіндігін береді. Ал «Сәйкестікті орнату», «Классификациялау» тапсырмасына талдау жасауда оқушылардың топтағы жұмысын бейнетаспаға түсіру дұрыс шешім болды. Себебі бейнетаспаны бірнеше рет көру арқылы оқушылардың деректерді талдау дағдылары туралы қорытынды жасау мүмкін болды. Сол сияқты бұл әдіс оқушылардың топтағы жұмысын ұйымдастыруға, сабақтағы оқушылардың белсенділігін арттыруға және ұғымды концептуалды түсінуге көмектеседі. Алынған нәтижелер АТЛ дағдыларын дискурстар сипаттамаларының көмегімен дамыту оқушылардың математикалық ұғымды терең түсінуіне көмектесетінін көрсетті. Ал «Екі жақты күнделік» әдісі оқушылардың есеп шығару дағдысын ғана емес, оның әрбір қадамда пайымдауын қадағалауға, сол арқылы оларға уақытында көмек көрсетуге, дамытуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Зерттеу қорытындылары «Сәйкестікті орнату» (дискурстардың көрнекті медиаторлар сипаттамасы) түріндегі тапсырмалардың оқушылардың ұғымды концептуалды түсінуіне көмектесетіндіктен, математика пәнінің әрбір тарауына осындай тапсырмалар даярлау жоспарланды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Рыжак М.В., Седова Е.А., Абылкасымова А.Е. и др. Концепция функциональной грамотности школьников: математика и информатика. Монография. – Москва: Эдитус, 2016. – 220 с.
- 2 Сүйменбай Е.А. Мектеп оқушыларының математикадан функционалдық сауаттылығын арттыру. – Магистрлік диссертация. – Алматы: ҚазҰПУ, 2022. – 118 б.
- 3 Жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану пәнінен жаңартылған мазмұндағы оқу бағдарламасы. – Нұр-Сұлтан: БҒМ, 2016. – 26.
- 4 Петерсон Хаус, Малтхаус Авеню, Кардифф, Уэльс. Математическое руководство 2020, 7с.
- 5 Zhihui Fang and Youhua Wei. Improving Middle School Students' Science Literacy Through Reading Infusion Author(s): Source: The Journal of Educational Research , 2010, Vol. 103, No. 4 (2010), pp. 262-273 Published by: Taylor & Francis, Ltd. Stable URL: (<https://www.jstor.org/stable/20721589>)
- 6 Anna Sfard When the Rules of Discourse Change, but Nobody Tells You: Making Sense of Mathematics Learning From a Commognitive Standpoint Journal of the Learning Sciences Publication details, including instructions for authors and subscription information: 2018 p. 353-516 <http://www.tandfonline.com/loi/hlms20>
- 7 Shell Centre for Mathematical Education. MARS (Mathematics Assessment Resource Service) https://www.map.mathshell.org/pd/modules/2_Concept_Lessons/html/index.htm
- 8 Езенов Д.. Statanaliz.info. Критерий согласия Пирсона χ^2 (<https://statanaliz.info/statistica/proverka-gipotez/kriterij-soglasiya-pirsona-khi-kvadrat/>)

References:

- 1 Ryzhakov M. V., Sedova E. A., Abylkasymova A. E. and others. (2016) *Kontseptsia funktsionalnoi gramotnosti shkolnikov: matematika i informatika [The concept of functional literacy of schoolchildren: mathematics and computer science] Monograph. Moscow: Editus publ., 220. (In Russian)*
- 2 Suymenbay E. A. (2022) *Mektep okushylaryнын matematikadan funktsionaldyk sauatlylygyn arttyru [Improving the functional literacy of schoolchildren in mathematics]. Master's thesis. Almaty: KazNPU, 118. (In Kazakh)*
- 3 Zhalpy orta bilim beru dengeyinini zharatylystanu paninen zhanartylgan mazmundagy oku bagdarlamasy [Updated content of the curriculum in natural science at the level of general secondary education]. Nur-Sultan: MES, 2016. 2. (In Kazakh)
- 4 Peterson House, Malthouse Avenue, Cardiff, Wales. (2020) *Management of mathematics [Management of mathematics (Hyde)]., for use from September 2020/January 2021, 2020, page 7. (In Russian)*
- 5 Zhihui Fang and Youhua Wei. *Improving Middle School Students' Science Literacy Through Reading Infusion* Author(s): Source: *The Journal of Educational Research* (2010) Vol. 103, No. 4 (2010), pp. 262-273 Published by: Taylor & Francis, Ltd. Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/20721589>
- 6 Anna Sfard *When the Rules of Discourse Change, but Nobody Tells You: Making Sense of Mathematics Learning From a Commognitive Standpoint* *Journal of the Learning Sciences* Publication details, including instructions for authors and subscription information: <http://www.tandfonline.com/loi/hlms20>
- 7 Shell Centre for Mathematical Education. MARS (Mathematics Assessment Resource Service) (https://www.map.mathshell.org/pd/modules/2_Concept_Lessons/html/index.htm)
- 8 Yezepov D. *Statanaliz.info. Pearson's criterion of agreement χ^2 [Pearson's criterion of agreement χ^2] (<https://statanaliz.info/statistika/proverka-gipotez/kriterij-soglasiya-pirsona-khi-kvadrat/>). <https://vivanailshop.ru/kk/ballet-and-dance/kontrolnaya-rabota-raspredelenie-hi-kvadrat-i-ego-primeneniie/>*

МРНТИ 27.01.45
УДК 372.851

<https://doi.org/10.51889/3299.2022.43.83.014>

А.У. Бекбауова^{1*}, М.Ж. Талипова¹

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

*e-mail: mirra478@mail.ru

МАТЕМАТИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУДЕ ЖАҢА ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Мақалада үш тілде оқытылатын оқу топтарында Дифференциалдық теңдеулер пәнін оқытуда және жалпы білім беретін мектепте 8 сынып Алгебра пәнін оқытуда CLIL (Content and Language Integrated Learning) технологиясын қолдану қарастырылады. Қазіргі таңда Қазақстанның білім беру мекемелері мен жоғары оқу орындарында үштілділік жүйесіне көшу үшін білім беру жүйесін модернизациялау бағдарламасын белсенді жүзеге асыруда. CLIL оқыту технологиясы қосымша тілді үйренудің жаңа оқу бағдарламасы ретінде бүкіл әлемде танымал болуда. CLIL технологиясын қолдану білім алушылардың оқу ортасын жақсартады, оқу уақытын қысқартады, сонымен қатар оқыту тұжырымдамасын кеңірек және терең етеді. Мақалада дифференциалдық теңдеулерді үш тілді топтарда CLIL технологиясын дұрыс қолдану үшін атқарылатын жұмыстарға аса назар аударылып, студенттерге берілетін өзіндік жұмыстар түрлері ұсынылды. Математикалық білім беруде жаңа әдістердің бірі болып табылатын CLIL технологиясының тиімділігі мен кездесетін мәселелерді анықтау мақсатында Ақтөбе қаласының жалпы білім беретін мектептерінің мұғалімдері мен Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің бітіруші түлектері арасында сауалнама жүргізілді. Сауалнаманың нәтижесі талданып, мәселелер анықталды. Қорытындысында математикалық білім беруде жаңа әдістің оң нәтиже беретініне көз жеткізілді.

Түйін сөздер: CLIL технологиясы, математикалық білім беру, студенттердің өзіндік жұмысы, дифференциалдық теңдеулер, ментальды карта, құзіреттілік, кіріктіріп оқыту.

Аннотация

А.У. Бекбауова¹, М.Ж. Талипова¹

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

В статье рассматривается вопрос об использовании технологий CLIL (Content and Language Integrated Learning) в преподавании дисциплины «Дифференциальные уравнения» в трёхязычных группах и в преподавании предмета Алгебры 8 класса в общеобразовательных школах. В настоящее время образовательные учреждения и высшие учебные заведения Казахстана активно реализуют программу модернизации системы образования с переходом на трёхязычную систему. Технология обучения CLIL набирает популярность во всем мире как новая учебная программа для изучения дополнительного языка. Использование технологии CLIL улучшает среду обучения студентов, сокращает время обучения, а также делает концепцию обучения шире и глубже. В статье указаны примеры некоторых основных организационных работ для правильного применения технологий CLIL по дисциплине «Дифференциальные уравнения» для трёхязычных групп, приведены примеры самостоятельных работ для студентов. С целью определения эффективности CLIL - технологии, являющейся одним из новых методов в математическом образовании, был проведен опрос среди учителей общеобразовательных школ г. Актөбе, а также выпускников Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова и результаты опроса были проанализированы. В заключении выяснилось, что новая методика дает положительные результаты в математическом образовании.

Ключевые слова: технология CLIL, математическое образование, самостоятельная работа студентов, дифференциальные уравнения, ментальная карта, компетенность, интегрированное обучение.

Abstract

USE OF NEW METHODS IN MATHEMATICAL EDUCATION

Bekbauova A.U.¹, Talipova M.Zh.¹

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

The article discusses the use of CLIL (Content and Language Integrated Learning) technologies in teaching the discipline "Differential Equations" in trilingual groups and in teaching of Algebra of the 8th grade in secondary schools.

Currently, educational institutions and universities of Kazakhstan are actively implementing a program of modernization of the education system with transition to a trilingual system. CLIL learning technology is gaining popularity all over the world as a new curriculum for learning an additional language. The use of CLIL learning technology improves learning environment of students, reduces learning time, and also makes the learning concept broader and deeper. The article provides examples of some basic organizational work for the correct application of CLIL technologies in the discipline "Differential Equations" for trilingual groups, examples of independent work for students are given. In order to determine the effectiveness of CLIL technology, which is one of the new methods in mathematical education, a survey was conducted among teachers of secondary schools in Aktobe, as well as graduates of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov and the results of the survey were analyzed. In conclusion, it turned out that the new technique gives positive results in mathematical education.

Keywords: CLIL technology, mathematical education, differential equations, independent work of students, mental map, competence, integrated learning.

Кіріспе

Дәстүрлі тамыз конференциясында Қазақстан Республикасының Президенті Қасым-Жомарт Тоқаев: «Білім беру жүйесі ізденісте болуы, үнемі дамуы тиіс. Сондықтан басты үміт жаңа және прогрессивті барлық нәрсеге ашық ұрпақты тәрбиелеуге қабілетті мұғалімдерге жүктеледі», – деп өскелең ұрпақты тәрбиелеудегі негізгі идеяны атап өтті [1].

Математикалық білім беруді жетілдіру, пәнге деген қызығушылықты арттыру, білімнің сапалық жағы әр баспалдақтың бір буынының білімімен тығыз байланыс орната отырып, оқытудың сапасын күшейтудің жолдарын іздеп табуға тырысу, білім алушыларға математика пәні бойынша жүйеленген білімді жеткізу, олардың өз бетімен үйренген білім деңгейін өмірлерінде саналы түрде пайдалана білуіне және де әрі қарай дамытуына жетелеу қазіргі ең өзекті мәселелердің бірі.

Д.Марш енгізген анықтамада CLIL термині (Content and Language Integrated Learning) «Пәндік тілдік интеграцияланған оқытудың әртүрлі екі пән білімі бойынша мәнмәтінге негізделген, ол жерде оқытудың тілі негізінде пайдаланылатын екінші тілі, негізгісі емес» деп берілген [2].

Шетелдік мамандар даярлау практикаларына сүйенсек, бұл технологияның оқу процесіне қолдануына көп көңіл бөлінеді [3-6].

Do Соyle пайымдауынша әдістемелік көзқарас бойынша мазмұндық компонент - контент жүйелікқұраушы болып табылады [7-8]. Оқытушы тікелей тіл маманы болмағандықтан, білім алушыға тілдік мүмкіндігінше пәндік мазмұнды береді.

Еуропа елдерінде CLIL-дың әдістеме бойынша тәсілдерінің маңызды сипаттарын анықтағанда 5 түрлі маңызды аспектілері (мәдениет, әлеумет, тілдік, пәндік, оқыту) ерекшеленеді. Бес түрлі аспектінің әр қайсысы оқушылардың жас ерекшелігіне, әлеуметті клингвистикалы орталарына және CLIL-ды меңгерудің дәрежелеріне орай түрлі деңгейде жүзеге асырылып отырады. Сонымен қатар CLIL-технологиясының үш түрлі моделі анықталған:

- soft (жұмсақ) CLIL, language-led, ол жерде арнайыланған мәнмәтіндердің лингвистикалы ерекшелігіне мән беріледі;
- hard (қатты) CLIL не subject-led, мұнда пәннің 50 пайызы ағылшын тілінде оқытылады;
- үшінші модель аталып отырған модельдің аралығында орташа дәрежелерге ие болады және кей пәндеріміз шетел тілдерінде оқытылу барысында пайдаланады (partial immersion).

Ресей жоғары оқу орындарында пәнаралық интеграциялаудың төрт классификациясы келтіріледі [9-10].

Қазақстандық үш тілділік моделі мен CLIL технологиясының мүмкіндіктері ғалымдардың жұмыстарында зерттелген [11-15]. CLIL технологиясын жоғары оқу орнында көптілді оқу топтарында және орта білім беретін мектепте математикалық білім беруде қолданудың маңызына тоқталайық.

Материалдар мен әдістер

Қ. Жұбанов атындағы АӨУ *жаратылыстану бағытында үш тілде оқытылатын оқу топтарында дифференциалдық теңдеулер пәнін оқытуда CLIL технологиясы қолданылды.*

Дифференциалдық теңдеулер пәнінде CLIL технологиясын қолдану кезінде төмендегі жұмыстар атқарылды:

1. Білім алушылардың тіл білу деңгейін анықтау. Университетке қабылданған I курс студенттері үшін ағылшын тілін білу деңгейі ұйымдастыру аптасында алғашқы тестілеу нәтижесінде анықталған болатын (1 кесте). Сол анықтау нәтижесі ескеріліп, топтар бойынша талданды.

Кесте 1. Алғашқы тест нәтижесі

	Жоғары	Орта	Төмен
Студент саны	1	10	10

2. Топты эксперименттік және бақылау топтарына бөлу. Дифференциалдық теңдеулер пәні өткізілетін екі топ анықталды. Эксперименттік топқа – 11 студент, бақылаушы топқа – 10 студент анықталды.

3. Студенттерге кейс тапсырмалар берілді.

Кейс тапсырмаларын орындауда студенттердің ағылшынша оқуы, тапсырманың негізгі проблемасын талдауы мен ойлауы, шешу жолдарын іздеуі, аударма жасауы, үш тілде аннотация дайындауы, презентация дайындауы бағаланады. Дифференциалдық теңдеулер пәнін оқытуда, СӨЖ ұйымдастыруда аталған технологияның элементтері қолданды, оларға:

- Есеп мәтінін үш тілге аударып шығару;
- Негізгі кілт сөздерді ерекшелену;
- Mind-map байланыстар картасын жасау;
- Үш тілде сұрақтар дайындау;
- Үш тілде аннотация дайындау;
- Тақырыптар бойынша презентация дайындап, ағылшын тілінде қорғау.

4. Эксперименттік топтан семестр аяғында шығу тест қабылданды.

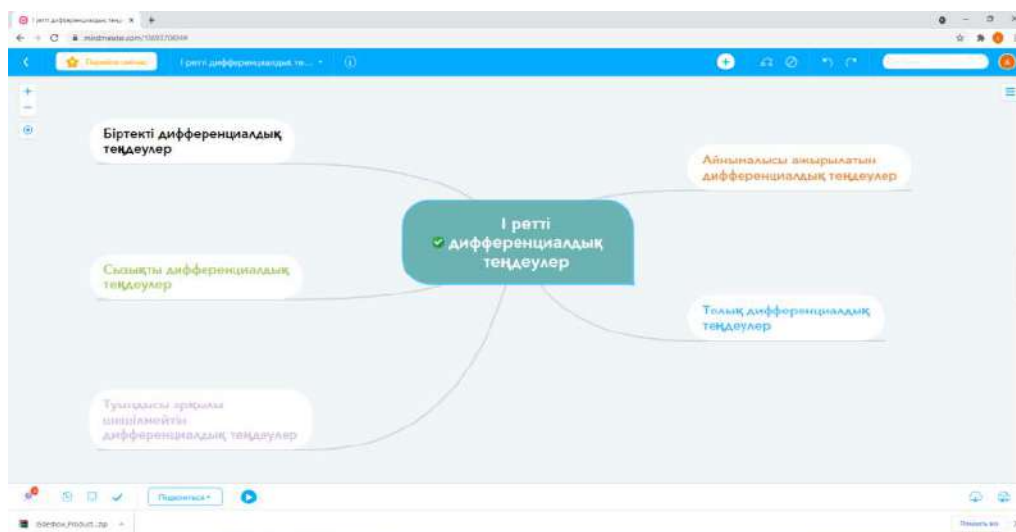
Кесте 2. Эксперименттік топтың шығу тесттің нәтижесі

	Жоғары	Орта	Төмен
Студент саны	8	2	1

5. Өткізілген 10 тақырыптардың қысқа мерзімді жоспарлары жасақталды.

6. Оқу үдерісіндегі студенттердің өзіндік жұмысын ұйымдастыруда CLIL технологиясын қолдану, олардың мәдениетін жоғарылатады, шығармашылығын арттырады, танымдық іс-әрекеттерін, бақылау дағдыларын, талдау қабілеттерін дамытады. Сонымен қатар Mind-map байланыстар картасын жасау арқылы студенттер тақырыпты терең түсінуі, іскерлік пен дағдысының арттыруы, ағылшын тілінде дифференциалдық теңдеулердің айтылуын есте сақтайды, ақпараттық технологиялармен жұмыс жасау қабілеті артады, цифрлық сауаттылығы жоғарылайды.

CLIL технологиясымен дайындалған Студенттердің өзіндік жұмысы (СӨЖ) мысалдары ретінде «Бірінші ретті дифференциалдық теңдеулер» тақырыбы бойынша Mind-map байланыстар картасы үш тілде жасақталды, оның қазақ тілінде жасақталған нұсқасы келтірілген. (1 сурет)



Сурет 1. Ментальды карта мысалы (Дереккөз: құрастырушы авторлардың өздері)

CLIL технологиясын қолдана отыра дифференциалдық теңдеулердің ментальды картасын әзірлеу, алған білімді терең түсінудің, студенттердің өзіндік жұмысының нәтижелі құралы, қазіргі уақытта танымал әрі сұранысқа ие ойлау визуализациясы болып табылады. Сонымен қатар математикалық терминдердің сөздігі құрастырылды (2 сурет).

Дифференциалдық теңдеу	дифференциальное уравнение	differential equation
Интегралдау	интегрировать	integrate
Теңдеудің реті	порядок уравнения	order of the equation
Теңдеудің шешімі	решение уравнения	solution
Интегралдық қисығы	Интегральная кривая	The integral curve

Сурет 2. Сөздік (Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

Пәнді CLIL технологиясы арқылы оқыту кезінде мәдениеттер арасындағы қарым-қатынас дағдысын дамыту бойынша, өзге елдер, халықтар мәдениеттерінің ерекшелігін анықтау мен түсіну, мәдениетаралық құзіреттілікті қалыптастыру жұмыстарына да көңіл аударылды, білім алушылар жоба тапсырмалар мен топтық жұмыстарды орындағанда өзара сыйластық, басқа адамның көзқарасын тыңдай білумен қатар, өзге елдің мәдениетіндегі айырмашылықтарға көңіл бөлу қажеттігі ескерілді. Осы орайда «Recognition of meaning» тәсілімен суреттер көрсетіп, жаңа сөз қалыптастыру, олардың үш тілде дұрыс айтылуы мен жазылуына көңіл аудару, «Джигсо» әдісін пайдаланып, бірлесе жұмыс жасауға, бір-бірімен ой бөлісуге, ортада өзін ұстау мәдениетіне тәрбиелеу, «I'm not mistaken» әдісі арқылы, ауызша мадақтау сөздерді атап, олардың орыс пен ағылшын тілінде айтылуы мен қолданылуын білуге тапсырмалар берілді.

Сонымен қатар тәжірибелік жұмыстар «Ақбөбек» білім беру орталығында өткізілді. Аталған білім беру орталығында 8 сынып алгебра пәнінен нақты сандар, квадрат түбір, арифметикалық квадрат түбірдің қасиеттері, бөлшектің бөлімін иррационалдықтан арылту, құрамында квадрат түбірі бар өрнектерді түрлендіру, нақты сандарды салыстыру, $y = \sqrt{x}$ функциясы, оның қасиеттері мен графигі, квадрат теңдеу, квадрат теңдеулерді шешу, Виет теоремасы тақырыптарында өткен кіріктірілген 10 сабақтың жоспарлары жасақталып, сабақтар өткізілді. Сабақтар өткізу барысында, жаңа ұғымдардың үш тілде аталуы, мысалы, математикалық диктант орындағанда негізгі математикалық ұғымдардың атауын, қазақ, орыс, ағылшын тілінде жазылуы талап етілді. Оқушылардың оқу үлгерімдері салыстырылып, қорытынды жасалынып отырды.

Тәжірибелік жұмыстар ретінде, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің физика-математика факультетінің математика мамандығының бітіруші түлектері мен Ақтөбе қаласының мектеп мұғалімдеріне сауалнама алынды, сауалнамаға 113 респондент қатысты, сауалнама нәтижесіне талдау жасалды.

Нәтижелер мен талқылау

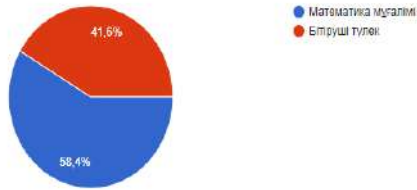
CLIL технологиясын қолдану білім алушылардың оқу ортасын жақсартады, оқу уақытын қысқартады, сонымен қатар оқыту тұжырымдамасын кеңірек және терең етеді. Барлық артықшылықтарына қарамастан, CLIL технологиясын қолданудың қиындықтары да болуы мүмкін. Осы тақырыптың күрделілігін ескере отырып, Қазақстанда CLIL оқыту технологиясын енгізу қаншалықты тиімді жүзеге асырылып жатқандығы туралы түсінік қалыптастырудың бөлшегінің бірі математикалық пәндерде оқытуда CLIL технологиясын енгізу тиімділігі туралы 113 респонденттердің сауалнамасының нәтижелері келтірілген. Сауалнама әлеуметтік нысандарда Google Forms платформасы негізінде Whatsapp және Telegram қосымшалары арқылы жүргізілді. Сауалнама 6 негізгі сұрақ және бір ақпараттық сұрақтан тұрады. Қатысқан респонденттер бітіруші түлектер мен математика мұғалімдері.

Сауалнама нәтижесін талдау.

Сауалнамаға қатысқан респонденттердің 41,6% математика мамандығының бітіруші түлектері, 58,4% Ақтөбе қаласының жалпы білім беретін мектептерінің математика мұғалімдері.

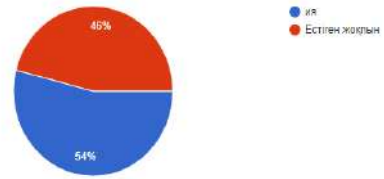
CLIL технологиясы туралы арнайы біліктілік арттыру курсынан өттіңіз бе деген сұраққа 54% – ия деп жауап берсе, 46% бұл технология туралы мүлдем ақпарат білмейтіндігін атап өткен (сурет 3-5).

Қызметіңіз
113 отбөтө



Сурет 3. «Сіздің қызметіңіз?»
(Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

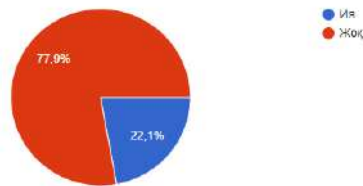
CLIL технологиясы туралы білесіз бе?
113 отбөтө



Сурет 4. «CLIL технологиясы туралы білесіз бе?»
(Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

2017 жылдан бастап, CLIL технологиясын қолдану туралы арнайы курстар жаратылыстану ғылымдары, соның ішінде биология, химия, физика, информатика пәндерінің мұғалімдеріне арналды. Сонымен қатар, үштілділікке өту кезінде «Биология», «Химия», «Физика», «Информатика» пәндері қамтылды. Математика пәнінен үштілділік соңғы жылдары қосылғандықтан, арнайы курстардан өтушілердің аздығы осымен түсіндіріледі. CLIL технологиясы туралы арнайы курстар университеттің үздіксіз білім беру институты арқылы және де мектеп мұғалімдері үшін «Өрлеу» біліктілікті арттыру ұлттық орталығы АҚ филиалы», Ақтөбе облысы бойынша педагогикалық қызметкерлердің біліктілігін арттыру институтында өткізіліп отырады, дегенмен де респонденттердің 77,9% үшін арнайы курстардың қажеттігі айқындалды (5-сурет).

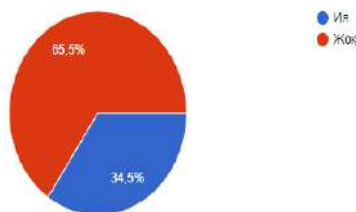
113 отбөтө



Сурет 5. «CLIL технологиясы туралы арнайы біліктілік арттыру курсынан өттіңіз бе?»
(Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

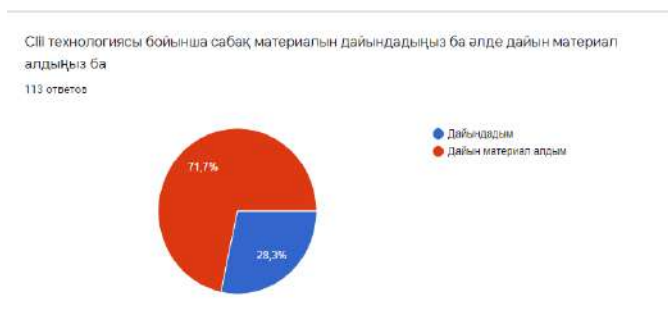
Респонденттердің 65,5% аталған технологияны математика сабағында қолданбағандығын айтса, 34,5% математика сабағын CLIL технологиясымен ұйымдастырғандықтарын атады (6-сурет).

113 отбөтө



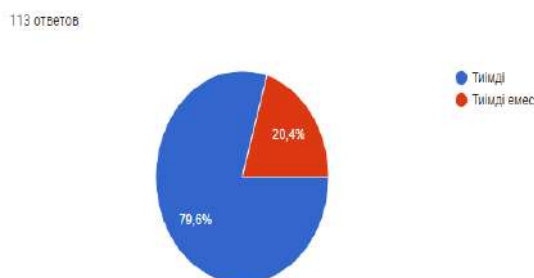
Сурет 6. «CLIL технологиясын математика сабағында қолдандыңыз ба?»
(Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

CLIL технологиясына арналған дайын сабақ материалдары интернет желісінде қол жетімді, дегенмен де әр пәннің ерекшеліктерін ескере отыра 28,3 % материалды өздері дайындағандықтарын айтты (сурет 7).



Сурет 7. «CLIL технологиясы бойынша сабақ материалдарын дайындадыңыз ба әлде дайын материал алдыңыз ба?» (Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

Сауалнамаға қатысушылардың 79,6% CLIL технологиясын математикалық пәндерді оқытуда тиімді екенін атап көрсеткен, білім алушылардың пәнге деген қызығушылығы артады, шетел тілін білу және қолдану деңгейі, мәдениеті жоғарлайды, ғылыми зерттеулер жасауға машықтанады, білім алушыларға мотивация беріледі, өзін-өзі бағалауға машықтанады (сурет 8).



Сурет 8. «CLIL технологиясын математикалық пәндерде қолдану тиімді деп ойлайсыз ба?» (Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

CLIL технологиясын қолдануда кездесетін қиыншылықтар қатарына оқушылардың тілдік білімінің төмендігі, уақыттың көп кететіндігі секілді мәселелер аталған. CLIL технологиясын қолдануда кездесетін қиыншылықтарға деген сауалға респонденттер жауабы әртүрлі болды (3 кесте).

Кесте 3. Респонденттердің сауалнамаға жауабы (Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

Математика пәні мұғалімдерінің жауабы	Бітіруші түлектер жауабы
Оқушылардың ағылшын тілін жетік меңгермеуі. ИКТ құрал жабдықтардың керектігі. Сөздік қордың аздығы. Үйренуге уақыт кетеді. Сабақты жоспарлауға көп уақыттың кететіндігі. Бөліктерді айтқанда, амал атауларын шатастырулары. Мұғалімдердің де ағылшын тілі деңгейінің төмендігі.	CLIL технологиясы бойынша математика пәнінен ағылшын тілінде сабақ өткізуде кездескен қиындық - оқушылардың ағылшынша сөйлеу қабілеттерінің төмендігі. Оқушылардың бұл технологияға әлі де дұрыс үйренбегендігі.

CLIL технологиясын қолданудың тиімділігіне респонденттердің көрсеткен жауаптары жинақталды (4 кесте).

4 кесте. CLIL технологиясын қолданудың тиімділігі туралы респонденттер жауаптары (Дереккөз: құрастырушы авторлардың өзі)

Математика пәні мұғалімдерінің жауабы	Бітіруші түлектер жауабы
Ағылшынша математикалық тапсырмалар орындай алуға дағдыланады.	Ешқандай қиыншылықтар болмайды деп ойлаймын, оқушылардың ой өрістерін дамытып, ағылшын тілінде еркін сөйлеулеріне одан сайын мүмкіндік ашылады.

Қорытынды

Білім алушылардың математикаға деген қызығушылығының артуы тікелей оны оқыту әдістемесіне, сабақтың қалай құрылғанына және мұғалімнің осы сабаққа қандай материалдар қосқанына байланысты болады. Сонымен қатар, пән мұғалімі оқушының шығармашылығын, ойлау қабілетін, цифрлық сауаттылығын дамыту, тілдік деңгейін арттыру мәселелеріне де жан-жақты көңіл аудару қажет. Осы орайда математикалық білім беруде жаңа әдістерді тиімді қолдану үлкен көмегін тигізеді.

Жүргізілген сауалнама қорытындысы бойынша, CLIL технологиясының математикалық пәндерде қолданысы бар екені көрінді.

Кездесетін қиыншылықтарға қарамастан, сауалнамаға қатысқан респонденттердің 79,6%-ы CLIL технологиясын математикалық пәндерде үш тілді топтарда қолдану тиімділігін атап көрсетті, дегенмен де сауалнама нәтижесінде CLIL технологиясының артықшылықтары мен қатар бірнеше мәселелер соның ішінде, ағылшын пәнін меңгерген мамандардың жетіспеушілігі, білім алушылардың тілді меңгеру деңгейінің төмендігі, CLIL технологиясын меңгеру қиыншылығы анықталды.

Сондықтан да математиканы оқытуда жаңа технологиялар бойынша біліктілік курстарын жиі ұйымдастырумен қатар тілдік деңгейді көтеру бағыттарының жұмыстарын әлі де болса жетілдіру мақсатындағы жұмыстарды ұйымдастыру қажеттігі анықталды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың Қазақстан халқына Жолдауы. 2020 жылғы 1 қыркүйек, «Жаңа жағдайдағы Қазақстан: іс-қимыл кезеңі»
- 2 Marsh D., Mehisto P., Wolff D., Frigols M. J. *The European Framework for CLIL Teacher Education*. Graz: European Centre for Modern Languages. 2010. P. 105–116.
- 3 Mehisto, P., Marsh, D., & Frigols, M. J./ *Uncovering CLIL, Content and Language Integrated Learning in Bilingual and Multilingual Education* // Macmillan, 2008.110 p.
- 4 Vela-Rodrigo, A. A. *CLIL for the teaching of History and English in Secondary Education: how to complete the existing materials*. *Language Value*, 15(1), 1-29. Universitat Jaume I ePress: Castelló, Spain. <http://www.languagevalue.uji.es>. July 2022, DOI: <https://doi.org/10.6035/languagev.6413>
- 5 Estrada Chichón, J. L., & Segura Caballero, N. (2022). *Análisis de secuencias didácticas AICLE para Educación Primaria*. *Revista Interuniversitaria De Formación Del Profesorado*. *Continuación De La Antigua Revista De Escuelas Normales*, 98(36.2). <https://doi.org/10.47553/rifop.v98i36.2.91999>
- 6 Norqiziyeva, Z. *CLIL (content language and integration learning), формирование иноязычной компетенции в сфере познавательного билингвизма профессиональная коммуникация*. *Общество и инновации*. 2, 2/S (2021), 325–332. DOI:<https://doi.org/10.47689/2181-1415-vol2-iss2/S-pp325-332>.
- 7 Coyle, D. *Meaning-making, Language Learning and Language Using: An integrated approach*. *Inclusive Pedagogy Across the Curriculum*. Deppeler, J. M., Loreman, T., Smith, R. & Florian, L. (eds.). 2015. - Vol. 7 – P. 235-258.
- 8 Coyle, D. *Towards New Learning Partnerships in Bilingual Educational Contexts: Raising Learner Awareness and Creating Conditions for Reciprocity and Pedagogic Attention*. *International Journal of Multilingualism*. 2015.- P. 471-493.
- 9 Гудкова С. А., Буренкова Д. Ю. *Перспективы практической реализации CLIL-технологии в учебной среде вуза* // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. Серия: Педагогика, психология. - 2015. - № 2. - С. 34–37.
- 10 Халыпина Л.П. *Современные тенденции в обучении иностранным языкам на основе идей CLIL* // *Вопросы методики преподавания в вузе*. 2017. Т. 6. № 20. - С. 46–52.
- 11 Жетписбаева Б.А., Күбеева А.Е. *К вопросу о методическом обеспечении трёхязычного образования* // *Вестник КарГУ*, 2017.- №2(86)
- 12 Жетписбаева, Б. А., Хамитова, Г. А., Алиясова, А. В. *Из опыта использования технологии в условиях дистанционного образования*. – *Торайғыров университетінің Хабаршысы*. – 2021. – 32 с. – ISSN 2710-2661.
- 13 *e-CLILT: e-based Content and Language Integrated Learning Training*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eCLILt.net/project.html>.
- 14 Конысова А., Атемова К., Чаканова С., Гульмира А., Конысова С. и Конкабаева Г. (2022). *Опыт CLIL по естественнонаучным дисциплинам в казахстанских школах*. *Кипрский журнал образовательных наук*, 17 (5), 1588–1602. <https://doi.org/10.18844/cjes.v17i5.7334>
- 15 Tuleubayeva, S., Tleuzhanova, G., Shunkeyeva, S., Turkenova, S., Mazhenova, R. *Functional ranking of English in multilingual education in Kazakhstan (on the example of high school students)* (2021), *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*, 11 (4), pp. 143-148.

References:

- 1 *Poslanie Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazahstan ot 1 sentyabrya 2020 g «Kazahstan v novej real'nosti: vremya dejstvij» [Kazakhstan in a new reality : time for action]. (In Kazakh)*
- 2 Marsh D., Mehisto P., Wolff D., Frigols M. J. *The European Framework for CLIL Teacher Education*. Graz: European Centre for Modern Languages. 2010. P. 105–116.
- 3 Mehisto, P., Marsh, D. & Frigols, M. J./ *Uncovering CLIL, Content and Language Integrated Learning in Bilingual and Multilingual Education // Macmillan, 2008.110 p.*
- 4 Vela-Rodrigo, A. A. *CLIL for the teaching of History and English in Secondary Education: how to complete the existing materials*. *Language Value*, 15(1), 1-29. Universitat Jaume I ePress: Castelló, Spain. <http://www.languagevalue.uji.es>. July 2022, DOI: <https://doi.org/10.6035/languagev.6413>
- 5 Estrada Chichón, J. L., & Segura Caballero, N. (2022). *Análisis de secuencias didácticas AICLE para Educación Primaria*. *Revista Interuniversitaria De Formación Del Profesorado*. *Continuación De La Antigua Revista De Escuelas Normales*, 98(36.2). <https://doi.org/10.47553/rifop.v98i36.2.91999>
- 6 Norquziyeva, Z. *CLIL (content language and integration learning), formirovanie inozazychnoj kompetencii v sfere poznavatel'nogo bilingvizma professional'naja kommunikacija*. *Obshhestvo i innovacii*. 2, 2/S (mar. 2021), 325–332. DOI:<https://doi.org/10.47689/2181-1415-vol2-iss2/S-pp325-332>.
- 7 Coyle, D. *Meaning-making, Language Learning and Language Using: An integrated approach*. *Inclusive Pedagogy Across the Curriculum*. Deppeler, J. M., Loreman, T., Smith, R. & Florian, L. (eds.). 2015. - Vol. 7 – P. 235-258.
- 8 Coyle, D. *Towards New Learning Partnerships in Bilingual Educational Contexts: Raising Learner Awareness and Creating Conditions for Reciprocity and Pedagogic Attention*. *International Journal of Multilingualism*. 2015.- P. 471-493.
- 9 Gudkova S. A., Burenkova D. Iu. *Perspektivy prakticheskoj realizatsii CLIL- tekhnologii v uchebnoi sfere vuza [Prospects of practical implementation of CLIL-technology in the educational environment of the university]*. *Vektor nauki Toliattinskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Pedagogika, psikhologiya. - 2015. - № 2. - p. 34–37. (In Russian)
- 10 Khaliapina L.P. *Sovremennye tendentsii v obuchenii inostrannym iazykam na osnove idei CLIL [Modern trends in teaching foreign languages based on the ideas of CLIL]*. *Voprosy metodiki prepodavaniia v vuze*. 2017. T. 6. № 20. - p. 46–52. (In Russian)
- 11 Jetpisbaeva, B. A., Kubeeva, A.E. *K voprosu o metodicheskom obespechenii trekhieazychnogo obrazovaniia [On the issue of methodological support of trilingual education]*. *Vestnik KarGU*, 2017.- №2(86). (In Russian)
- 12 Jetpisbaeva, B. A., Hamitova, G. A., Aliysova, A. V. *Íz opyta ispolzovaniia tekhnologii v usloviakh distantsionnogo obrazovaniia. [From the experience of using technology in distance education]*. In *Toraigyrov universitetinij Habarşysy [Bulletin of the Toraigyrov University]*. – 2021. – 32 p. – ISSN 2710-2661. (In Russian)
- 13 *e-CLILT: e-based Content and Language Integrated Learning Training*. – Access mode:<http://www.eCLILT.net/project.html>.
- 14 Konysova A., Atemova K., Chakanova S., Gul'mira A., Konysova S. i Konkabaeva G. (2022). *Opyt CLIL po estestvennonauchnym disciplinam v kazahstanskikh shkalah [Experience of CLIL in the natural sciences in Kazakhstani schools]*. *Kiprskij zhurnal obrazovatel'nyh nauk*, 17 (5), 1588–1602. <https://doi.org/10.18844/cjes.v17i5.7334>. (In Russian)
- 15 Tuleubayeva, S., Tleuzhanova, G., Shunkeyeva, S., Turkenova, S., Mazhenova, R. *Functional ranking of English in multilingual education in Kazakhstan (on the example of high school students) (2021)*, *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*, 11 (4), pp. 143-148.

МРНТИ 27.01.45
УДК 372.851

<https://doi.org/10.51889/2167.2022.74.24.015>

С.Қ. Қалдан^{1*}, С.Е. Касенов², Ш.Т. Рахмет¹, А.Н. Сарсенбаева³, Б.М. Иманбаев⁴

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

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

³Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

⁴JOS қаржы лицейі, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: salta.kaldan@mail.ru

ИРРАЦИОНАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР МЕН ТЕҢСІЗДІКТЕР БОЙЫНША ДЕНГЕЙЛІК ТАПСЫРМАЛАРДЫ ҚҰРАСТЫРУ ЖОЛДАРЫ

Аңдатпа

Бұл мақалада мектеп курсындағы иррационал теңдеулер мен теңсіздіктерді шешу кезінде деңгейлік саралап оқыту әдістемесін қолдануға назар аударылады. Жалпы сыныпта дамуы мен дайындық деңгейі, үлгерімі және оқуға деген көзқарасы, қызығушылығы мен қабылдауы әртүрлі оқушылар бар. Мұғалім дәстүрлі оқытуды ұйымдастыру кезінде түрлі қиындықтарға тап болады. Сондықтан оқушылардың бір деңгейде қалып қоймай, керісінше оқушының деңгейі көтеріліп, пәнге деген қызығушылығы артуы үшін деңгейлік саралауды қолдану қажет. Мектеп математика курсына иррационалдық теңдеулер мен теңсіздіктерді шешу күрделі тақырыптардың бірі. Мақала кіріспесінде деңгейлеп саралап оқытудың анықтамасы мен бөлінген үш деңгей жайлы сөз қозғалады. Ары қарай иррационал теңдеулер мен теңсіздіктерге арналған есептердің жалпылама шығарылу жолына тоқталып, деңгейлеп саралау әдісі бойынша иррационал теңдеулер мен теңсіздіктер есептері бөлініп, олардың шешу жолдары талданып жазылды.

Түйін сөздер: иррационал теңдеулер, иррационал теңсіздіктер, теңдеу шешу, деңгейлік саралау, әдістеме.

Аннотация

С.К. Калдан¹, С.Е. Касенов², Ш.Т. Рахмет¹, А.Н. Сарсенбаева³, Б.М. Иманбаев⁴

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

²Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

³Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

⁴финансовый лицей JOS, г. Алматы, Казахстан

СПОСОБЫ СОСТАВЛЕНИЯ УРОВНЕВЫХ ЗАДАЧ НА ИРРАЦИОНАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И НЕРАВЕНСТВА

Статья посвящена использованию дифференцированного обучения при решении иррациональных уравнений и неравенств в школьном курсе. В классе учатся школьники с разным уровнем развития и подготовки, успеваемостью и отношением к учебе, интересом и восприятием. Учитель сталкивается с различными трудностями при организации традиционного обучения. Поэтому необходимо использовать разноуровневую дифференциацию, чтобы учащиеся не оставались на одном уровне, а, наоборот, повышался уровень учащегося и возрастал его интерес к предмету. Решение иррациональных уравнений и неравенств – одна из сложных тем школьного курса математики. Во введении мы говорим об определении дифференцированного образования и трех уровнях по сложности. Далее, остановились на общих методах решения иррациональных уравнений и неравенств, по методу разноуровневого дифференцирования рассматриваемые задачи были разделены и полностью записаны их решения.

Ключевые слова: иррациональные уравнения, иррациональные неравенства, решение уравнений, уровневое дифференцирование, методология.

Abstract

WAYS OF COMPILING LEVEL OBJECTIVES ON IRRATIONAL EQUATIONS AND INEQUALITIES

Kaldan S.K.¹, Kasenov S.E.², Rakhmet Sh.T.¹, Sarsenbayeva A.N.³, Imanbaev B.N.⁴

¹Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

⁴Financial lyceum JOS, Almaty, Kazakhstan

This article focuses on the use of the level-differentiated teaching methodology in solving irrational equations and inequalities in the school course. In the general classroom, there are students of different development and preparation

level, progress and learning attitude, interest and perception. The teacher faces various difficulties when organizing traditional teaching. Therefore, it is necessary to use level differentiation so that the students do not stay at the same level, but on the contrary, the level of the student rises and his interest in the subject increases. Solving irrational equations and inequalities is one of the difficult topics in the school mathematics course. In the introduction of the article, we talk about the definition of differentiated education and the three divided levels. Further, focusing on the way of generalization of problems for irrational equations and inequalities, problems were divided according to the method, and their solutions were analyzed and written.

Keywords: irrational equations, irrational inequalities, equation solution, level differentiation, methodology.

Кіріспе

Қазіргі кездегі білім беру жүйесінің алдына қойған басты міндеттерінің бірі – адамзаттық құндылықтарды, ғылым мен практиканың негізінде жеке адамды қалыптастыруға, дамытуға, кәсіби шыңдауда бағытталған білімді алу барысында қажетті жағдайларды жасау және оқытудың жаңа технологиясын сабақта қолдану.

Осы қойылған міндеттерді орындаумен қатар жас ұрпақтың сапалы да, саналы ой еңбегін тәрбиелеуде математиканың да алатын орны ерекше. Қазіргі математика ғылымының жан-жақты, кеңінен тараған уақыты.

Жаңа білім берудегі талаптарға сай оқытудың көптеген технологиялары бар. Соның бірі – деңгейлік саралау технологиясы. Бұл технология оқушылардың ой-өрісінің дамуына және пәнге деген қызығушылығын оятуға мүмкіндік береді. Деңгейлік саралау технологиясын математика сабағында қолдану өте тиімді. Деңгейлік тапсырмаларды математикада қолданудың мақсаты – жеңілден қиынға, яғни қарапайым есептен күрделісіне қарай сатылы түрде өту арқылы оқушылардың есепке деген ізденісін, қызығушылығын арттыру. Мұғалім деңгейі төмен оқушылардың қабілетіне қарай жеке тапсырмалар беріп, онымен жұмыс жасайды. Ал дарынды оқушының ынтасын арттыра отырып, күрделі есептерді шеше алуына септігін тигізеді [1].

Саралап оқыту – білім алушылардың қабілеттері мен бейімділігін ескере отырып, яғни білім беру процесін ұйымдастыру болып табылады. Саралап оқыту жалпы оқыту процесінің мазмұнын, құрылымы мен ұйымдастырылуын өзгерту арқылы білім алушылардың қабілетін дамытуға, оқушылардың өздерінің қызығушылығы мен оқуын жалғастыруға қатысты ұстанған бағыт-бағдарына сәйкес оқыту үшін жағдай туғызуға мүмкіндік береді.

Саралап оқытудың мәні – оқушыларды бөлу емес, оларды біріктіруде дәл уақытында сабақты игеруге көмек көрсету. Ал тиімділігі – оқытушы білім алушылардың жасаған жұмысын бақылап қана қоймай, сол уақытта әрбір оқушымен жекеше жұмыс жасайды. Яғни, мұнда білім алушылар жеке, мұғаліммен бірігіп және мұғалімнің сырттай бақылауымен жұмыс істей алады [2].

Зерттеу әдістері

Жаңа технологиялардың ішінде деңгейлік оқыту технологиясы маңызды орын алады. Бұл технологияны Н.П. Гузик, Ж. Қараев, Г.Ф. Еркібаева сияқты ғалымдар зерттеген. Осылардың ішінде Г.Ф. Еркібаева өзінің деңгейлеп оқыту технологиясында тапсырмаларды үш деңгейге бөліп берді. Бірінші топта «4-5»-ке оқитын, екінші топта «3-4»-ке оқитын, ал үшінші топта «2-3»-ке оқитын оқушыларды топтастырды [3].

Н.П. Гузик деңгейлеп оқыту әдістемесінде сыныптағы білім алушыларды да, оқу бағдарламасын да А, В, С – деп үш деңгейге бөлуді ұсынды және біз осыған ерекше тоқталдық.

«А» деңгейіндегі тапсырмалар базалық стандарт түрінде беріледі. Яғни, оларды орындау барысында білім алушы пән бойынша қайталау деңгейінде нақты материалды меңгереді. Бұл деңгейдегі материалды меңгеру жұмыстарының өзіндік ерекшеліктері бар. Ол материалдың бірнеше рет қайталануын, негізгі ойды табу дағдысын, топтардың бөлінуін, есте сақтау тәсілдерін білуін талап етеді.

«В» деңгейінің тапсырмасын орындамас бұрын «А» деңгейіндегі тапсырмаларды әрбір білім алушы орындауға міндетті. Себебі, бұл «В» деңгейіне арналған есептерді орындау үшін қажет, ол білім алушылардың оқу, ой-әрекетіндегі арнайы тәсілдерді меңгеруін қамтамасыз етеді. Сондықтан бұл деңгей бірінші деңгейдегі материалды кеңейтетін, негізгі білімді дәлелдейтін, суреттейтін, нақтылайтын ұғымның қолданылуы мен жұмыс істеуін көрсететін қосымша мәліметтер енгізіледі. Бұл деңгей мәліметтер көлемін кеңейтіп, негізгі материалды терең түсінуге көмектеседі.

«С» деңгейінің тапсырмасын орындау арқылы білім алушылар алған білімін шығармашылықпен қолданатын деңгейге көтереді. Бұл деңгей ой-әрекеті мен оқу жұмысының тәсілдерін және оқу материалын еркін игеруді көздейді. Өз білімі арқылы мәселелерді шешуде логикалық ойлауын дамытатын мәліметтер беріп, оны болашақта қолдануына жол ашады. Білім алушының өзін қосымша жұмыстарда көретуге мүмкіндік береді [4].

Деңгейлік саралап оқыту технологиясы жайында айтып өттік, ендігі кезекте иррационал теңдеу пен теңсіздіктің не екеніне қысқаша тоқталайық.

Теңдеулер мен теңсіздіктерге қатысты материал мектептегі математика курсының маңызды бөлігін құрайды. Мектеп бағдарламасында оқытылатын алгебраның күрделі бөлімдерінің бірі иррационал теңдеулер мен теңсіздіктер болып табылады, өйткені оларға мектепте аз көңіл бөлінеді [5].

Теңдеулер мен теңсіздіктердің бұл түрін зерттеудегі қиындықтар келесі белгілермен байланысты болып табылады:

- Иррационал теңдеулер мен теңсіздіктерді шешудің көп жағдайында нақты алгоритмнің жоқ болуы;
- Осы түрдегі теңдеулер мен теңсіздіктерді шешу кезінде берілгеніне тең болмайтын теңдеулерге және теңсіздіктерге әкелетін түрлендірулер жасау қажет, нәтижесінде қателер жиі орын алады.

Студенттер немесе оқушылар иррационал теңдеулер мен теңсіздіктерді шешу дағдыларын жеткілікті түрде меңгермейді, оларды шешуде жиі қателіктер жібереді. Дегенмен «Иррационал теңдеулер мен теңсіздіктер» тақырыбы бойынша есептер қабылдау емтихандарында жиі кездеседі және көбінесе қате шығарылады [6].

Иррационал теңдеулер. Айнымалысы түбірдің астында немесе айнымалының дәрежесі бөлшек түрінде болатын теңдеу иррационал теңдеу деп аталады. Мысалы, $\sqrt{x-2} = 2x-1$, $x^{\frac{1}{3}} - 5 = 0$ түріндегі теңдеулер иррационал теңдеу [7].

Иррационал теңдеулерді шешудің негізгі екі әдісі бар:

- 1) Теңдеудің екі жағын бірдей дәрежеге келтіру әдісі;
- 2) Жаңа айнымалыларды енгізу әдісі.

Теңдеудің екі жағын бірдей дәрежеге келтіру әдісі келесідей болады:

а) берілген иррационал теңдеуді келесі түрде түрлендіру:

$$\sqrt[n]{f(x)} = \sqrt[n]{g(x)};$$

б) алынған теңдеудің екі жағын жағын да n -ші дәрежеге дәрежелейміз:

$$(\sqrt[n]{f(x)})^n = (\sqrt[n]{g(x)})^n$$

в) $(\sqrt[n]{a})^n = a$ екенін ескеріп, мына теңдеуді шығарамыз:

$$f(x) = g(x).$$

г) теңдеуді шешіп, жұп n жағдайында тексеру жасаймыз, өйткені теңдеудің екі жағын бірдей жұп дәрежеге көтеру басқа түбірлердің пайда болуына әкелуі мүмкін. Бұл тексеру көбінесе айнымалының табылған мәндерін бастапқы теңдеуге ауыстыру арқылы жүзеге асырылады [8].

№	Теңдеулер	Салдарлары	Мәндес теңдеулер
1.	$\sqrt{f(x)} = a, a \geq 0$	$(\sqrt{f(x)})^2 = a^2$	$f(x) = a^2$
2.	$\sqrt{f(x)} = g(x)$	$(\sqrt{f(x)})^2 = g^2(x)$	$\begin{cases} f(x) = g^2(x), \\ g(x) \geq 0. \end{cases}$
3.	$\sqrt{f(x)} = \sqrt{g(x)}$	$f(x) = g(x)$	$\begin{cases} f(x) = g(x), \\ g(x) \geq 0, \text{ (немесе } g(x) \geq 0). \end{cases}$
4.	$\sqrt{f(x)} \cdot \sqrt{g(x)} = h(x)$	$\sqrt{f(x) \cdot g(x)} = h(x)$	$\begin{cases} \sqrt{f(x) \cdot g(x)} = h(x), \\ g(x) \geq 0, \text{ (немесе } g(x) \geq 0). \end{cases}$
5.	$\frac{\sqrt{f(x)}}{\sqrt{g(x)}} = h(x)$	$f(x) = h(x) \cdot g(x)$	$\begin{cases} f(x) = h(x) \cdot g(x), \\ g(x) \neq 0. \end{cases}$

Иррационал теңсіздіктер. Иррационал теңсіздік деп түбірдің астындағы айнымалысы бар теңсіздікті айтамыз. $\sqrt{f(x)} < g(x)$ түріндегі иррационал теңсіздіктерді шешу кезінде келесі тұжырым қолданылады:

Теорема. Егер екі жағы X жиынында тек теріс емес мәндерді қабылдайтын болса, онда теңсіздіктің екі жағын да түбір дәрежесіне шығарып (немесе кез-келген жұп дәрежеге көбейтіп) және бастапқы теңсіздіктің таңбасын сақтап, берілген X жиынында теңсіздікті аламыз.

Теңсіздіктің екі жағын бірдей дәрежеге теңсіздік белгісін сақтай отырып көтеру арқылы әрқашан теңсіздікті түрлендіруге болады [9].

Мынандай түрдегі теңсіздікті қарастырайық,

$$\sqrt{f(x)} < g(x). \quad (1)$$

Бұл теңсіздіктің шешімі бір мезгілде $f(x) > 0$ және $g(x) > 0$ теңсіздігінің шешімі болатыны анық ((1) теңсіздігінен $g(x) > \sqrt{f(x)} > 0$ шығады). Демек, (1) теңсіздік келесідей теңсіздіктер жүйесінде қарастыруға болады:

$$\begin{cases} f(x) \geq 0, \\ g(x) > 0, \\ \sqrt{f(x)} < g(x) \end{cases} \quad [10].$$

Осы жүйенің алғашқы екі теңсіздігімен көрсетілген шарттарда жүйенің үшінші теңсіздігінің екі жағы да анықталатындықтан және тек теріс емес мәндерді қабылдайтындықтан, олардың квадраты теңсіздіктің теңдігін түрлендіруі болып табылады. Осы түрлендіруді аяқтағаннан кейін біз мындай жүйеге келеміз:

$$\begin{cases} f(x) \geq 0, \\ g(x) > 0, \\ f(x) < (g(x))^2. \end{cases}$$

Сонымен $\sqrt{f(x)} < g(x)$ теңсіздігі мынадай жүйеге тең:

$$\begin{cases} f(x) \geq 0, \\ g(x) > 0, \\ f(x) < (g(x))^2. \end{cases}$$

Енді мына теңсіздікті қарастырамыз:

$$\sqrt{f(x)} > g(x) \quad (2)$$

Жоғарыдағыдай, $f(x) > 0$ деген қорытындыға келеміз, бірақ алдыңғы жағдайдан айырмашылығы, мұнда $g(x)$ теріс және оң мәндерді де қабылдай алады. Сондықтан берілген (2) теңсіздікті келесі жағдайлардың әрқайсысында жеке қарастырамыз: $g(x) < 0$, $g(x) > 0$. Теңсіздіктер жүйелерінің жиынын төменднгідей қарастыруға болады:

$$\begin{cases} g(x) < 0, \\ f(x) \geq 0, \\ \sqrt{f(x)} > g(x); \end{cases} \quad \begin{cases} g(x) > 0, \\ f(x) \geq 0, \\ \sqrt{f(x)} > g(x). \end{cases}$$

Осы жүйелердің біріншісінде соңғы теңсіздікті алып тастауға болады, себебі ол жүйенің алғашқы екі теңсіздігі шығады. Екінші жүйеде соңғы теңсіздіктің екі жағын да квадраттауға болады.

Сонында $\sqrt{f(x)} > g(x)$ теңсіздігі екі теңсіздік жүйесінің қосындысына тең және келесідей нәтижеге келеміз:

$$\begin{cases} g(x) < 0 \\ f(x) \geq 0; \end{cases} \quad \begin{cases} g(x) \geq 0 \\ f(x) \geq 0 \\ f(x) > (g(x))^2 \end{cases} \quad [11].$$

Зерттеу нәтижелері мен талқылау

Ендігі кезекте жоғарыда айтылған деңгейлеп оқыту бойынша иррационал теңдеулер мен теңсіздіктерге арналған есептер қарастырайық, яғни жеңілден күрделіге қарай берілген деңгейлік есептер.

Иррационал теңдеулерге арналған деңгейлік есептер

«А» деңгейі	«В» деңгейі	«С» деңгейі
$\sqrt{x+2} = x$	$\sqrt{x^2 + 12x + 36} = x^2 - 36$	$(x + \sqrt{x^2 - 1})^5 (x - \sqrt{x^2 - 1})^3 = 1$

«А» деңгейі бойынша иррационал теңдеуге мысал:

1. $\sqrt{x+2} = x$ [12].

Теңдеудің екі жағын да квадраттап, жүйенің екінші жолындағы теңдікті бір жағына шығарып, нөлге теңестіру арқылы квадрат теңдеуді аламыз. Квадрат теңдеудің екі түбірі табылады, нәтижесінде жүйенің бірінші жолындағы шартты қанағаттандыратын тек бір түбірі болады.

«В» деңгейі бойынша иррационал теңдеуге мысал:

2. $\sqrt{x^2 + 12x + 36} = x^2 - 36$.

$a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)^2$ және $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$ формулаларын пайдаланып, теңдеуді келесі түрде ықшамдаймыз

$$\sqrt{(x+6)^2} = (x-6)(x+6).$$

$\sqrt{a^2} = |a|$ екенін ескеріп,

$$|x+6| = (x-6)(x+6)$$

Сол жақ өрнек модуль таңбасымен болғандықтан, екі мүмкін жағдайларын қарастыру арқылы келесі жүйе түрінде жазамыз

$\begin{cases} x \geq -6 \\ (x+6) - (x+6)(x-6) = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} x < -6 \\ -(x+6) - (x+6)(x-6) = 0, \end{cases}$
$\begin{cases} x \geq -6 \\ (x+6)(1-x+6) = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} x < -6 \\ -(x+6)(1+x-6) = 0, \end{cases}$
$\begin{cases} x \geq -6 \\ \begin{cases} x = -6 \\ x = 7 \end{cases} \end{cases}$	$\begin{cases} x < -6 \\ \begin{cases} x = -6 \\ x = 5 \end{cases} \end{cases}$
$\begin{cases} x_1 = -6 \\ x_2 = 7 \end{cases}$	\emptyset

Тексеріп көрсек:

$$x = -6 \Rightarrow \sqrt{(-6)^2 + 12 \cdot (-6) + 36} = (-6)^2 - 36 \Rightarrow 0 = 0.$$

$$x = 7 \Rightarrow \sqrt{7^2 + 12 \cdot 7 + 36} = 7^2 - 36 \Rightarrow 13 = 13$$

Жауабы: $\{-6; 7\}$

«С» деңгейі бойынша иррационал теңдеуге мысалдар:

3. $(x + \sqrt{x^2 - 1})^5 (x - \sqrt{x^2 - 1})^3 = 1$

Шешуі: Берілген теңдеуді шығаруда алдымен бірінші жақшадағы бес дәрежені екі және үш дәрежесінің көбейтіндісі түрінде жазып аламыз

$$(x + \sqrt{x^2 - 1})^2 (x + \sqrt{x^2 - 1})^3 (x - \sqrt{x^2 - 1})^3 = 1,$$

бірдей дәрежелі өрнектерді ортақ дәрежеге алып, $a^3 \cdot b^3 = (a \cdot b)^3$ және $(a - b)(a + b) = a^2 - b^2$ формулаларын пайдалана отырып, келесі түрде жазып аламыз

$$(x + \sqrt{x^2 - 1})^2 (x^2 - x^2 + 1)^3 = 1.$$

Осыдан

$$(x + \sqrt{x^2 - 1})^2 = 1$$

аламыз.

Сол жағында өрнектің квадраты оң жағы 1-ге тең болып тұр. Ендеше келесі екі теңдеудің бірігуі түрінде аламыз

$$\begin{cases} x + \sqrt{x^2 - 1} = 1 \\ x + \sqrt{x^2 - 1} = -1 \\ \sqrt{x^2 - 1} = 1 - x \\ \sqrt{x^2 - 1} = -1 - x \end{cases}$$

Соңғы шыққан иррационал теңдеуді екі жағын квадраттап шешуге болады, мұнда квадраттау кезінде оң жағындағы өрнек оң болу керектігін ескерген жөн.

$$\begin{cases} 1 - x \geq 0 \\ x^2 - 1 = (1 - x)^2 \end{cases} \quad \begin{cases} -1 - x \geq 0 \\ x^2 - 1 = (x + 1)^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x \leq 1 \\ x^2 - 1 = x^2 - 2x + 1 \end{cases} \quad \begin{cases} x \leq -1 \\ x^2 - 1 = x^2 - 2x + 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x \leq -1 \\ x = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} x \leq -1 \\ x = -1. \end{cases}$$

Жауабы: $\{-1; 1\}$.

Иррационал теңсіздіктерге арналған деңгейлік есептер

«А» деңгейі	«В» деңгейі	«С» деңгейі
$\sqrt{x+2} < x$	$\sqrt{x^2 - 3x + 2} > x + 3$	$\sqrt{x+6} > \sqrt{x+7} + \sqrt{2x-5}$

«А» деңгейі бойынша иррационал теңсіздікке мысал:

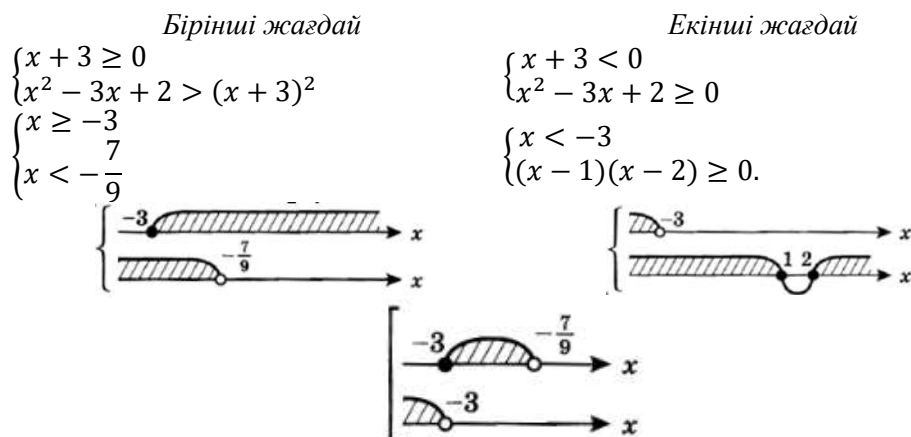
1. $\sqrt{x+2} < x$.

Жоғарыда келтірілген жалпы иррационал теңсіздікті шешу теориясын пайдаланып, берілген теңсіздіктің екі жағын квадраттап аламыз. Шыққан теңсіздікті стандарт түрдегі теңсіздікке келтіреміз. Квадрат үшмүшелікті көбейткішке жіктеп, сандық осьте теңсіздік жауаптарын сызамыз. Үш теңсіздіктің жауабын қиылыстырып, ортақ жауапты аламыз.

«В» деңгейі бойынша иррационал теңсіздікке мысалдар:

2. $\sqrt{x^2 - 3x + 2} > x + 3$.

Шешуі: Теңсіздіктегі түбірден құтылу үшін екі жағын квадраттаймыз, оң жағындағы өрнектің оң және теріс мәніне байланысты екі жағдайды қарастырамыз



Жауабы: $(-\infty; -\frac{7}{9})$.

«С» деңгейі бойынша иррационал теңсіздікке мысалдар:

3. $\sqrt{x+6} > \sqrt{x+7} + \sqrt{2x-5}$.

Шешуі: Күрделі теңсіздікті жеке-жеке түбірден құтылдырамыз:

$$\begin{cases} x + 6 \geq 0 \\ x + 7 \geq 0 \\ 2x - 5 \geq 0 \end{cases} \\ x + 6 > x + 7 + 2\sqrt{(x + 7)(2x - 5)} + 2x - 5.$$

Осыдан,

$$\begin{cases} x \geq 2,5 \\ \sqrt{(x + 7)(2x - 5)} < 2 - x \end{cases}$$

шығады. Теңсіздіктің екі жағын квадраттауға болмайды себебі екінші теңсіздіктің оң жағы $2 - x$ өрнегі $x \geq 2,5$ болғанда теріс мәнді қабылдайды. Олай болса, теңсіздіктің шешімі жоқ.

Жауабы: \emptyset – шешімі жоқ.

Қорытынды

Деңгейлік оқыту білімді неғұрлым берік және терең игеруге, жеке қабілеттерін дамытуға, шығармашылық ойлауды дамытуға ықпал етеді. Сипатталған сараланған тапсырмалар жүйесі бірнеше жылдан бері қолданылып келеді. Әр түрлі деңгейлік тапсырмалар сыныпта сабақты ұйымдастыруды жеңілдетеді, оқушылардың мүмкіндіктеріне сәйкес оқуда ілгерілеуіне жағдай жасайды.

Төмен деңгейлі оқушылар нұсқаулық материалдары бар тапсырмаларды, әсіресе өзін-өзі бақылау туралы мәліметтерді беретін жаттығуларды дайын түрде орындайды. Бұл мұндай оқушыларға тек жауап көрсету жеткіліксіз деген қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Тапсырмаға қате жауап алынғанын біліп, оқушы бүкіл тізбекті қадағалап, қатені таба алмауы мүмкін.

Деңгейлік тапсырмаларды жеңілінен бастай отырып, оқушылар әлсіз болса да, оларды өз бетінше орындай алатындығына сенбеді. Яғни деңгейлік сараланған тапсырмалық әлсіз оқушылардың танымдық белсенділігін ынталандыратынын көрсетеді. Деңгейлік тапсырмаларға белгілі бір күш-жігер жұмсаған балалар осы тапсырмаларды талқылауға қатысады және оларды шешу әдістерінің түсіндірілуін қызығушылықпен тыңдайды.

«Иррационал теңдеулер мен теңсіздіктер» тарауына арналған есептер мектеп бағдарламасында аз қамтылғандықтан оқушылардың толықтай меңгеруіне кері әсерін тигізеді. Тақырыпты толықтай меңгеру үшін олардың әрқайсысы бойынша шешудің әдіс-тәсілдері таңдалынып, меңгеру деңгейі тексеріледі. Мүмкіндігінше толық баяндалған теориялық материал және мұқият іріктеліп алынған деңгейлік есептерді жеңілден қиынға қарай шешу арқылы тарауды меңгеруде өз септігін тигізеді деп ойлаймыз.

Оқушылардың мүмкіндіктерін ескере отырып жасалған деңгейлік тапсырмалар сыныпта қолайлы психологиялық ахуал туғызады. Балалар әр дұрыс шешілген тапсырмалардан кейін жақсы сезім сезінеді. Қиындықтарды жеңу нәтижесінде алынған жетістіктер танымдық белсенділікті арттыруға күшті серпін береді. Оқушылар, соның ішінде әлсіздер де өз қабілеттеріне сенімді болады, олар енді жаңа тақырыптағы есептерден қорықпайды, жоғары деңгейдегі мәселелерді шешуге кіріседі. Мұның бәрі оқушылардың ақыл-ой белсенділігін арттыруға, оқуға жігерленуіне ықпал етеді.

Оқушылардың бейімділігі мен қызығушылықтары бойынша саралап оқыту ерекше танымалдылыққа ие әдістің бірі. Деңгейлеп дайындалған тапсырмаларды орындау арқылы оқушылар өздерінің қабілеттері бойынша бір білім саласында өзін дәлелдеуге мүмкіндік береді деген тұжырымға келеміз.

Пайдаланылған әдебиеттер:

- 1 Кобдикова Ж.У. Деңгейлеп саралап оқыту. 2000 ж., 15 б.
- 2 Селевко Г.К. Современные образовательные технологии: учебное пособие. М.: Народное образование, 1998. – С. 21.
- 3 Еркибаев Г.Г. Дифференцированное обучение учащихся на уроках технологии через творческие проекты. МНПК «Научные исследования.: от теории к практике», 2016. – С. 92
- 4 Жунисбекова Ж.А., Дифференцированное обучение учащихся. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 11. 2015. – С. 748-751.
- 5 Шарыгин И. Ф. Математика для поступающих в вузы: Учебное пособие – М.: Дрофа, 2006. — С. 148
- 6 Кравцев С. В. Методы решения задач по алгебре: от простых до самых сложных – М.: Экзамен, 2001. – С. 54.

7 Абылкасымова А.Е., Корчевский В.Е., Жұмағұлова З.Ә. Алгебра және анализ бастамалары. Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11 сыныпқа арналған оқулық. Алматы. Мектеп, 2019. 112-128 б.

8 Мордкович А.Г., Глизбург В.И., Лаврентьева Н.Ю. Математика: Полный справочник. Москва: АСТ: Астрель, 2016. – С. 151-154.

9 Шыныбеков Е.Н., Шыныбеков Д.Ә., Жумбаева Р.Н. Алгебра және анализ бастамалары. Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11 сыныпқа арналған оқулық. (1-бөлім). Алматы. Атамұра, 2020. – 134-153 б.

10 Шарыгин И. Ф., Голубев В. И. Решение задач: Учеб пособие для 11 кл. общеобразовательное учреждений. — М. : Просвещение, 1995. — С. 134.

11 Гусев В.А., Мордкович А.Г. Математика. 5-11 классы. Справочник школьника. Астрель 2013. – С. 219-288.

12 Шахмейстер А.Х., Иррациональные уравнения и неравенства. Санкт-Петербург: «Петроглиф», 2011. – С. 4-124.

References:

1 Kobdikova Zh.U., (2000) Dengeilep saralap okytu [Differentiated learning at different levels]. p. 15. (In Kazakh)

2 Selevko G.K. (1998) Sovremennyye obrazovatel'nyye tekhnologii: uchebnoye posobiye. M. : Narodnoye obrazovaniye [Modern educational technologies: textbook. M. : Public education]. p. 21. (In Russian)

3 Erkibaev G.G. (2016) Differentsirovannoye obucheniye uchashchikhsya na urokakh tekhnologii cherez tvorcheskiye proyekty. MNPК «Nauchnyye issledovaniya.: ot teorii k praktike» [Differentiated teaching of students in technology lessons through creative projects. MNPК "Scientific research.: from theory to practice"]. p. 92. (In Russian)

4 Zhunisbekova Zh.A.,(2015)Differentsirovannoye chiteniye uchashchikhsya. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [Differentiated education of students. International Journal of Applied and Fundamental Research] № 11. pp. 748- 751. (In Russian)

5 Sharygin I. F. (2006) Matematika dlya postupayushchikh v vuzy: Uchebnoye posobiye [Mathematics for university applicants: Textbook] M. : Bustard. p. 148. (In Russian)

6 Kravtsev S. V. (2001) Metody resheniya zadach po algebre: ot prostykh do samykh slozhnykh [Methods of solving problems in algebra: from the simplest to the most complex] M.: Exam. p. 54. (In Russian)

7 Abylkasymova A.E., Korchevsky V.E., Zhumagulova Z.A..(2019) Algebra jáne analiz bastamalary. Jalpy bilim beretin mekteptiń jaratylstany-matematika baǵytyndaǵy 11 synypqa arnalǵan oqylyq. [Initiatives of algebra and analysis. Textbook for 11th grade of secondary school in the field of science and mathematics]. Almaty. School., pp. 112-128. . (In Kazakh)

8 Mordkovich A.G., Glizburg V.I., Lavrentieva N.Yu.(2016) Matematika: Polnyy spravochnik [Mathematics: A complete reference]. Moscow: AST: Astrel, 151 -154 p. (In Russian)

9 Shynybekov E.N., Shynybekov D.E., Zhumbaeva R.N. (2020) Algebra jáne analiz bastamalary. Jalpy bilim beretin mekteptiń jaratylstany-matematika baǵytyndaǵy 11 synypqa arnalǵan oqylyq (1-bolim). [Initiatives of algebra and analysis. Textbook for 11th grade of secondary school in the field of science and mathematics. (Part 1)]. Almaty. Atamura. pp.134-153 . (In Kazakh)

10 Sharygin I. F., Golubev V. I. (1995) Resheniye zadach: Ucheb posobiye dlya 11 kl. obshcheobrazovattel'noye uchrezhdeniy [Problem solving: A textbook for the 11th grade of general education institutions]. M. : Enlightenment. p. 134. (In Russian)

11 Gusev V.A., Mordkovich A.G. (2013) Matematika. 5-11 klassy. Spravochnik shkol'nika [Mathematics. Grades 5-11. The schoolboy's handbook]. Astrel. pp. 219 - 288. (In Russian)

12 Shakhmeister A.H.,(2011) Irratsional'nyye uravneniya i neravenstva [Irrational equations and inequalities]. St. Petersburg: "Petroglyph". p. 216. (In Russian)

МРНТИ 14.35.09
УДК 372.851

<https://doi.org/10.51889/9109.2022.18.50.016>

Н.Б. Оспанова¹, Н.И. Пак², Г.Б. Камалова^{3*}

¹ Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова, г. Кокшетау, Казахстан

² Красноярский государственный педагогический университет им. В.А. Астафьева,
г.Красноярск, Россия

³ Казахский национальный педагогический университет им.Абая, г.Алматы, Казахстан

*e-mail: g_kamalova@mail.ru

О ПОДГОТОВКЕ БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ МАТЕМАТИКИ К РЕАЛИЗАЦИИ STEAM-ПОДХОДА В ОБРАЗОВАНИИ

Аннотация

STEAM-подход в образовании сегодня является одним из мировых образовательных трендов. Базируется он на интеграции науки и технологий в единую систему обучения на основе междисциплинарных проектов. Однако анализ практики образования и научно-методических исследований, посвященных профессиональной подготовке будущих педагогов-бакалавров профиля «математика», свидетельствует о том, что в настоящее время такая подготовка в системе педагогического образования практически не осуществляется и недостаточно исследований, в которых затрагиваются подобные вопросы. Цель работы – обоснование целесообразности подготовки будущего педагога-бакалавра профиля «математика» на основе кластерной модели организации учебного процесса для наиболее эффективного формирования его готовности к реализации STEAM-подхода в профессиональной деятельности. Результаты исследования. Предложены модель подготовки будущего педагога-бакалавра профиля «математика» на основе кластера дисциплин, как целостной системы, включающей проблемно-целевой, нормативно-регламентирующий и организационный, технологический, содержательный и оценочно-результативный компоненты; и пример кластера дисциплин, способствующей оптимальному формированию готовности учителя к реализации STEAM-подхода в образовании.

Ключевые слова: STEAM-образование, STEAM-компетентность, подготовка учителя, кластер дисциплин, межпредметные связи, междисциплинарные проекты, робототехника.

Аңдатпа

Н.Б. Оспанова¹, Н.И. Пак², Г.Б. Камалова³

¹ Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау қ., Қазақстан

² В.А. Астафьев атындағы Краснояр мемлекеттік педагогикалық университеті, Краснояр қ., Ресей

³ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА МҰҒАЛІМІН БІЛІМ БЕРУДЕГІ STEAM-ТӘСІЛІН ІСКЕ АСЫРУҒА ДАЙЫНДАУ ТУРАЛЫ

Білім берудегі STEAM-тәсілі бүгінгі таңдағы әлемдік білім беру үрдістерінің бірі болып табылады. Ол ғылым мен техниканы пәнаралық жобалар негізінде білім берудің біртұтас жүйесіне біріктіруге негізделген. Білім берудің барлық деңгейінде STEAM-тәсілін енгізу жағдайында математика маңызды пәндердің біріне айналуға және STEAM негізінде оқыту үшін кәсіби құзыреттілігі жоғары жаңа форматтағы мұғалімді дайындауды талап етеді. Оларды дайындаудағы ең тиімді тәсілдердің бірі - болашақ мұғалімдердің білім берудің жаңа парадигмасын жүзеге асыруға дайындығын оңтайлы қалыптастыруды қамтамасыз ететін мазмұнды ынтымақтастық пен жалпы оқыту технологияларына мүмкіндік беретін оқу пәндерінің кластерін құру болуы мүмкін. Алайда, «математика» бейіні бойынша болашақ бакалавриат мұғалімдерін кәсіби даярлау бойынша білім беру тәжірибесі мен ғылыми-әдістемелік зерттеулерге жүргізілген талдау қазіргі уақытта мұндай оқыту іс жүзінде мұғалімдердің білім беру жүйесінде жүргізілмейтінін және осыған ұқсас мәселелерді қарастыратын зерттеулер жеткіліксіз екенін көрсетеді. Жұмыстың мақсаты – «математика» бейінінің болашақ бакалавр мұғалімін оның STEM- тәсілін кәсіби қызметте жүзеге асыруға дайындығын барынша тиімді қалыптастыру үшін оқу процесін ұйымдастырудың кластерлік моделі негізінде дайындаудың мақсатқа сайлығын негіздеу. Зерттеу нәтижелері. Проблемалық-мақсатты, нормативті-реттік және ұйымдастырушылық, технологиялық, мазмұнды және өнімді құрамдас бөліктерді қамтитын интегралды жүйе ретінде пәндер кластері негізінде «математика» бейінінің болашақ бакалавр мұғалімін дайындау моделі ұсынылды; және мұғалімнің білім беруде STEAM-тәсілін жүзеге асыруға дайындығын оңтайлы қалыптастыруға ықпал ететін пәндер кластерінің мысалы ұсынылды.

Түйін сөздер: STEAM-білім беру, STEAM-құзыреттілігі, мұғалімдерді дайындау, пәндер кластері, пәнаралық байланыс, пәнаралық жобалар, робототехника.

Abstract

PREPARATION OF A FUTURE MATHEMATICS TEACHER FOR THE IMPLEMENTATION OF THE STEAM APPROACH IN EDUCATION

Ospanova N.B.¹, Pak N.I.², Kamalova G.B.³

¹ *Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan*

² *Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.A. Astafiev, Krasnoyarsk, Russia*

³ *Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

The STEAM approach in education is one of the global educational trends today. It is based on the integration of science and technology into a single system of education based on interdisciplinary projects. Mathematics in the context of the implementation of the STEAM approach at all levels of education is becoming one of the most significant disciplines and requires the training of a new format teacher with a high level of professional competence for teaching on the basis of STEAM. One of the most effective approaches in preparation of teachers may be the creation of a cluster of academic disciplines that allow meaningful collaboration and common teaching technologies that ensure the optimal formation of future teachers' willingness to implement a new education paradigm. However, an analysis of the education practice and scientific methodological research on the professional training of future bachelor teachers of the "mathematics" profile indicates that at present such training is practically not carried out in the system of teacher education and there are not enough studies that address such issues. The purpose of the work is to substantiate the expediency of training a future bachelor teacher with "mathematics" profile on the basis of a cluster model that organizes the educational process for the most effective formation of his/her willingness to implement the STEAM approach in professional activities. Results of the research. A model for training a future bachelor's teacher with "mathematics" profile based on a cluster of disciplines as an integral system was proposed. That includes problem-target, normative-regulatory and organizational, technological, meaningful and productive components; and also, an example of cluster of disciplines that contributes to the optimal formation of a teacher's willingness to implement the STEAM approach in education was proposed.

Keywords: STEAM education, STEAM competence, teacher training, cluster of disciplines, interdisciplinary communications, interdisciplinary projects, robotics.

Введение

Сегодня развитие STEAM-образования является одним из глобальных трендов в сфере образования и многие эксперты по праву называют его образованием будущего.

Название STEAM содержит аббревиатуру предметных областей: Science (наука), Technology (технология), Engineering (инженерия), «Art» (искусство) и Math (математика), которые в современном высокотехнологичном мире, в условиях ускоряющегося технического прогресса становятся все более востребованными. STEAM-образование интегрирует их в единую систему обучения, основанную на реальных проблемах окружающего мира. Это предоставляет учащимся возможность для целостного понимания мира, они учатся аккумулировать полученные знания из разных предметных областей и сразу применять их на практике при решении реальных социальных, экономических и технико-технологических проблем.

Традиционная модель обучения, основанная на отдельных предметах, и преимущественно направленная на передачу и воспроизведение знаний, а не на их практическое применение в реальных условиях постепенно теряет свою актуальность, поскольку изучаемые дисциплины никоим образом не пересекаются между собой, оставляя в голове обучающегося разрозненные знания. И в ситуациях, требующих демонстрации навыков рассуждения и научной аргументации, умения связать несколько источников знания воедино при решении реальных задач, встречающихся на практике, учащийся испытывает затруднения.

Такое обучение, основанное только лишь на передаче учебной информации, без практического ее применения, уже теряет всякий смысл, так как сегодня каждый обучающийся имеет доступ к Интернету и может найти в сети необходимые ему сведения о предмете изучения. Умение аккумулировать полученную информацию по разным учебным дисциплинам и применять ее на практике как раз вырабатывается благодаря использованию STEAM-подхода в обучении, который позволяет осваивать предметы не разрозненно, а во взаимосвязи друг с другом в процессе работы над комплексными проектными заданиями. Наряду с этим, постоянное, целенаправленное использование подобного подхода в обучении обеспечит профессиональную подготовку учащихся к жизни в высокотехнологическом мире.

STEAM-подход в образовании впервые предложен исследователями Национального научного фонда США в 2001 году, после того как руководством страны была выражена обеспокоенность низкими результатами американских учащихся по естествознанию и математике по сравнению с

показателями школьников других стран. Предложенный подход оказался эффективным и привлек внимание исследователей из других государств.

И уже целый ряд стран, такие как Финляндия, Сингапур, Южная Корея, Япония и др. на государственном уровне внедряют идеи STEAM в образовательные учреждения, добиваясь положительных результатов в повышении значимости технического образования, а также качества подготовки учащихся по физико-математическим и естественнонаучным дисциплинам. Сегодня STEAM-образование внедряется не только в образовательные учреждения США и стран Европы и Восточной Азии, оно начинает активно развиваться в СНГ, в том числе и в Казахстане.

В Республике Казахстан STEAM-образование развивается с 2014 года. На государственном уровне принимаются меры по внедрению нового междисциплинарного и проектного подхода в обучение [1- 3]. Подтверждением тому является переход на основе Государственной программы развития образования и науки на 2016-2019 гг. на обновленное содержание школьного образования в контексте STEAM. В целях реализации новой образовательной парадигмы ведется работа по включению в учебные программы STEAM-элементов, математического и компьютерного моделирования, усиливающих междисциплинарные связи и прикладную направленность обучения. На базе вузов и ряда других образовательных учреждений при поддержке технологических компаний открываются лаборатории робототехники, образовательные технопарки, STEAM-лаборатории и центры, в отдельных образовательных учреждениях в рамках внедрения инновационных технологий реализуются экспериментальные программы и проекты, в которых предлагаются отдельные методики и подходы к построению учебного процесса, организации взаимодействия всех его участников, и список этот пополняется с каждым годом.

Однако анализ государственных законодательных и нормативно-правовых документов РК в сфере образования показывает, что данное направление пока еще не приобрело системную основу, хотя присутствует высокий потенциал для ее развития.

В основе STEAM-образования математика является одним из главных интеллекто-образующих предметов. Она обеспечивает возможность успешного изучения естественнонаучных и гуманитарных дисциплин, служит базой STEAM-образования.

Не секрет, что при традиционном образовании математика считается одним из сложных предметов, требует максимальной концентрации, а также умения абстрактно мыслить и это многим школьникам дается с трудом и ведет к снижению их интереса к изучаемому материалу. Привить и поддержать интерес учащихся к математике можно, используя доступные для школьников практико-ориентированные задачи, возникающие в реальных жизненных ситуациях и имеющие практическую значимость. Подобные задачи в большинстве случаев вызывают у учащихся неподдельную заинтересованность и желание их решать. В случае STEAM-образования – это возможно, так как там математика изучается в контексте реальной жизни в рамках междисциплинарной интеграции с другими STEAM дисциплинами. Это позволяет сформировать у учащихся целостное восприятие решаемой задачи, умение самостоятельно выбирать методы ее решения, переносить полученные знания и навыки с одной учебной дисциплины на другие, вспоминать факты из различных STEAM дисциплин и применять их на практике при решении реальных задач, умение понять, что математическое моделирование, математическая статистика и математические расчеты в большинстве своем несут основополагающий характер для STEAM-предметов.

Например, при изучении понятия углов и их измерении на занятиях по математике у учащихся редко имеется возможность измерить углы в контексте реальных проблем, а в STEAM-образовании, при изучении робототехники в рамках междисциплинарной интеграции предметов, имеется хорошая возможность сделать это. Чтобы, к примеру, избежать препятствий при движении робота, можно запрограммировать его поворот на определенный угол.

Робототехника в настоящее время уверенно вошла в учебные планы и предоставляет практические возможности, которые привлекают обучаемых, для применения знаний и навыков, полученных при изучении разных дисциплин, в том числе и математики. Исследования в школах показали, что изучение робототехники значительно помогло в закреплении навыков с дробями и пропорциями, а также при изучении десятичных дробей и отношений [4]. Подобный подход к обучению математике в контексте реальной жизни повышает уровень мотивации к ее изучению, способствует более эффективному формированию основных общематематических понятий, позволяет реализовать творческие способности, развивать математические умения и навыки учащихся.

Но для успешной его реализации в образовании необходима надлежащая подготовка учителя математики. Он должен обладать не только глубокими знаниями своего предмета, но и иметь знания по остальным STEAM дисциплинам. Обладать широкой общей эрудицией, владеть методологией проведения научных исследований, уметь разрабатывать STEAM-задания и организовать работу учащихся над ними, знать, как эффективно использовать учебную среду для получения образовательного результата [5]. Чем лучше подготовлен педагог в общих формах содержания STEM знаний, в вопросах разработки STEAM заданий и методики организации деятельности учащихся по их выполнению, тем эффективнее реализация интегрированного STEAM образования.

Вместе с тем анализ ответов учителей математики показывает, что они не готовы к реализации междисциплинарной интеграции предметов, входящих в STEAM, и в настоящее время в педагогическом образовании подготовке будущих бакалавров математики в области реализации STEAM-подхода в профессионально-педагогической деятельности уделяется недостаточно внимания и мало научно-методических исследований, в которых затрагивались бы эти вопросы.

Таким образом, в процессе исследования проблемной области выявлено противоречие между существующими запросами цифрового общества, предъявляемыми к современному учителю математики в области реализации STEAM-подхода в образовании, и недостаточной теоретической и практической базой исследований в данном направлении.

Научно-практическая значимость проблемы, недостаточная ее теоретическая и методическая разработанность свидетельствуют об актуальности рассматриваемой темы.

Материалы и методы

В процессе исследования были изучены законодательные и нормативно-правовые документы РК в сфере образования, проведен анализ казахстанской и зарубежной научно-педагогической литературы в области внедрения и развития STEAM-подхода в образовании. Проанализирована суть кластеризации учебных дисциплин, рассмотрены возможности создания кластера учебных дисциплин для повышения эффективности подготовки будущего STEAM-педагога [1-3, 6-7].

Результаты и обсуждение

Для успешной реализации STEAM подхода в образовании в систему подготовки будущих бакалавров математики в педагогических вузах, безусловно, должны быть включены дисциплины по каждому блоку STEAM [8]. Учитель математики, как и все учителя, преподающие одну из STEAM дисциплин, должен иметь определенный уровень знаний и по другим дисциплинам. Более того, он должен быть готов к реализации междисциплинарной интеграции предметов, входящих в STEAM, для решения реальных практических задач, поскольку в реальной практике нет проблем только математических, технологических или естественнонаучных. Для решения реальных проблем наряду со знаниями и умениями в области математики, как правило, необходим комплекс умений практически по всем STEAM дисциплинам.

Вместе с тем, для эффективной реализации STEAM-подхода в школьном образовании, он должен владеть методикой организации обучения в логике STEAM. С этой целью в содержание подготовки STEAM-учителя математики необходимо включить еще и дисциплины, обеспечивающие формирование у него знаний по основным STEAM-технологиям, умений в области организации учебного процесса в условиях реализации STEAM-подхода, развитие навыков создания STEAM-заданий для учащихся.

Одной из таких дисциплин в системе профессиональной подготовки будущего педагога-бакалавра профиля «математика» к реализации STEAM-подхода в школьном образовании является дисциплина «STEAM-технологии в образовании», в содержании которой должны быть охвачены следующие вопросы:

- STEAM-образование и его роль в современном высокотехнологическом мире;
- Интегративный подход как основа STEAM-образования;
- Основные STEAM-технологии: история развития, дидактические возможности;
- Проектные технологии в STEAM -образовании;
- Кейс-технологии в STEAM -образовании;
- Роль цифровых технологий и их дидактические функции в STEAM-образовании;
- Средства и организационные формы STEAM-обучения (STEAM-кейс, STEAM-проект, STEAM-урок, STEAM-день и т.п.);

- Развитие STEAM-образования в Казахстане на современном этапе;
- Использование STEAM-технологий в общеобразовательной школе;
- Использование STEAM-технологий в учреждении дополнительного образования;
- STEM-центр, материально-техническое обеспечение, цели, функции;
- STEAM-компетентность и диагностика ее сформированности;
- Разработка STEAM-заданий для школьников.

Изучение их предполагает последовательное формирование готовности будущего учителя к успешной реализации STEAM-подхода в образовательном процессе [9].

Наряду с освоением теоретических вопросов большое внимание в ней уделяется практической ее составляющей. Практические работы, большей частью связаны с разработкой междисциплинарных проектных заданий, кейсов, интегрирующих знания STEAM-дисциплин, для использования в обучении школьников. Будущие педагоги должны понимать, что разрабатываемые ими STEAM-задания должны быть связаны с реальной жизненной ситуацией, быть близкими и понятными ученикам.

Работа над ними должна стать исходной точкой и центром, вокруг которого будет выстроено обучение и освоение STEAM-предметов. Основная их цель – обеспечить устранение, выявленных исследованием PISA, проблем казахстанского естественнонаучного образования, в числе которых отсутствие у обучающихся навыков применения полученных при изучении STEAM-дисциплин знаний на практике для решения реальных проблемных ситуаций, недостаточная организация межпредметных связей в обучении и слабое представление обучающихся о проблемах современной науки и техники, методологии проведения научных исследований.

STEAM-задания несколько схожи с заданиями PISA, проверяющими естественнонаучную грамотность обучающихся, но их решениями, как правило, служат конкретные инженерно-творческие продукты или их прототипы, полученные на основе применения знаний из разных предметных областей с учетом современных достижений в научно-технической индустрии. Например, создание модели беспилотного летательного аппарата с фиксированной зоной для записи видео, доставки спасательных баллонов на пляже, курьерской доставки пиццы и др. на основе полученных знаний по математике, физике и информатике. Создание метеостанции, которая сможет определять влажность и температуру воздуха, количество углекислого газа, атмосферное давление [10]. Или же создание различных инженерных конструкций: мостов, башен, кранов, создание турникетов, банкоматов, где, на основе изучения истории каждой конструкции, ее научной составляющей, проводятся математические расчеты, опыты и эксперименты.

Количество разработанных, готовых к использованию, проектных заданий для STEAM-обучения постоянно растет. Достаточно много интересных заданий представлено в трехтомном сборнике «Практические задания в области STEM-образования» российских авторов [11]. Кроме того, на базе Кокшетауского университета им. Ш.Уалиханова разработана и функционирует платформа, на которой агрегированы всевозможные учебно-методические материалы и ресурсы в области STEAM-обучения.

Основная цель их использования в обучении – повышение интереса учащихся к естественным наукам и математике. В процессе работы над ними они воочию сталкиваются с тем, в каких случаях и как работают законы физики, химии и других естественных наук. И тем самым, у учащегося повышаются аналитический потенциал и интерес к освоению нового, это положительно сказывается на его общей успеваемости в школе.

В КазНПУ им. Абая на протяжении нескольких лет функционирует STEAM-парк, где разрабатываются STEAM-проекты и проводятся STEAM-занятия, имеющие естественнонаучную направленность. Занимаясь разработкой STEAM-проектов при обучении курсу, будущие педагоги интегрируют знания по физике, математике, информационно-коммуникационным технологиям, робототехнике и вовлекаются в процесс инновационного научно-технического творчества. Это подчеркивает, что педагог должен владеть глубокими знаниями не только преподаваемой им дисциплины, но и иметь полноценное представление о материалах смежных дисциплин, знать ключевые элементы проектной деятельности. Эффективное их освоение и оптимальное формирование готовности будущего педагога-бакалавра математики к реализации STEAM-подхода в образовании возможно при создании кластера учебных дисциплин на основе единых целей, взаимно дополняющего и обогащающего друг друга содержания и общих технологий обучения, для организации образовательного процесса на интегративной основе [7].

Так, «Естествознание» – Математика – «Математическое моделирование и численные методы» – «Программирование» – «Робототехника» – «STEAM-технологии в образовании» в системе подготовки педагогов-бакалавров математики, являясь базовыми STEAM-дисциплинами, могут быть объединены на интегративной основе в один кластер. В программах данных дисциплин, немало пересекающихся тем, нередко в них встречаются темы, где с совершенно разных позиций рассматриваются одни и те же процессы, явления и объекты. Интеграция этих дисциплин позволяет оптимально использовать весь потенциал для системного решения междисциплинарных проектных заданий и кейсов.

Функционирование подобного кластера, создаваемого для наиболее эффективной реализации STEAM-подхода в обучении, осуществляется на трех соподчиненных уровнях: получения знаний по отдельным входящим в него дисциплинам, синтеза полученных знаний; их реализации посредством переноса в реальные жизненные ситуации при решении практических задач. Сразу же стоит отметить, что построенный кластер учебных дисциплин – открытая система, в нем возможно добавление или исключение учебных предметов из каждого блока STEAM дисциплин, и это не должно критическим образом влиять на его функционирование. Учебные предметы в кластере должны быть самостоятельными и равноправными по содержанию и количеству времени, отводимого на их изучение.

Организация учебного процесса в таком кластере позволяет [12-13]:

- обеспечить доступность имеющихся ресурсов, всех включенных в него дисциплин;
- обеспечить эффективное использование учебного времени за счет устранения дублирования изучения информации, общей для различных учебных предметов кластера;
- обогатить и систематизировать дисциплинарные знания за счет интеграции предметных областей, которая позволяет с различных позиций рассматривать изучаемые явления и предметы и, тем самым, обеспечить формирование у обучающегося целостной картины мира;
- повысить мотивацию обучающегося к освоению содержания интегрированных в кластер учебных дисциплин;
- стимулировать использование инновационных форм организации учебного процесса.

Эффективность ее зависит от правильно разработанной методической системы организации образовательного процесса: правильно поставленных целей обучения и путей их реализации, механизмов взаимодействия субъектов (педагогов и обучающихся) в кластере, отобранного содержания и технологий обучения.

Аналогично работе [7], могут быть выделены основные ее компоненты.

– Прежде всего, следует отметить проблемно-целевой ее компонент. Интеграция учебных дисциплин в кластер, как правило, осуществляется на основе общих мета-дисциплинарных целей, а также содержательных целей каждой из интегрируемых дисциплин. На основе этих целей формулируются основные цели организации образовательного процесса в создаваемом кластере. Если они определены, то в содержании каждого учебного предмета акцент преимущественно ставится на той информации, которая необходима для их достижения.

– Не менее важной ее составляющей является нормативно-регламентирующий и организационный компонент. Образовательный процесс в кластере учебных дисциплин осуществляется в соответствии с интегрированными учебными программами с учетом взаимных обязательств и соглашений учителей по организации контроля знаний учащихся, использованию имеющейся материально-технической базы, организации расписания учебных занятий и др.

При реализации STEAM-подхода в кластере учебных дисциплин работа над междисциплинарными проектами, увеличение учебного материала за счет междисциплинарных связей требуют новой организационной структуры образовательного процесса. Вместо обычного урока основной организационной единицей может быть учебный день, или даже учебная неделя, что создает возможность для более глубокого погружения в тему [14]. «Интегрированный» учебный день предполагает проведение занятий в одной учебной лаборатории или же аудитории в течение учебного дня по нескольким дисциплинам кластера. Последнее занятие учебного дня систематизирует и обобщает знания, освоенные на предшествующих занятиях этого дня. Задачи такого учебного дня соответствуют задачам предметного обучения и общепредметным учебно-воспитательным целям.

– Технологический компонент. Для организации эффективной работы кластера учебных дисциплин его субъектами (учителями и учащимися) формируется информационно-образовательная среда кластера, обеспечивающая коллаборационную деятельность педагогов, согласованное использование

существующей материально-технической базы, доступ к систематизированным учебным материалам по каждой дисциплине кластера.

– Содержательный компонент. В кластере учебная деятельность организуется с учетом выделенных основных целей и планируемых образовательных результатов на основе проектного подхода в междисциплинарной логике. Освоение предметного содержания предполагается через выполнение STEAM-проектов, в которых как полагается интегрировано научное знание и конструирование, современные технологии и математические расчеты.

Подобные междисциплинарные проекты разрабатываются на базе одного из STEAM-предметов, который является основным и, как правило, на основе реальной жизненной проблемы. Остальные, интегрируемые с ним учебные дисциплины, позволяют глубже понять суть изучаемого предмета, его связи с реальной жизнью и возможность применения знаний, полученных при их освоении, на практике.

Предметные знания при этом не передаются учащимся путем объяснения нового материала, как это было принято при традиционной форме обучения. Они, как правило, включаются в содержание STEAM-заданий, тематика которых определяется программой обучения и должны быть предварительно освоены учащимися для успешного выполнения поставленного перед ними задания.

Учебная информация предоставляется учащемуся только после постановки проектного задания и преимущественно в сжатом виде, в том объеме, который необходим для выполнения задания. При этом объем учебной информации становится значительно меньше, чем при традиционном обучении, но качество ее освоения учащимися оказывается гораздо выше.

– Оценочно-результативный компонент. Текущее оценивание учебных достижений учащихся осуществляется на каждом занятии по представленным отчетам, в которых отражены ответы на вопросы, результаты выполнения заданий, проведенных экспериментов, самостоятельно сделанные установки, приборы. Отчет служит предметом качественной оценки, на его основе оцениваются знание и понимание изучаемой темы, а также умения и навыки применения приобретенных знаний на практике. Итоговое оценивание осуществляется отдельно по выполненным проектным заданиям и ответам на теоретические вопросы.

Результаты образовательной деятельности сформированного кластера дисциплин отражаются в показателях его эффективности, как интегрированного научно-образовательного объединения по предметным и метапредметным показателям.

Чтобы обеспечить становление и профессиональное развитие STEAM-педагога, важно, чтобы он обучался в деятельности, через самостоятельное приращение новых знаний, компетенций, переосмысление имеющегося опыта применительно к новым задачам. С этой целью в процессе его подготовки может быть использован рекурсивный подход, суть которого заключается в создании будущими педагогами разнообразных STEAM-заданий (проектов, кейсов), интеллектуальных дидактических средств и использование их сразу же в образовательном процессе в кластере для себя и других.

Рекурсивный принцип обучения: «разрабатываю STEAM-задания (проекты, кейсы), по которым сам обучаюсь» обеспечивает будущего педагога необходимыми знаниями, умениями, опытом их разработки и использования на практике в реальных ситуациях для себя и других [15]. Этот подход существенно повышает мотивацию студентов к успешному обучению и усиливает интерес к будущей профессиональной деятельности, углубляет знания по STEAM-дисциплинам и способствует оптимальному формированию их готовности к реализации STEAM-подхода в образовании.

Заключение

STEAM-подход в образовании набирает популярность во всем мире и сегодня STEAM-образование приобретает статус глобального образовательного тренда.

Новая парадигма образования активно внедряется и в систему школьного образования на всех ее уровнях и базируется на междисциплинарном подходе, соединяя воедино естественнонаучные дисциплины, технологию, инженеррию, искусство и математику, активизирует интерес учащихся к ним, обеспечивает их подготовку к технико-технологическим инновациям жизни. В реализации STEAM-подхода в образовании математика, наряду с другими STEAM-дисциплинами становится одной из самых значимых учебных предметов.

Чтобы осуществить полноценную интеграцию STEAM подхода в школьное образование требуются учителя математики, обладающие высоким уровнем профессиональной компетентности для обучения на базе STEAM. Подготовка учителя математики для STEAM-образования требует как введения в образовательные программы дополнительных дисциплин, так и создания условий для развития навыков творческой, межпредметной проектной деятельности, STEAM-компетентности. Все это в значительной мере может быть реализовано на базе кластера учебных дисциплин, созданного на условиях целевого пересечения их содержания, а также возможности применения общих для них технологий обучения. В рамках такого кластера обеспечивается оптимальное формирование у будущих учителей математики определенных когнитивных характеристик и готовности к реализации STEAM-подхода в школе.

Такая форма организации обучения является наиболее приемлемой в подготовке педагогов к реализации STEAM-подхода в образовании, так как она обеспечивает создание среды, способствующей развитию целого спектра их способностей.

Список использованных источников:

- 1 Государственная программа развития образования и науки Республики Казахстан на 2016 - 2019 годы. – Астана, 2016. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1600000205>
- 2 Методические рекомендации по внедрению STEM образования. – Астана: Национальная академия образования им. И. Алтынсарина, 2017. – 162 с. www.nao.kz.
- 3 Кузекбай А. Назарбаев: В Казахстане необходимо активно внедрять STEAM- образование. – URL: https://baigenews.kz/o_klucyevih_napravleniyah_razvitiya_nish_rasskazal_glava_gosudarstva_17463/
- 4 https://baigenews.kz/o_klucyevih_napravleniyah_razvitiya_nish_rasskazal_glava_gosudarstva_17463/
- 5 Марьясина Т.Д. Образовательная робототехника. – М.: Издательство «Спутник +», 2019. – 40 с.
- 6 Колюшенко С.М., Кузьмин С.В. STEAM образование: профессиональная подготовка будущих учителей математики и информатики // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки, 2019. – №4(50). – С.185-89
- 7 Жадраева Л.У., Куатбаева Д.Е. Преподавание школьной физики в условиях STEM образования. / ВЕСТНИК КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки», 2020. – №1(69). – С.194-198. – DOI: <https://doi.org/10.51889/2020-1.1728-7901.33>
- 8 Баженова И.В., Клунникова М.М., Пак Н.И. Методическая система организации учебного процесса на основе кластера дисциплин // Преподаватель XXI век. 2021. № 1. Часть 1. С. 95–113
- 9 Анисимова Т.И., Сабирова Ф.М., Шатунова О.В. Подготовка педагогов для STEAM-образования // Высшее образование сегодня. – 2019. – № 6. – С. 31-35. – URL: [ссылка на ресурс https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38176071_80746133.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38176071_80746133.pdf), DOI: 10.25586/RNU.HET.19.06.P.31
- 10 Солозуб Н.С., Аршанский Е.Я. Особенности построения учебной дисциплины «STEAM-подход в естественнонаучном образовании» в контексте подготовки будущих учителей естественнонаучных учебных предметов // Высшая школа. – 2021. – № 3. – С. 47-52. – URL: [ссылка на ресурс https://elib.bsu.by/handle/123456789/271377](https://elib.bsu.by/handle/123456789/271377)
- 11 Садуакасова Б.С. Использование STEAM-технологий на уроках математики. – URL: <https://melimde.com/ispolezovanie-steam-tehnologij-na-urokah-matematiki.html>
- 12 Практические задания в области STEM-образования: Сборник в трех томах. Том 2. Задания для работы с учащимися 5–11 классов / Редактор и составитель А.С. Обухов. Научный консультант С.А. Ловягин. – М.: Библиотека журнала «Исследователь/Researcher», 2022. – 266 с.
- 13 Васин Е.К. Учебный кластер как условие реализации смешанного обучения на основе функционирования деятельностного треугольника // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. серия педагогические науки, 2016. № 2(90). – С.107-114
- 14 Гальченко Н.А. Интегративные процессы как фактор повышения качества общего образования средней школы: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – М., 2013. – 28 с.
- 15 Сухаревская, Е. Ю. Технология интегрированного урока: практ. пособие для учителей начальной школы, студентов пед. учеб. заведений, слушателей ИПК / Е. Ю. Сухаревская. – Ростов н/Д: Учитель, 2003. – 128 с.
- 16 Баженова И.В. Методика проективно-рекурсивного обучения программированию студентов математических направлений подготовки // дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Красноярск., 2015. – 159с.

References:

- 1 Gosudarstvennaja programma razvitiya obrazovanija i nauki Respubliki Kazahstan na 2016 - 2019 gody.(2016). [State Program for the Development of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for 2016-2019]. Astana. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1600000205>. (In Russian)

2 Metodicheskie rekomendacii po vnedreniju STEM obrazovanija [Methodological recommendations for the implementation of STEM education]. (2017). Astana: Nacional'naja akademija obrazovanija im. I. Altynsarina. 162 s. www.nao.kz. (In Russian)

3 Kuzekbaj A. Nazarbaev: V Kazahstane neobходимо aktivno vnedrjat' STEAM- obrazovanie [Nazarbayev: It is necessary to actively introduce STEAM education in Kazakhstan]. (In Russian) URL: https://baigenews.kz/o_klučevih_napravleniyah_razvitiya_nish_rasskazal_glava_gosudarstva_17463/.

4 Mar'jasina T.D. (2019) Obrazovatel'naja robototekhnika [Educational Robotics]. M.: Izdatel'stvo «Sputnik +». 40. (In Russian)

5 Konjushenko S.M., Kuz'min S.V. (2019) STEAM obrazovanie: professional'naja podgotovka budushhih uchitelej matematiki i informatiki [STEAM education: professional training of future teachers of mathematics and computer science]. Izvestija Baltijskoj gosudarstvennoj akademii rybopromyslovogo flota: psihologo-pedagogicheskie nauki, №4(50), 185-89. (In Russian)

6 Zhadraeva L.U., Kuatbaeva D.E. (2020) Prepodavanie shkol'noj fiziki v uslovijah STEM obrazovanija [Teaching school physics in STEM education]. VESTNIK KazNPU im. Abaja, serija «Fiziko-matematicheskie nauki», №1(69), 194-198. (In Russian) <https://doi.org/10.51889/2020-1.1728-7901.33>

7 Bazhenova I.V., Klunnikova M.M., Pak N.I. (2021) Metodicheskaja sistema organizacii uchebnogo processa na osnove klastera discipline [Methodological system of the educational process organization based on a cluster of disciplines]. Prepodavatel' XXI vek. № 1, Chast' 1. 95–113. (In Russian)

8 Anisimova T.I., Sabirova F.M., Shatunova O.V. (2019) Podgotovka pedagogov dlja STEAM-obrazovanija [Teacher training for STEAM education]. Vysshee obrazovanie segodnja. №6, 31-35. (In Russian). https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38176071_80746133.pdf, DOI: 10.25586/RNU.HET.19.06.P.31

9 Sologub N.S., Arshanskij E.Ja. (2021) Osobennosti postroenija uchebnoj discipline «STEAM-podhod v estestvennonauchnom obrazovanii» v kontekste podgotovki budushhih uchitelej estestvennonauchnyh uchebnyh predmetov [Features of the construction of the discipline "STEAM-approach in natural science education" in the context of training future teachers of natural science subjects]. Vyshhejschaja shkola. № 3, 47-52. (In Russian) <https://elib.bsu.by/handle/123456789/271377>

10 Saduakasova B.S. Ispol'zovanie STEAM–tehnologij na urokah matematiki [Using STEAM technologies in math lessons]. (In Russian) <https://melimde.com/ispolezovanie-steam-tehnologij-na-urokah-matematiki.html>

11 Prakticheskie zadanija v oblasti STEM-obrazovanija [Practical tasks in the field of STEM education]: Sbornik v treh tomah. Tom 2. Zadanija dlja raboty s uchashhimisja 5–11 klassov. Redaktor i sostavitel' A.S. Obuhov. Nauchnyj konsul'tant S.A. Lovjagin. M.: Biblioteka zhurnala «Issledovatel'/Researcher», (2022). 266. (In Russian)

12 Vasin E.K. (2016) Uchebnyj klaster kak uslovie realizacii smeshannogo obuchenija na osnove funkcionirovanija dejatel'nosnogo treugol'nika [Learning cluster as a condition for the implementation of mixed learning based on the functioning of the activity triangle]. Vestnik ChGPU im. I.Ja. Jakovleva. serija pedagogicheskie nauki, № 2(90). 107-114. (In Russian)

13 Gal'chenko N.A. (2013) Integrativnye processy kak faktor povyshenija kachestva obshhego obrazovanija srednej shkoly [Integrative processes as a factor in improving the quality of general secondary school education]: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk: 13.00.02. – M. 28. (In Russian)

14 Suharevskaja, E. Ju. (2003) Tehnologija integrirovannogo uroka [Integrated Lesson Technology]: prakt. posobie dlja uchitelej nachal'noj shkoly, studentov ped. ucheb. zavedenij, slushatelej IPK / E. Ju. Suharevskaja. Rostov n/D: Uchitel', 128. (In Russian)

15 Bazhenova I.V. (2015) Metodika proektivno-rekursivnogo obuchenija programmirovaniju studentov matematicheskikh napravlenij podgotovki [Methods of projective-recursive programming teaching for students of mathematical training areas] dis. ... kand. ped. nauk: 13.00.02. Krasnojarsk, 159. (In Russian)

ИНФОРМАТИКА
COMPUTER SCIENCE

МРНТИ 20.23.19
УДК 004.912

<https://doi.org/10.51889/3879.2022.77.24.017>

LINGUISTIC ONTOLOGY AS MEANS OF MODELING OF A COHERENT TEXT

Aitim A.K.^{1*}, Satybaldiyeva R.Zh.²

¹International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: a.aitim@iitu.edu.kz

Abstract

In real time, the size of information resources in natural language is growing rapidly. The processing of these resources urgently requires the presence of linguistic databases and knowledge. Processing of information resources in natural language requires the presence of text corpora and thesauri. To create and process them, markup languages and ontological models of subject areas are required. Insufficient use of linguistic and ontological knowledge used in information retrieval and automatic text processing applications leads to various problems: irrelevant search, poor-quality categorization and referencing of documents. The existing markup languages mainly contain concepts of Romano-Germanic and Slavic language groups. These puzzles are considered burning in the field of computational linguistics. For these purposes, it is proposed to create a metalanguage and an ontological model of the grammar of the Kazakh language.

Keywords: ontological model, Kazakh language, natural language, linguistic, Kazakh grammar, semantic.

Аңдатпа

Ә.Қ. Әйтiм¹, Р.Ж.Сатыбалдиева²

¹Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университетi, Алматы қ., Қазақстан

²Сатпаев Университетi, Алматы қ., Қазақстан

ЛИНГВИСТИКАЛЫҚ ОНТОЛОГИЯ БАЙЛАНЫСТЫ МӘТІНДІ МОДЕЛЬДЕУ ҚҰРАЛЫ

Қазіргі уақытта табиғи тілдегі ақпараттық ресурстардың көлемі тез өсуде. Бұл ресурстарды өңдеу жедел түрде лингвистикалық мәліметтер базасы мен білімнің болуын талап етеді. Ақпараттық ресурстарды табиғи тілде өңдеу мәтіндік корпус пен тезауристан құралады. Ақпаратты іздеу және мәтінді автоматты өңдеу қолданбаларында қолданылатын лингвистикалық және онтологиялық білімдерді жеткіліксіз пайдалану әртүрлі мәселелерге әкеледі. Қолданыстағы белгілеу тілдерінде негізінен роман-герман және славян тілдері топтарының ұғымдары бар. Оларды жасау үшін белгілеу тілдері және пәндік облыстардың онтологиялық үлгілері қажет болады. Бұл есептеуіш лингвистика саласында кеңінен таралған деп саналады. Сонымен қатар, мәтінді автоматты өңдеудің заманауи әдістеріне тіл мен әлем туралы қосымша білім көлемін енгізу күрделі мәселе болып табылады. Осы мақсатта қазақ тілі грамматикасының метатілі мен онтологиялық моделін жасау ұсынылады.

Түйін сөздер: онтологиялық модель, қазақ тілі, табиғи тіл, лингвистикалық, қазақ грамматикасы, семантикалық.

Аннотация

А.К. Айтiм¹, Р.Ж. Сатыбалдиева²

¹Международный Университет Информационных Технологий, г.Алматы, Казахстан

²Сатпаев Университет, г.Алматы, Казахстан

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ОНТОЛОГИЯ КАК СРЕДСТВО МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЯЗНОГО ТЕКСТА

В настоящее время объем информационных ресурсов на естественном языке стремительно растет. Развитие этих ресурсов требует наличия актуальной лингвистической базы данных и знаний. Обработка информационных ресурсов на естественном языке состоит из корпуса текстов и тезауруса. Недостаточное использование

лингвистических и онтологических знаний, используемых в приложениях для поиска информации и обработки текстов, приводит к различным проблемам. Существующие языки нотации в основном содержат понятия романско-германской и славянской языковых групп. Для их создания потребуются языки разметки и онтологические модели предметных областей. В то же время в современные методы автоматической обработки текстов трудно внедрить дополнительные знания о языке и мире. Для этого предлагается создать метамодель и онтологическую модель грамматики казахского языка.

Ключевые слова: онтологическая модель, казахский язык, естественный язык, лингвистика, казахская грамматика, семантика.

Introduction

Currently, due to the huge volumes of electronic documents, there is an increasing need for processing unstructured textual information, improving the quality and efficiency of existing text processing methods. The actively developing areas of processing unstructured textual information include tasks such as information retrieval, filtering, categorization, and clustering of documents, searching for answers to questions, automatic annotation of a document and a group of documents, search for similar documents and duplicates, document segmentation and much more.

Modern information retrieval and information analysis systems work with textual information in broad or unlimited subject areas, therefore, a characteristic feature of modern methods of processing textual information has become the minimal use of knowledge about the world and about language, reliance on statistical methods of accounting for the frequency of occurrence of words in a sentence, text, set of documents, the common occurrence of words, etc.

At the same time, the introduction of additional volumes of knowledge about the language and the world into modern methods of automatic text processing is a difficult task. This is since such knowledge must be described in specially created computer resources (thesauruses, ontologies), which must contain descriptions of tens of thousands of words and phrases. When using such resources, it is usually necessary to automatically resolve the ambiguity of words, i.e., choose the correct meaning. In addition, since the management of any resource's lags the development of the subject area, it is necessary to develop combined methods that consider both knowledge and the best modern statistical methods of text processing.

The metalanguage is intended for marking up texts of natural languages. A metalanguage has the following properties: with the help of its linguistic means, it is possible to express everything that is expressible by means of an object language, and to designate all signs, expressions of an object language for which there are names; in a metalanguage, it is possible to talk about the properties of an expression of an object language and the relations between them; it is possible to formulate definitions, designations, rules of education and transformations for object language expressions. There are well-known marking systems, such as the CLAWS marking system, which is used for marking the British Corps, the Brown Corps marking system, several marking systems are used in the American national Corps, about marking systems. All these systems are mainly used for marking up the English language.

These metalanguages are not adapted to describe the Turkic languages, which have many concepts different from the concepts of the above language groups. Therefore, the creation of a single metalanguage for marking up texts of Turkic languages is an urgent task for processing Turkic languages. Such a language will allow to unify the markup, facilitate their understanding, and use common software, as well as allow for a comparative analysis of linguistic concepts of the Turkic languages.

And also, in addition to the markup language, for computer processing of any natural languages, the formalization of their grammatical (morphological and syntactic) rules, the development of algorithms for the analysis and synthesis of words and sentences according to these rules, the software implementation of all these algorithms, the creation of thesauri by subject areas similar to WordNet, the construction of text corpora (database of marked texts) and other programs for text analysis and processing.

Ontology is used to formalize grammatical rules. Ontology is a conceptual scheme consisting of many concepts and many statements about these concepts, based on which classes, relationships, properties, functions, and individuals can be described. All ontological models are built in the Protégé environment, which makes it possible to simplify the process of creating, downloading, modifying, and transforming the knowledge base, as well as to provide it for general use in the form of joint viewing and editing. Ontology is a knowledge base, because if you add interpretive functions to the structural–semantic model, it will become a knowledge base.

Morphology modeling is related to all applications such as natural language processing and tasks, and includes information intelligence, sentiment testing, spelling correction, generated word detection, part-of-speech tagging, and entity extraction. Morphology is used in linguistics to refer to the study of the structure and formation of texts. Agglutinative languages are languages whose morphological system is characterized by the agglutination of all possible formants. Either prefixes or suffixes act as a formant, and each of them contains its own meaning.

1 Modeling the Structure of a Connected Text

Initially, information-search thesauruses were widely used as resources for information search. But they were created for manual indexing of documents by human indexers, and in recent decades their role has sharply decreased. Then a lot of experiments in the field of automatic text processing and information retrieval were carried out based on the thesaurus WordNet1. However, this thesaurus was created as a test of psycholinguistic theory and does not consider the features of automatic text processing, which is why there are many problems in its use in applied developments. In addition, many researchers have shown insufficient formalization of descriptions in the above types of thesauri, which leads to serious problems with automatic logical inference, necessary in many applications of automatic text processing and information search (search query extension, category output, ambiguity resolution, etc.).

Problems with logical inference are amplified when processing whole texts (as opposed to processing a single sentence), which can contain hundreds or thousands of words and have a complex internal structure.

One of the modern paradigms of computer resources describing knowledge about the world and subject areas is the so-called formal ontologies. At the same time, many researchers in this field see as their goal the development of rather complex formal approaches to the description of practically axiomatized theories. However, automatic processing of unstructured natural language texts with their ambiguity and inaccuracy is difficult to carry out using axiomatized theories. In addition, descriptions within such formalisms do not scale well for knowledge representations in broad unstructured subject areas.

When processing modern news streams, automatic annotation of news clusters, aggregates of messages on the same topic is of great importance. A news cluster is a collection of thematically related documents. Therefore, the thematic structure of a news cluster, as well as a separate element, is revealed by building a thematic representation of this cluster, and this representation is used to control the set proposals to the cluster annotation, namely, to solve such tasks as ensuring completeness, reducing repetitions, as well as ensuring the coherence of the cluster annotation.

To test the proposed model of annotation of the news cluster, the following experiment was conducted. The abstract consisted of a title and four sentences. For news clusters, their thematic representations were obtained.

Further, the manual annotations were marked up for the presence of the main thematic nodes for this cluster and named entities. The result of the analysis was the fact that 83% of the proposals of real manual annotations (out of the total number of proposals) made by linguistic experts satisfy the assumptions made. The peculiarity of the remaining 17% of the sentences is that they were all the last sentences of the manual annotation. The experiment proves that the assumptions made in the method of automatic annotation of news clusters have a high correlation with the structure of human annotations.

A multifactorial model for automatic extraction of terms from texts for automated expansion of the linguistic ontology.

The paper shows that the automatic selection of terms should be based on a set of different features of words and phrases, which should be combined into a multifactorial model. At the same time, such multifactor models should be portable from one subject area to another. In this study, an approach is proposed to identify many signs for automatic extracting terms from texts and combining these features with machine learning methods.

Linguistic ontologies are used in two stages: as one of the sources of signs and to assess the quality of extraction [1].

The proposed model uses three types of features to extract terms:

- features based on the text collection of the subject area.
- signs obtained from the information of the global search engine.
- features obtained based on a given thesaurus of the subject area (Fig.1.).

This is how the situation of the development of the existing thesaurus is modeled, in which the knowledge described in the current version of the thesaurus should be used to automatically extract new terms. The feature sets differ for individual words, two-word phrases, and phrases with many words.

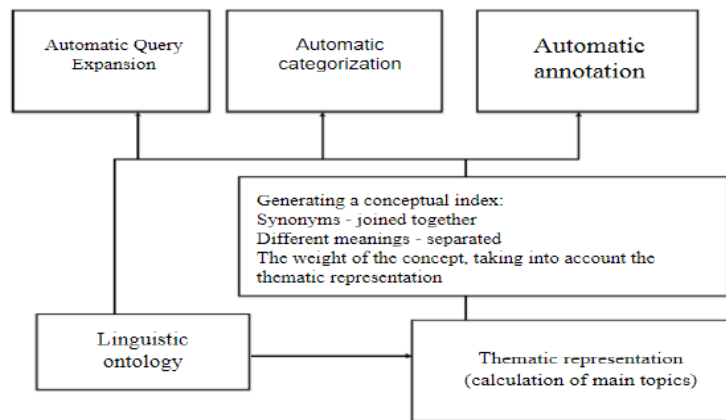


Figure 1. Scheme of automatic word processing applications

Machine learning methods are used to combine the selected features for the best extraction of domain terms. The task of applying the methods is to reorder the original list of words (originally ordered as the frequency decreases) so that as many terms as possible get to the top of the list. Thus, the best reordering of the list will reduce the expert's labor costs for entering terms into terminology resources – the expert will view words that are not terms less (Fig.2.).

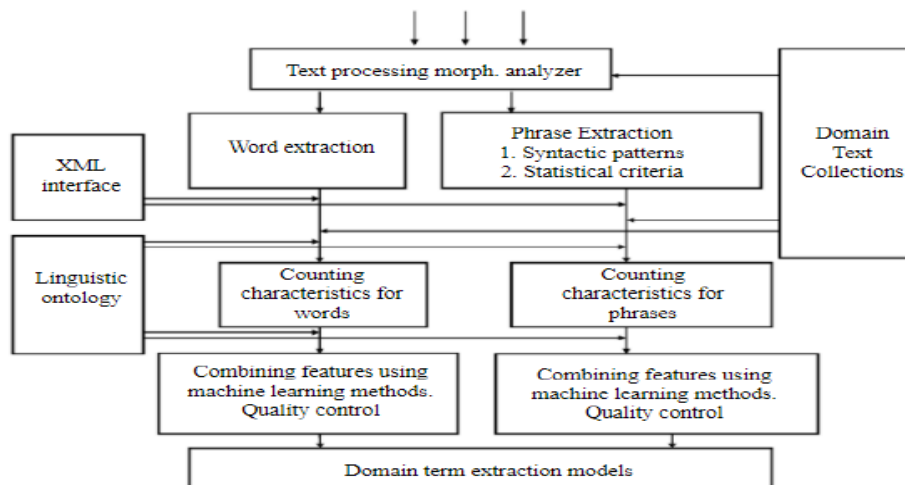


Figure 2. Scheme of the proposed method for self-acting extraction of definitions

2 The Structure of a Connected Text

Almost all word processing models in the field of information retrieval hope to self-embed texts in a coherent text. Between what is known, in fact, that the word has many texts related in meaning and contains an internal hierarchical structure. There are a fairly large number of possible applications of self-acting word processing that would be able to provide the best results if it were possible to mechanically identify the structure of the content of the connected word. Between them these applications are like self-acting segmentation of words, allowing polysemy, correct intelligence of information, one of the best determinations of the weights of definitions in a document, word categorization, automatic word annotation, etc. The concept of word coherence can be considered in several qualities.

Distinguish between structural connectivity and word connectivity. In practice, we are talking about internal (structural) and external (pragmatic) connectivity. Connectivity is the connection of text components, in which the interpretation of 1 text components is dependent on others. Connectedness is a connectedness brought about by something external to the word, primarily the knowledge of its addressee. Based on this knowledge,

the addressee can build a specific list and add links that are obviously not present in the text. From a different point of view, mass and local connectivity of a word is distinguished. The mass coherence of a word is guaranteed by the fact that the word itself contains a single theme. The local connectivity of the discourse takes place in the relationship between adjacent smallest units of the word [2].

Thematic Structure and Thematic Coherence of the Text

Determining the leading topic of a word is considered a necessary step for many information retrieval applications. The concept of the leading (or global) theme of the word is associated with these qualities of the word, as a connection directed to a certain topic and a construction directed to a certain topic. A word can be de jure connected through all sorts of guises of coherence, but if it does not contain a single theme, then it does not have the ability to be considered as a word. The topic of the whole word can be characterized in terms of subtopics, and subtopics in terms of even more local subtopics. Any sentence of the word corresponds to that or another subtopic of the hierarchical structure of the word. The macrostructure of a word determines its mass connectedness. "Without such mass connectivity, it would be impossible to steer local connections. Proposals have every chance of being perfectly connected in terms of local connectivity, but they could be rejected if there were no massive restrictions on their content" [3].

Including the manual processing of the word by specialists, it is not easy to discern the hierarchical structure of the word one by one. Thus, when manually indexing or categorizing documents, different interpretations of side documents by different specialists are considered one of the significant moments of the subjectivity of these processes [4].

In self-acting document processing, the significance of a text or a term for the content of a word, their proximity to the leading topic of the document is evaluated with the support of special weights. It is expected, in fact, that the higher in the hierarchy of the structure directed to a certain subject the text or the term is mentioned, that they are closer to the main thing.

3 Method of Text Polarity Analysis

There are 3 leading ways to determine the polarity of a word:

1. Testing the word by means of vector analysis (often with the introduction of r-gram models), comparing the word with the previously indicated reference body according to the chosen measure of proximity, and classifying (classifying) it as negative or flatter in the end comparison [5].

2. Reconnaissance of psychological vocabulary (lexical polarity) in the text according to polarity dictionaries compiled in advance (lists of templates) with the introduction of linguistic analysis, the word can be assessed on a scale that reflects the number of negative and positive vocabulary. This method can apply as lists of patterns that are inserted into systematic expressions, for example, and criteria for combining a polarity dictionary into a sentence.

3. Mixed method (combination of the first and 2 approaches). In real-time word polarity test produced from several frontiers.

At the first stage, Internet pages are processed according to a special category, which analyzes the pages for the table of contents of the main texts from the database.

At the second stage, the word of selected web pages is processed by morphological analysis to determine the parts of speech and the data of any part of speech.

At the third stage, a lightweight syntactic test works: texts and phrases are combined into chains of polarities; A sentence has a subject, a predicate, and an object.

At the fourth stage, a lightweight self-acting instruction works; it determines the polarity of the word.

Morphological Analysis

Kazakh is an ordinary Turkic language, retaining the bulk of the group's cumulative devil and having some common Kipchak features. structural and typological features of the Kazakh language in the leading language are associated with its adaptation to agglutinative languages [6]. As a rule, the description of an agglutinating similarity is used for a set of symptoms, which includes not only phonetic, but also morphological and syntactic symptoms. The order of completion in the Kazakh language is strictly defined. For example, for nouns at the beginning, completions of a numerous number are added to the base of the text, followed by possessive completions (that is, the object belongs to the person), followed by case completions, and after that,

completions of conjugation forms (animate nouns are added). In general, the Kazakh language is a perfectly formalized language [7].

Almost all word processing models in the field of information retrieval hope to self-embed texts in a coherent text. Between what is known, in fact, that the word has many texts related in meaning and contains an internal hierarchical structure. There are a fairly large number of possible applications of self-acting word processing that would be able to provide the best results if it were possible to mechanically identify the structure of the content of the connected word. Between them, these applications, such as self-acting segmentation of words, allowing polysemy, correct intelligence of information, one of the best determinations of the weights of definitions in a document, word categorization, automatic word annotation, etc. The concept of word coherence can be considered in several qualities [8].

Distinguish between structural connectivity and word connectivity. In practice, we are talking about internal (structural) and external (pragmatic) connectivity. Connectivity is the connection of text components, in which the interpretation of 1 text components is dependent on others [9]. Connectedness is a connectedness brought about by something external to the word, primarily the knowledge of its addressee. Based on this knowledge, the addressee can build a specific list and add links that are obviously not present in the text. From a different point of view, mass and local connectivity of a word is distinguished. The mass coherence of a word is guaranteed by the fact that the word itself contains a single theme. The local connectivity of the discourse takes place in the relationship between adjacent smallest units of the word [10].

Determining the leading topic of a word is considered a necessary step for many information retrieval applications. the concept of the leading (or global) theme of the word is associated with these qualities of the word, as a connection directed to a certain topic and a construction directed to a certain topic. A word can be de jure connected through all sorts of guises of coherence, but if it does not contain a single theme, then it does not have the ability to be considered as a word [11]. The topic of the whole word can be characterized in terms of subtopics, and subtopics in terms of even more local subtopics. Any sentence of the word corresponds to that or another subtopic of the hierarchical structure of the word. The macrostructure of a word determines its mass connectedness. “Without such mass connectivity, it would be impossible to control local communications. Proposals have every chance of being perfectly connected in accordance with aspects of local connectivity, but they could be rejected if there were no massive restrictions on their content.

Semantic networks are one of the methods of artificial origin of the mind to represent knowledge in natural language. The semantic network provides an information model of the subject area, which has a picture of a targeted graph, the tops of which correspond to the objects of the subject area, and the edges determine the relationship between them. Objects have every chance of being opinions, actions, qualities, processes. Thus, semantic networks are considered one of the methods for representing knowledge in natural language. In recent years, in the works of many scientists, it is proposed to apply graph dynamic systems as a formal basis for designed mental systems, abstract logical-semantic models of mental systems.

In real time, almost all scientists are working on the creation of systems for morphological and syntactic analysis. The note describes layouts applicable for agglutinative languages, and studies on automating the semantic analysis of words in the Kazakh language are presented in a rather small number.

The task of semantic analysis is carried out in the construction of a semantic graph of a word. In contrast to the morphological and syntactic, at the semantic stage, a formal representation of the meaning of the word is noticed. In the process of semantic analysis, the semantic interpretation of texts and systems is performed, the matters between the larger substances of the word are clarified.

Conclusion

Extracting information from texts is a sufficiently developed area of computational linguistics and automatic text processing, offering a wide range of methods and appropriate tools for building various application systems, as well as demonstrating a sufficiently effective solution to the problems of extracting different types of information.

The relevance of the tasks of the direction remains: the construction of an effective model can significantly facilitate the subsequent processing of the extracted structured data, which is a key moment in the life cycle of accumulation and use of new knowledge for processing the text of the Kazakh language.

In systems of self-acting word processing, 5 leading frontiers of analysis are usually distinguished: graphemic, morphological, fragmentation, syntactic and semantic. It has been noted that, in fact, when processing words in the Kazakh language, it is not easy to clearly divide the boundaries of morphological,

syntactic, and semantic analysis, there is their connection. This is due to the peculiarities of word formation in the languages of the given structure. Other than that, it's these 3 steps that cause the biggest problems with automation outside of language dependency. As a result, in the provided note, we restrict ourselves to their consideration.

References:

- 1 Aitim A., Satybaldiyeva R., Wojcik W., (2020) "The construction of the Kazakh language thesauri in automatic word processing system," *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS*, pp 1-4, doi:10.1145/3410352.3410789.
- 2 Satybaldiyeva R., Uskenbayeva R., Moldagulova A., Kalpeyeva Z., and Aitim A., (2019) "Features of Administrative and Management Processes Modeling", *World Congress on Global Optimization*, pp. 842-849, doi:10.1007/978-3-030-21803-4_84.
- 3 Satybaldiyeva R.Zh., Aitim A.K., (2020) "Analysis of methods and models for automatic processing systems of speech synthesis," *International Journal of Information and Communication Technologies* 1 (2), pp. 118-123.
- 4 Aitim A.K., Satybaldiyeva R.Zh., (2020) "Methods of applying linguistic ontologies in text processing", *Proceedings of the Scientific and Technical Society, Kakhak* 1 (72), pp.132-137
- 5 Barzilay R., Lee L., (2017) "Catching the drift: Probabilistic content models, with applications to generation & summarization," *In 43rd Annual Meeting of ACL, Ann Arbor, MI*, pp. 113–120.
- 6 Bateman J., (2015) "Enabling technology for multilingual nat. lang. generation: the KPML development environment," *Nat. Lang. Engineering*, 3 (1), pp. 15–56.
- 7 Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O., (2016) "The Semantic Web," *Sc. American*, pp. 34–43.
- 8 Bontcheva K., (2015) "Generating tailored textual summaries from ontologies," *In 2nd European Semantic Web Conf., Heraklion, Greece*, pp. 56-63.
- 9 Bontcheva K., Cunningham H., (2016) "The Semantic Web: a new opportunity and challenge for human language technology," *In Workshop on Human Lang. Tech. for the SW and Web Services, 2nd Int. Semantic Web Conf., Sanibel Island, FL*, pp. 179-185.
- 10 Reed S., Lenat D., (2017) "Mapping ontologies into Cyc", *AAAI 2002 Conference Workshop on Ontologies for the Semantic Web, Edmonton, Canada*, pp. 206-215.
- 11 Gomez-Perez A., Manzano-Macho D., (2015) "An overview of method and tools for ontology learning from texts," *Knowledge Eng Rev*, pp. 187-212, doi:10.1017/S0269888905000251.
- 12 Maedche A, Staab S. (2016) "Discovering conceptual relations from text," *In: Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence, Berlin*, pp. 321-325.

DEVELOPMENT OF SYSTEMS FOR EFFECTIVE ESTIMATION OF CREDIT SCORES

Aitim A.K.^{1*}, Sembina G.K.¹

¹International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: a.aitim@iitu.edu.kz

Abstract

The article represented that in connection with the increasing importance of the time factor, automated methods of assessing creditworthiness are now becoming increasingly important. With mass consumer lending, practically in the presence of a potential borrower, it becomes necessary to decide on granting a loan. To operate profitably in the retail lending market, an effective risk assessment system is required, which would make it possible to cut off unreliable borrowers in advance and not refuse reliable borrowers, and reasonably determine the size of a consumer loan or a credit card limit. This system should create a margin of safety for the bank. One of such automated methods for assessing the creditworthiness of a counterparty is the scoring method.

Keywords: lending, credit scoring, score modelling, logistic regression, risk assessment system, lending market.

Аңдатпа

Ә.Қ. Әйтiм¹, Г.К. Сембина¹

¹Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университетi, Алматы қ., Қазақстан

КРЕДИТТІК КӨРСЕТКІШТІ ТИІМДІ БАҒАЛАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ӘЗІРЛЕУ

Мақалада уақыт факторының маңыздылығының артуына байланысты несиелік қабілеттілігін бағалаудың автоматтандырылған әдістері қазіргі уақытта барған сайын маңызды болып отырғаны көрсетілген. Несиелік бағалау банктер несиелік басқару шешімдерін қабылдаған кездегі маңызды үдерістердің бірі болып саналады. Жаппай тұтынушылық несиелендіру кезінде, іс жүзінде әлеуетті қарыз алушының қатысуымен несиелік беру туралы шешім қабылдау қажет болады. Несиелендіру нарығындағы табысты жұмыс істеу үшін сенімсіз қарыз алушыларды алдын ала кесіп тастауға және сенімді қарыз алушылардан бас тартпауға, тұтыну несиелік сомасын немесе картасының лимитін негізді анықтауға мүмкіндік беретін тәуекелді бағалаудың тиімді жүйесі қажет. Бұл жүйе банк үшін қауіпсіздік маржасын құруы керек. Контрагенттің несиелік қабілетін бағалаудың автоматтандырылған әдістерінің бірі баллдық әдіс болып табылады.

Түйін сөздер: несиелік бағалау, несиелік скоринг, скорингтік модельдеу, логистикалық регрессия, тәуекелді бағалау жүйесі, несиелік нарығы.

Аннотация

А.К. Айтiм^{1*}, Г.К. Сембина¹

¹Международный Университет Информационных Технологий, г.Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ЭФФЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ КРЕДИТНЫХ РЕЙТИНГОВ

В статье представлено, что в связи с возрастанием значения фактора времени в настоящее время все большее значение приобретают автоматизированные методы оценки кредитоспособности. Оценка кредитоспособности считается одним из важнейших процессов, когда банки принимают решения по кредитному менеджменту. При массовом потребительском кредитовании практически в присутствии потенциального заемщика возникает необходимость принятия решения о выдаче кредита. Для прибыльной работы на рынке розничного кредитования необходима эффективная система оценки рисков, которая позволяла бы заранее отсеять неблагонадежных заемщиков и не отказывать надежным заемщикам, обоснованно определить размер потребительского кредита или лимита по кредитной карте. Эта система должна создать запас прочности для банка. Одним из таких автоматизированных методов оценки кредитоспособности контрагента является метод скоринга.

Ключевые слова: кредитование, кредитный скоринг, скоринговое моделирование, логистическая регрессия, система оценки рисков, кредитный рынок.

1 Introduction

Credit evaluation is considered one of the most important processes when banks make decisions on credit management. This process involves the collection, testing and systematization of various credit components and variables for evaluating credit opinions. The quality of bank loans is considered the main factor

determining the competitiveness, viability and profitability of banks. Credit scoring is considered one of the more powerful sets for systematizing bank buyers as part of the credit assessment process to reduce the current and expected risk of a bad credit situation of the buyer. To build a credit scoring model, you need to have high-quality data about borrowers, such as how the accuracy of the model depends on the data you choose to study it. Proper data is essential for predicting various types of lending, for example, for consumer loans and business loans, the models will differ [1].

For the subsequent construction of the model and assessment of its quality, it is important to consider the ratio of the amount of data corresponding to the default of customers and successful solvency. For the model to work correctly, it is necessary to have approximately the same number of both default and successful orders in the data. It is extremely important for the study to precisely determine the loan defaults, so there should be many such examples in the data.

2 Collection of Necessary Data and Initial Processing

The advances in technology have allowed money lenders to reduce credit risk by using all sorts of customer data. By applying statistical and machine learning techniques, cheap data is analyzed and reduced to a single value, known as a credit score, representing credit risk. This sense has the ability to assist in making a conclusion. The higher the credit rating, the more the lender is able to be in no doubt about the creditworthiness of the buyer. Credit scoring is an artificial intelligence configuration based on predictive modeling that considers the possibility that the customer will actually default on a loan promise, be delinquent or insolvent. The prediction model is “trained” by applying historical customer data along with peer group and other data to predict the possibility that a given customer will actually exhibit a particular behavior in the future [2].

The biggest advantage of credit scoring is the ability to quickly and effectively make decisions, for example, to accept or reject a buyer, or to increase or decrease the loan price, interest rate or term. As a result, the speed and accuracy of these judgments have made the credit rating the cornerstone of risk management across all sectors, spanning banking, telecommunications, insurance and retail.

Credit scoring can be used throughout the entire customer interaction cycle, including the duration of the customer interaction throughout the relationship between the customer and the organization. But they are primarily intended for credit risk departments, marketing departments still have every chance to benefit from credit scoring methods in their own advertising campaigns [3].

When evaluating orders, the risk of non-compliance with promises by fresh bidders is assessed when deciding whether to accept or reject orders. Behavioral evaluation considers the risk of default associated with an existing customer when making judgments regarding account management such as credit limit, overlimit management, fresh produce. Collection estimation is used in loan collection strategies to estimate the likelihood that buyers who dispose of the pledged asset will repay the obligation.

The development of a scientific and competent method and the prevention of individual proposals in this assessment using a credit rating system can be an effective step towards the optimal distribution of collected funds and the reduction of deferred receivables and, consequently, to improve the efficiency of the banking system. Satisfactorily, credit scoring models increase the efficiency of credit solutions in the production of services and meeting the needs of customers and will also be able to reduce the causes of material needs and default of borrowers. Therefore, it is necessary to develop a calming tool for measuring the credit risk of its customers, and for this tool it is necessary to do qualitative and quantitative credit risk using the credit scoring method.

The exchange of information on the characteristics of loans for loans and the proportion of their debt can have a significant impact on the effectiveness of credit markets.

- Firstly, the exchange of information and knowledge improves the bank's understanding of the characteristics of applicants for benefits and gives more accurate forecasts of the relative probability of placement.

- Secondly, according to the fundamentals of credit alienation of banks, the interest rate on their credit resources may fluctuate depending on the level of risk of applicants to a certain extent with the strengthening of monetary and tax policy.

- Thirdly, this system can be used to create loan recipients, and, after that, the indicator can reduce the motivation of bank customers to receive additional services and exceed their capabilities by placing various banks and modeling their own condition (without expressing and declaring the real balance of their own received funds) [4].

The Process of Building a Valuation Map Model

Over the years, several different modeling techniques have been observed to implement credit scoring. They range from parametric or non-parametric, statistical or machine learning to supervised or unsupervised algorithms. The latter methods involve rather difficult spreads involving hundreds or thousands of different models, different test structures, and ensemble methods with several learning methods to achieve greater accuracy.

Ignoring this diversity, the method of modeling is different - the credit rating model. Commonly referred to as a normal scorecard, it is based on logistic regression as the underlying model. In comparison with other modeling methods, this method meets almost all the claims, in fact, which prepares it with the desired alignment between practitioners and is used by almost 90% of the creators of indicator charts. A feature system model is simple to build, understand, and implement, and can be nimbly implemented. Being a hybrid of statistics and machine learning, its predictive accuracy is comparable to other more complex methods, and its estimates have every chance of being applied precisely as probability estimates and, therefore, for direct data entry for risk-based pricing. This is quite fundamental for lenders that comply with the Basel II regulatory framework. While instinctive and straightforward to interpret and justify, scorecards are mandated by regulators as the exclusive way to model credit risk in some countries.

The business intelligence test uses these methods as a measurement data test, a method of combining univariate and multivariate statistics, and all kinds of data visualization methods [5]. Correlation, cross-tabulation, scatter, timeline test, and supervised and unsupervised segmentation test are considered common methods. Segmentation is special because it determines when a certain number of scorecards are needed.

The choice of variables based on the results of business intelligence analysis is introduced with the division of the data mining view as a minimum number into 2 different sections: the section for study and testing. Variable selection is a set of model candidate variables whose significance is tested during model learning. Candidate model variables are still popular as autonomous variables, predictors, attributes, model moments, covariates, regressors, functions, or properties [6].

The main task is to find the right set of variables so that the scorecard model can not only rank buyers based on the likelihood of their having bad debts, but also consider the possibility of their having bad debts. Typically, this means choosing statistically important variables in the predictive model and having an equilibrium set of predictors (usually 8-15 is a good balance) to approximate a 360-degree view of buyers. In addition to buyer-specific risk features, we still need to consider the likelihood of connecting regular risk moments to account for financial drift and volatility [7].

When choosing variables, there are a few restrictions:

- For starters, the model typically has some high predictor variables that are prohibited by legal, ethical, or regulatory rules.
- Secondly, some variables have every chance of being unattainable or of low quality at the modeling or manufacturing steps. Apart from this, there is every chance of being significant variables that were not recognized as such, for example, due to the periodic oversight of the population selection or because of such that their model effect would be inconsistent due to multicollinearity.
- And, in the end, the last text every time will be the case, and he can insist on connecting only variables that are significant for the business, or to insistently ask for uniformly growing or decreasing effects.

All these limitations are considered likely sources of periodic misses, which in fact makes it difficult for data scientists to minimize periodic selection misses. Common preventive measures in variable selection include:

- Collaboration with experts in the given field to identify significant variables;
- Awareness of every dilemma related to data source, reliability or measurement error;
- data cleaning;
- Introduction of control variables to account for unresolved variables or certain activities such as financial drift. It is important to understand that the choice of variables is an iterative process that happens throughout the entire process of building a model.
- It occurs before model fitting by reducing the number of variables in the data mining view to a manageable set of candidate variables;
- lasts in the process of learning the model, where subsequent reduction is performed as a result of statistical insignificance, multicollinearity, small contributions, or penalties to avoid overfitting;
- Lasts during the evaluation and testing of the model;

- Ends during business assertion, where the readability and interpretability of the model play a significant role [8].

The selection of variables is completed after reaching the "golden spot" - this means that further improvement in terms of model accuracy cannot be achieved. The iterative nature of the variable selection process is shown in Fig.1.

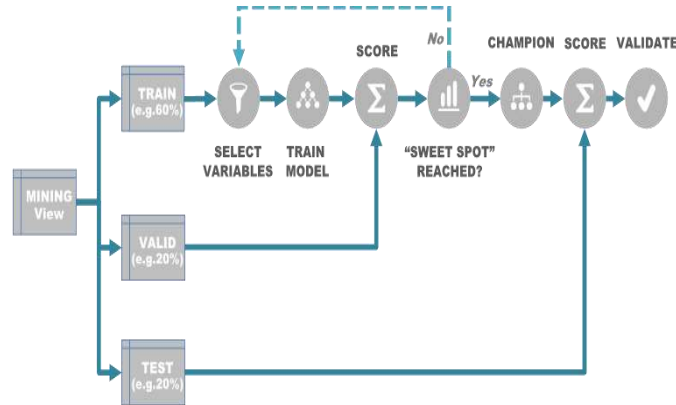


Figure 1. Iterative nature of the variable selection process

In addition to some general recommendations for solving this problem, the data specialist should offer the best approach to converting the signature of the client's data into a powerful information artifact - a representation of data mining. This is probably the most creative and most challenging aspect of the data scientist role, as it requires a solid understanding of the business in addition to statistical and analytical skills. Very often, the key to creating a good model is not the power of a particular modeling method, but the breadth and depth of derived variables that represent a higher level of knowledge about the phenomena being studied.

3 Preparation and Development of a System Indicators

The data preparation process begins with data collection, commonly referred to as an ETL (extract-transform-load) move. Data integration brings all kinds of informants together using data joining and grouping. As a rule, this requires the manipulation of relational tables with the implementation of several rules of unity, such as entity unity, referential unity, and domain unity [9]. Applying one-to-one, one-to-many, or many-to-many cases, the data is aggregated to an important analysis value, resulting in the original signature of the buyer. The process of preparing data for filling in the scorecard is shown in Figure 2.

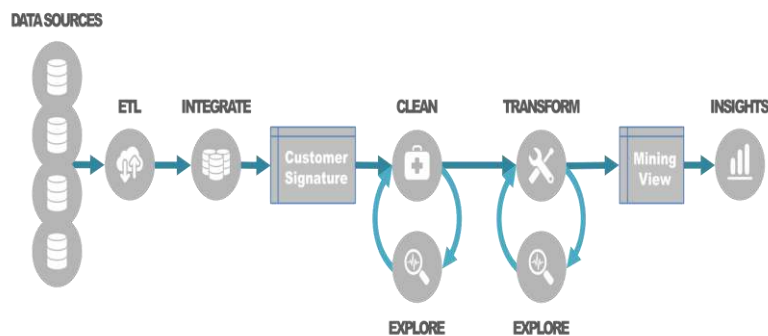


Figure 2. Data preparation process

Before deciding how to cultivate missing meanings, we need to understand the basis of missing data and understand the distribution of missing data so that we can systematize them as:

- Completely absent by accident (MCAR);
- Missing by accident (MAR);
- Missing is not accidental (MNAR).

Handling missing data is often associated with MCAR and MAR, during which time it is more difficult to work with MNAR.

The presence of outliers has the potential to fail the statistical assumptions on which we intend to build the model. Subsequently identifying is fundamentally to understand the background of the outliers before using any kind of healing. For example, outliers have every chance of being a valuable source of information when fraud is detected; as a result, it would be a bad idea to change them with the mean or median meaning.

Data mining and data cleansing are considered mutually cyclical steps Data mining includes both univariates, eg, and bivariate testing and ranges from univariate statistics and frequency spreads to correlations, crosstabs, and data analysis. A univariate exploratory data test is shown in Figure 3.

Variable	NMiss	Min	Max	Mean	Std Dev	Variance	Kurtosis	Skewness	2.5%	97.5%
age	0	17	90	38.58165	13.64043	186.0614	-0.16613	0.558743	18	68
education_num	0	1	16	10.08068	2.57272	6.61889	0.623444	-0.31168	4	15
capital_gain	0	0	99999	1077.649	7385.292	54542539	154.7994	11.95385	0	8614
capital_loss	0	0	4356	87.30383	402.9602	162376.9	20.3768	4.594629	0	1887
hours_per_week	0	1	99	40.43746	12.34743	152.459	2.916687	0.227643	12	66
ID	0	1	32561	16281	9399.695	88354274	-1.2	-457E-20	815	31747
churn	0	0	1	0.24081	0.427581	0.182826	-0.53005	1.21243	0	1
NUM_TRANS	197	1	17	5.030435	2.202696	4.851869	0.151042	0.487854	1	10
MAX_AMOUNT	197	7	5000	4031.597	914.8534	836956.7	2.158614	-1.48581	1556	4974
MIN_AMOUNT	197	0	4982	967.4932	919.1578	844851.1	2.279718	1.515301	25	3521
AVG_AMOUNT	197	7	4982	2500.48	739.0471	546190.7	0.342705	0.020696	1015.833	4020.6
SUM_AMOUNT	197	7	46553	12577.97	6396.807	40919141	0.306289	0.594045	2143	26534
RECENT	197	1	11	2.656934	1.973419	3.894384	2.30203	1.531862	1	8

Figure 3. EDA (one-dimensional view)

Subsequently, exploratory data analysis (EDA) data is processed to increase properties [10]. Data cleansing requires good business conduct and data awareness so that the data can be correctly interpreted. It is an iterative process designed to eliminate violations and replace, reconfigure, or remove these violations as needed. The 2 main difficulties with dirty data are missing meanings and outliers; both have every chance of strongly influencing the accuracy of the model, because of which prudent intervention is needed.

Variable Transformations

Scorecard development outlines how to turn the data into a scorecard model if data preparation and the initial variable selection process (filtering) are completed and the filtered training dataset is available for the model building process. The development process is made up of 4 main parts: rearranging the variables, learning the model with the implementation of logistic regression, testing the model and scaling. Figure 4 illustrates the process of developing a feature system.

The usual scorecard model based on logistic regression is seen as an additive model. Accordingly, special rearrangements of variables will be required.

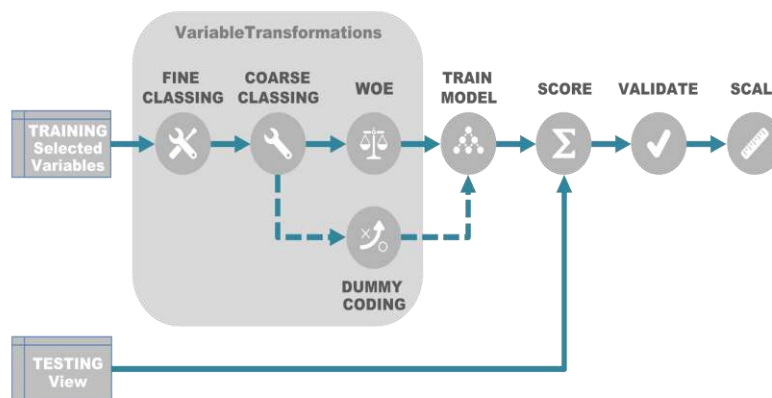


Figure 4. The process of developing a system of indicators

Training, Scaling and Evaluation of the Model

Model evaluation is considered the last step in the model construction process. It is produced from 3 separate milestones: evaluation, testing, and acceptance.

The main metrics assessed are statistical characteristics, covering model accuracy, complexity, miss rate, model correlation statistics, variable statistics, sense of significance, and odds ratios [11].

The choice of test metric depends on the similarity of the model classifier. The most common indicators for binary systematization problems are the lifting diagram, the lifting force diagram, the ROC curve, and the Kolmogorov-Smirnov diagram. The ROC curve is the most common inventory for visualizing model data. This is a universal tool that is used for:

- champion-challenger methodology for choosing a more efficient model;
- Testing the performance of the model on invisible data and comparing it with the training data;
- Choosing a rational threshold that maximizes the number of true positives and minimizes the number of false positives.

The ROC-curve is based on the method of raising the dependence of sensitivity on the probability of false positives (false positives ratio) at all possible thresholds. A desirable feature of the ROC curve is the assessment of performance characteristics at various thresholds. Different types of business problems will have different threshold meanings depending on the business strategy.

The area under the ROC curve (AUC) is a useful indicator to indicate the predictive ability of a classifier. As far as credit risk is concerned, an AUC of 0.75 or higher is considered an industry stereotype and a sine qua non for model acceptance. Figure 6 shows the performance characteristics of the model.

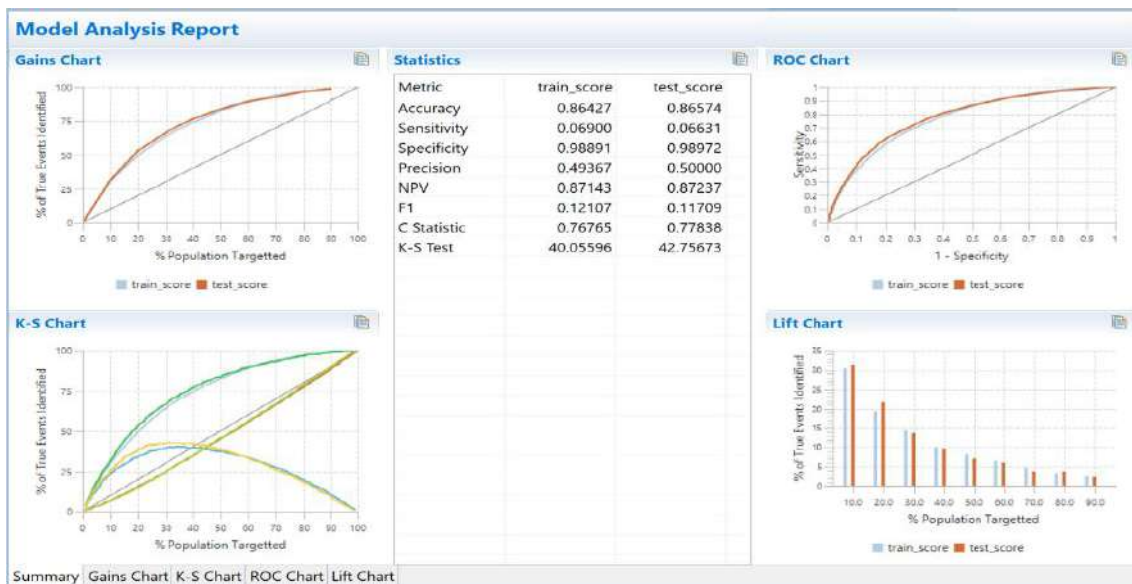


Figure 5. Performance indicators of the model

Receiving utility is seen as a critical boundary when a data professional is obliged to rebuild models for business and “protect” this model. The main aspect of the evaluation is the financial benefit of the model, because of which the benefit test occupies a central place in the presentation of the results. Data scientists are required to make every effort to suggest summaries in short form so that the cross section and output are simply skipped and understood. Failure to receive this can lead to withdrawal from the model and, therefore, to a breakthrough of the plan.

Conclusion

Banks face a wide range of risks in their day-to-day operations. The main activity of banks is to raise funds by issuing various loans to individuals and legal entities. The subsequent assessment of credit risk is one of the main tasks in the banking sector. The production methods used by banks to create scoring models are analyzed. Various statistical approaches to the analysis of the model quality are considered. Automation of such a routine procedure as evaluation allows banks to reduce the costs of joint operations, freeing up labor and financial resources to do other tasks. Therefore, the use of modern machine learning algorithms can help in solving real business problems.

References:

- 1 Gulzat T., Lyazat N., Siladi V., Gulbakyt S., Maksatbek S., (2017) *Research on predictive model based on classification with parameters of optimization*, *Neural Network World*, 30 (5), pp.295-301.
- 2 Bulantayev A.M., Musakhan K.B., Moldagulova A.N., Sembina G.K., (2016) "Forecasting expected bank losses at granting a loan," *International Journal of Information and Communication Technologies*, pp.154-159.
- 3 Satybaldiyeva R., Uskenbayeva R., Moldagulova A., Kalpeyeva Z., and Aitim A., (2019) "Features of Administrative and Management Processes Modeling", *World Congress on Global Optimization*, pp. 842-849, doi:10.1007/978-3-030-21803-4_84.
- 4 Lee T.S., and Chen I.F., (2015) "A two-stage hybrid credit scoring model using artificial neural networks and multivariate adaptive regression splines", *Expert Systems with Applications*, 28(4), pp. 743-752, doi:10.1016/j.eswa.2004.12.031.
- 5 Edelman D.B., and Crook J.N., (2016) "Credit scoring and its applications. *Society for Industrial Mathematics*", pp. 184-192.
- 6 Thomas L.C., (2017) "A survey of credit and behavioural scoring: forecasting financial risk of lending to consumers", *International Journal of Forecasting*, 16(2), pp. 149-172, doi:10.1016/S0169-2070(00)00034-0.
- 7 Abdou H.A., and Pointon J., (2015) "Credit scoring, statistical techniques and evaluation criteria: a review of the literature", *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, pp. 45-66.
- 8 Leung K., (2015) "A comparison of variable selection techniques for credit scoring", pp. 53-59.
- 9 Tsai C.F., and Chen M.-L. , (2018) "Credit rating by hybrid machine learning techniques", *Applied Soft Computing*, 10(2), pp. 374-380, doi:10.1002/isaf.325.
- 10 Luo S.T., Cheng B.-W., and Hsieh C.-H., (2017) "Prediction model building with clustering-launched classification and support vector machines in credit scoring", *Expert Systems with Applications*, 36(4), pp. 562-566.
- 11 Nanni, L. and A. Lumini, (2015) "An experimental comparison of ensemble of classifiers for bankruptcy prediction and credit scoring". *Expert Systems with Applications*, 36(2), pp. 302-303.

А.Д. Адамова^{1*}, Т.К. Жукабаева²

¹Astana IT University, г. Нур-Султан, Казахстан

²Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан

*e-mail: aigul.adamova@astanait.edu.kz

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ПОМЕЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА SLAM

Аннотация

Исследование неизвестной среды является фундаментальной проблемой в области автономной мобильной робототехники, которая занимается исследованием неизвестных областей при создании карты окружающей среды. Обычно человек составляет карту окружающей среды заранее, и эта карта используется роботом для последующей навигации, избегая препятствий. Исследование на основе границ - наиболее распространенный подход, при которой граница выступает в качестве места между открытыми и не изученными областями. Существует множество применений алгоритмов исследования в таких областях, как космическая робототехника, развертывание датчиков и защитная робототехника и т. д. Наряду с этим разработаны множество методов, основанных на границах, таких как Wavefront Frontier Detector и Fast Frontier Detection, которые уменьшают временную сложность оригинальной методики исследования, основанной на границах. Алгоритм simultaneous localization and mapping позволяет работать в неизвестной местности и обновлять имеющуюся карту и др.

В работе описывается и реализуется автономная стратегия исследования границ, представлены результаты моделирования алгоритма simultaneous localization and mapping, в среде моделирования Gazebo, а также на аппаратной платформе TurtleBot с использованием Robot Operating System. Преимущество этого алгоритма заключается в том, что робот может исследовать большие открытые пространства, а также небольшие загроможденные пространства.

Ключевые слова: навигация, мобильный робот, автономность, реальное время, ROS, SLAM.

Аңдатпа

А.Д. Адамова¹, Т.К. Жукабаева²

¹Astana IT University, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

²Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

SLAM АЛГОРИТМІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, БӨЛМЕ КАРТАСЫН ҚҰРУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ

Белгісіз ортаны зерттеп қоршаған ортаның картасын жасау кезінде белгісіз аймақтарды зерттеумен айналысатын автономды мобильді робототехника саласындағы негізгі мәселе болып табылады. Әдетте адам қоршаған ортаның картасын алдын-ала жасайды және бұл картаны робот кедергілерден аулақ болу үшін қолданады. Шекараларға негізделген зерттеу - бұл шекара ашық және зерттелмеген аймақтар арасындағы орын ретінде әрекет ететін ең көп таралған тәсіл. Ғарыштық робототехника, сенсорларды орналастыру және қорғаныс робототехникасы және т.б. сияқты салаларда зерттеу алгоритмдерінің көптеген қосымшалары бар, сонымен қатар, шекараларға негізделген зерттеудің бастапқы әдісінің уақытша күрделілігін төмендететін Wavefront Frontier Detector және Fast Frontier Detection сияқты шекараларға негізделген көптеген әдістер жасалды. Simultaneous localization and mapping алгоритмі белгісіз жерде жұмыс істеуге және бар картаны жаңартуға және т. б. мүмкіндіктерді береді. Бұл жұмыста шекараларды зерттеудің автономды стратегиясы сипатталып жүзеге асырылады, Gazebo модельдеу ортасында simultaneous localization and mapping алгоритмін модельдеу нәтижелері, сондай-ақ Robot Operating System көмегімен TurtleBot аппараттық платформасында ұсынылған. Бұл алгоритмнің артықшылығы-робот үлкен ашық кеңістікті, сондай-ақ кішкене бітелген кеңістікті зерттей алады.

Түйін сөздер: навигация, мобильді робот, автономдылық, нақты уақыт, ROS, SLAM.

Abstract

REALIZATION OF ROOM MAPPING USING THE SLAM ALGORITHM

Adamova A.¹, Zhukabayeva T.²

¹Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Exploring the unknown environment is a fundamental problem in the field of autonomous mobile robotics, which deals with exploring unknown areas while creating a map of the environment. Usually a human makes a map of the environment beforehand, and this map is used by the robot to navigate afterwards, avoiding obstacles. Boundary-based exploration is the most common approach, with the boundary acting as the place between open and unexplored areas.

There are many applications of exploration algorithms in areas such as space robotics, sensor deployment, and protective robotics, etc. Along with this, many boundary-based methods have been developed, such as Wavefront Frontier Detector and Fast Frontier Detection, which reduce the temporal complexity of the original boundary-based exploration methodology. The simultaneous localization and mapping algorithm allows to work in unknown terrain and update the existing map, etc. This paper describes and implements an autonomous boundary exploration strategy and presents simulation results of the simultaneous localization and mapping algorithm, in the Gazebo simulation environment, and on the TurtleBot hardware platform using the Robot Operating System. The advantage of this algorithm is that the robot can explore large open spaces as well as small cluttered spaces.

Keywords: navigation, mobile robot, autonomy, real time, ROS, SLAM.

Введение

На сегодняшний день беспилотные виды транспорта на старте активного внедрения и рост интереса к реализации автономного вождения с каждым годом все выше. В связи с этим возникает необходимость реализации различных алгоритмов, которые могли бы использоваться для навигации такого рода транспортных средств.

Оценка положения транспортного средства может быть выполнена с помощью колесных одометров и измерительных блоков, но данные виды датчиков не могут обеспечить устойчивую долговременную работу. Ультразвуковые, сонарные виды датчиков активно используются для локализации транспортных средств, вместе с этим данный вид датчиков может создавать помехи друг для друга. Глобальная система позиционирования может обеспечить определение настоящего положения, однако в закрытых помещениях она так же не применима. Для выполнения задачи оценки движения удобно использовать камеры, которые могут обеспечить широкий поток информации [1]. В последнее время разработано и выпущено большое разнообразие как двумерных, так и трехмерных камер.

Существует множество методов, основанных на границах, таких как Wavefront Frontier Detector (WFD) и Fast Frontier Detection (FFD). WFD – является итерационным методом выполняющим построение графа по ранее посещенным точкам. Основная идея данного метода является в том, что происходит сканирование не всего помещения, а лишь мест где находился мобильный робот [2]. FFD – метод использующий активную область вокруг позиции, в которой находится мобильный робот, с помощью которого и обновляется карта помещения [3]. Вышеназванные методы могут хорошо справляться с поставленной задачей на небольших помещениях, но в случаях больших территорий эти методы не приведут к правдоподобным результатам. В данной работе будет представлен процесс реализации алгоритма построения маршрута в неизвестной среде с помощью метода simultaneous localization and mapping (SLAM) [4], который можно использовать в мобильных автономных устройствах. В данном направлении работают множество научно-исследовательских институтов, и ученых из разных стран. Так в [5] ученые-исследователи с помощью симулятора LIDAR создают реальные облака точек, которые позволяют настроить параметры SLAM и развернуть его в режиме реального времени. В работе [6] SLAM алгоритм был использован для получения двумерной карты и на основании его предлагается алгоритм проектирования визуализации в трехмерном формате. Результаты алгоритма SLAM могут быть использованы совместно и с другими видами алгоритмов, что демонстрируется в результатах работы группы ученых [7]. ROS поддерживает связь между различными устройствами с помощью обмена сообщениями, названиями, функциями преобразования и клиентской библиотекой [8-11]. ROS можно запускать независимо от типа операционной системы, в которой она установлена, и независимо от используемого языка программирования. Пока установлена система ROS и каждый узел правильно спроектирован, связь между узлами очень проста. Например, статус робота можно отслеживать в MacOS, даже если на роботе установлен Ubuntu, дистрибутив Linux. В то же время пользователь может управлять роботом из приложения на базе Android.

Алгоритм SLAM

Алгоритм SLAM дает возможность построить карту замкнутых пространств, с помощью движения и измерительных устройств. Классификация данного подхода приведена на рисунке 1. В случае, когда аппаратная часть не ограничена вычислительными ресурсами, то рекомендуется использовать трехмерные, на основе всех точек, с визуальными сенсорами на основе графов. Такого рода алгоритм Slam будет выдавать, более приближенную к реальному времени, карту окружающей местности.



Рисунок 1. Классификация алгоритма SLAM

На ряду с классификацией алгоритма SLAM приведем наиболее используемые подходы SLAM в ROS (Таблица 1).

Таблица 1. Подходы SLAM

	Входные данные	Выходные данные	Примечание
Gmapping	Двумерный Лидар одометрия	визуализатор для определения позиции и множества точек; двумерные данные	Не требует высокой вычислительной мощности
Karto SLAM			
Cartographer	Двумерный/трехмерный Лидар, одометрия	визуализатор для определения позиции и множества точек; двумерные данные; плотное множество точек;	Требует множество ресурсов и соответственно высокую вычислительную мощность
ORB SLAM2	Стерео-, RGB-D-камеры	определения позиции и множества точек	
Rtabmap	Стерео-, RGB-D-, Мульти-камеры, Двумерный/трехмерный Лидар, одометрия	визуализатор для определения позиции и множества точек; двумерные/трехмерные данные; плотное множество точек; Карта помещения	Требует множество ресурсов и соответственно высокую вычислительную мощность

Gmapping и KartoSLAM используют лидарный подход, т.е используют фильтр частиц для оценки траектории автономного мобильного робота. Gmapping [12] является стандартным подходом SLAM в среде ROS и на выходе выдает двумерную карту на основе полученных данных с лазерных сканеров. Полученный результат можно использовать для автономной локализации и навигации. KartoSLAM [13] так же, как и предыдущий подход генерирует двумерную сетку заполненности на основе графов. ORB SLAM2 на основе данных полученных как из стереокамеры так и с камеры RGB-D, может визуализировать разреженную карту помещения [14]. Cartographer является графовым алгоритмом, обеспечивая графовую структуру карты и очень требователен к вычислительным ресурсам [15]. Rtabmap является подходом управления памятью, занимается управлением полученных графов. Он дает возможность получить трехмерные данные помещения или местности [16].

Методология исследования

Для реализации процесса моделирования были использованы ROS [8], Turtlebot, Gazebo. ROS — это набор из различных широко (и не очень) известных библиотек, таких как: OpenCV, PCL, Ogre, Orosos, также в ROS входят драйвера для различных манипуляторов и сенсоров (Рисунок 2). Около 180 роботов разработаны на базе ROS. Некоторые из них включают пользовательских роботов, которые публично выпущены разработчиками, и это заметный список, учитывая, что одна система поддерживает такие разнообразные роботы. Самыми известными среди них являются роботы PR2, разработанные Willow, Garage и TurtleBot.

В данной исследовательской работе был использован TurtleBot3. TurtleBot - робот стандартной платформы ROS. TurtleBot, разработан, чтобы легко обучиться и познакомиться с ROS. Сейчас TurtleBot стал стандартной платформой ROS, которая является самой популярной платформой среди разработчиков и студентов [8]. Также для моделирования системы ориентации робота в помещении используют пакеты Gazebo с платформой Rviz.

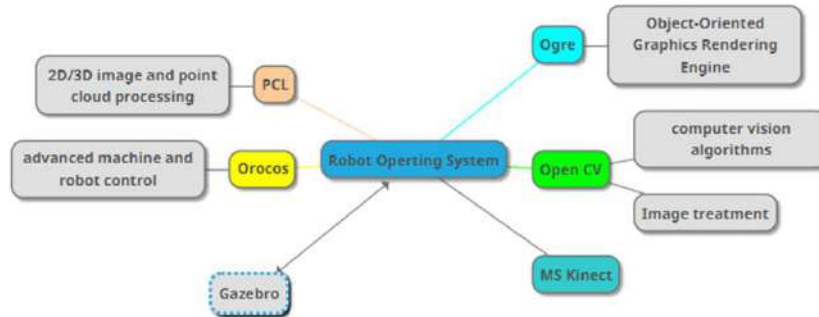


Рисунок 2. Составляющие ROS

Система ROS предоставляет стандартные службы операционной системы, такие как абстракция оборудования, драйверы устройств, реализация часто используемых функций, включая обнаружение, распознавание, отображение, планирование движения, передачу сообщений между процессами, управление пакетами, визуализаторы и библиотеки для разработки, а также инструменты отладки. RViz - это инструмент трехмерной визуализации ROS. Основная цель – показать сообщения ROS в 3D, что позволяет визуально проверять данные (Рисунок 3). Например, он может визуализировать расстояние от лазерного датчика (LDS) до препятствия, данные облака точек (PCD) трехмерного датчика, такого как RealSense, Kinect или Xtion, значения изображений, полученные с камер и многое другое без необходимости дополнительно разработанного программного обеспечения. Визуализатор будет демонстрировать передвижение самого мобильного робота.

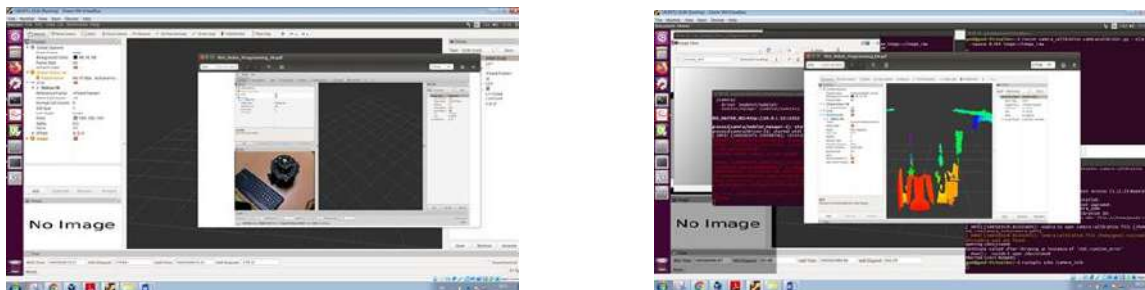


Рисунок 3. Результаты запуска RViz для отображение камеры

TurtleBot3 поддерживает среду разработки, которую можно программировать и разрабатывать с помощью виртуального робота в процессе моделирования. Для этого есть две среды разработки, одна из них использует инструмент 3D-визуализации «RViz», а другой использует 3D-симулятор - «Gazebo». RViz очень полезен для управления TutleBot3 и тестирования SLAM и навигации. Этапы работы алгоритма SLAM приведены на рисунке 4.

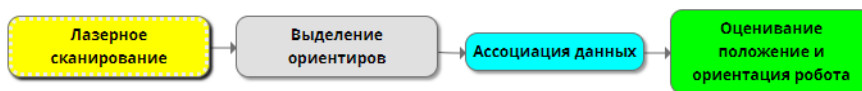


Рисунок 4. Обобщенные этапы работы алгоритма SLAM

На этапе лазерного сканирования могут использоваться различные виды датчиков, на завершающем этапе используются различные алгоритмы для оценивания положения и ориентации робота.

Синхронизация

В процессе построения карты окружающей местности используются подходы rtabmap с модулем Odometry и визуализация rviz. Rtabmap – алгоритм SLAM в системе ROS на основе RGB-D камеры, стерео- и лидарных графов, осуществляет поиск и сопоставляет полученные данные с сенсоров используя память, где хранятся все данные уже считанных образов и их местоположения. Rviz инструмент для осуществления визуализации всех происходящих процессов. На рисунке 5 изображена схема поступления информации с дополнительных датчиков и ее синхронизация.

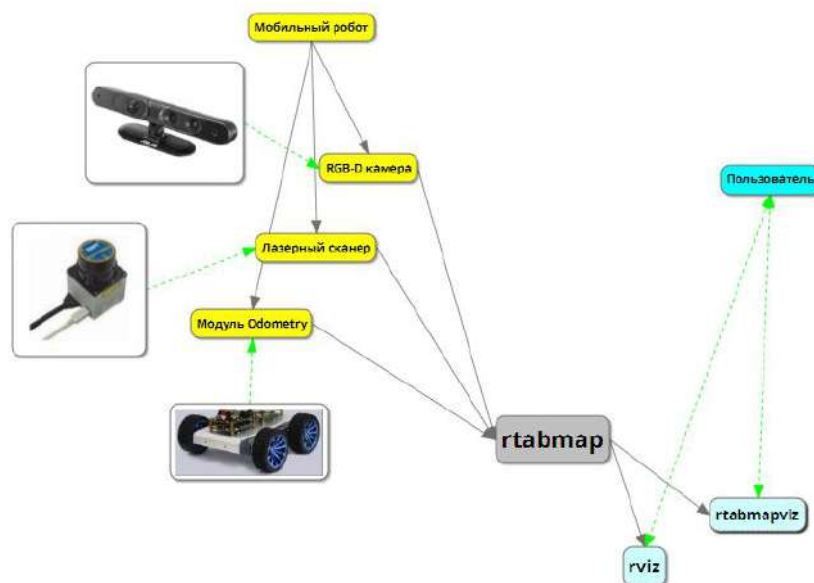


Рисунок 5. Схема поступления информации с различных датчиков и ее синхронизация

В системе ROS - rtabmap можно представить как комплексное решение для построения карты. Он может запускаться в двух режимах: сопоставления и локализация, что можно легко настроить с помощью файлов запуска. После построения карты помещения, есть возможность загрузить карту с автономным двоичным файлом rtabmap, либо запустить узлы в режиме локализации, по итогам которого появятся новые темы, которые Rviz может демонстрировать и читать.

Использование rtabmap для построения карты проходит согласно следующим шагам:

- 1 шаг: Запуск rtabmap;
- 2 шаг: Создание новой базы данных;
- 3 шаг: Подключение всех драйверов используемых датчиков;
- 4 шаг: Построение карты помещения;
- 5 шаг: Подключение Rviz и модуля Odometry;
- 6 шаг: Построение объемной карты помещения;
- 7 шаг: Сохранение полученной карты на локальном диске.

Результаты исследования

Робот запускается в неизвестной среде и в результате запуска вырисовывается карта на основе метода SLAM. Полученные результаты приведены на рисунке 6.

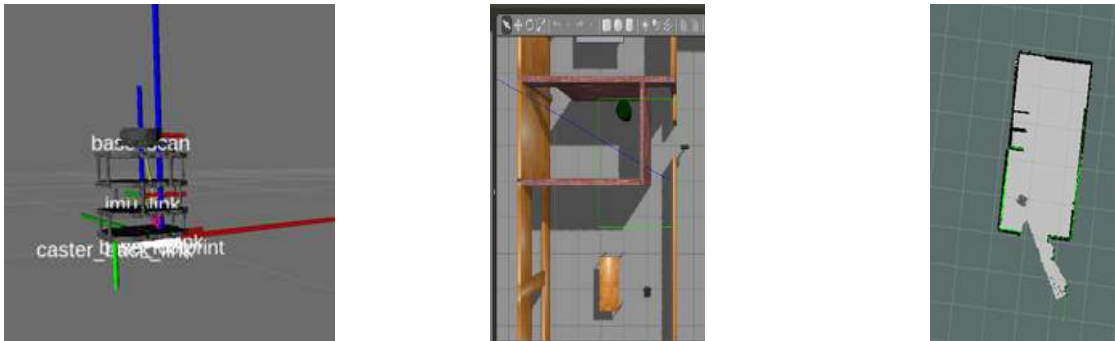


Рисунок 6. Этапы моделирования алгоритма и процесс построения карты

Для расчета времени обнаружения границ использовались три карты, которые отличались площадью на двух разных платформах. Время обнаружения границ с помощью метода SLAM приведено в таблице 2. Процесс моделирования проводился на стационарном компьютере с операционной системой Ubuntu 16.04 с различным объемом оперативной памяти и процессором. Алгоритм был реализован с помощью ROS. Важно отметить, что при наличии камеры RGBD получается в полне достоверная карта помещения.

Таблица 2. Время обнаружения границ.

Время обнаружения границ	Карта 1	Карта 2	Карта 3
Intel core i7, ОЗУ 8 гб, 64	01мин:30сек:27мс	02мин:20сек:45мс	02мин:57сек:02мс
Intel core i5, ОЗУ 6 гб, 64	02мин:20сек:13мс	03мин:01сек:31мс	04мин:18сек:35мс

Заключение

В представленной работе был реализован метод обнаружения границ путем использования алгоритма SLAM. Важно отметить, что при выборе того или иного алгоритма, нужно учитывать время обнаружения границ. Представленный алгоритм SLAM является базовым, существует очень много критериев, и учесть все критерии является невозможным. Например, возвращение мобильного транспортного средства на место, которое он уже видел. Мобильное транспортное средство должно распознавать новые места и обновлять позиции, ориентиры. В дальнейшем планируется реализация данного алгоритма в комбинации с другими алгоритмами, что позволит получить результаты за более лучшее время и моделировать новые навигационные алгоритмы.

References:

- 1 Aladem, M.; Rawashdeh, S.A. *Lightweight Visual Odometry for Autonomous Mobile Robots. Sensors* 2018, 18, 2837. <https://doi.org/10.3390/s18092837>
- 2 D. Calisi, A. Farinelli, L. Iocchi, and D. Nardi. *Multi-objective exploration and search for autonomous rescue robots: Research articles. J. Field Robot.*, 24:763–777, August 2007
- 3 J. Oršulić, D. Miklić and Z. Kovačić, "Efficient Dense Frontier Detection for 2-D Graph SLAM Based on Occupancy Grid Submaps," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 4, no. 4, pp. 3569-3576, Oct. 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2928203.
- 4 YoonSeok Pyo, HanCheol Cho, RyuWoon Jung, TaeHoon Lim. *ROS Robot Programming. Robotics Co.* 2017. ISBN 979-11-962307-1-5
- 5 Sobczak, Ł.; Filus, K.; Domański, A.; Domańska, J. *LiDAR Point Cloud Generation for SLAM Algorithm Evaluation. Sensors* 2021, 21, 3313. <https://doi.org/10.3390/s21103313>
- 6 Hosseininaveh, A.; Remondino, F. *An Imaging Network Design for UGV-Based 3D Reconstruction of Buildings. Remote Sens.* 2021, 13, 1923. <https://doi.org/10.3390/rs13101923>
- 7 Cornejo-Lupa, M.A.; Cardinale, Y.; Ticona-Herrera, R.; Barrios-Aranibar, D.; Andrade, M.; Diaz-Amado, J. *OntoSLAM: An Ontology for Representing Location and Simultaneous Mapping Information for Autonomous Robots. Robotics* 2021, 10, 125. <https://doi.org/10.3390/robotics10040125>
- 8 <https://www.ros.org>

9 Zhukabayeva, T., Adamova, A., Zhumabayeva, L. *Experimental investigation of algorithms for simultaneous localization and mapping.* (EECSI), 2020, 2020-October, сmp. 5–9

10 Adamova, A., Zhukabayeva, T., Zhumabayeva, L., Mukanova, Z., Ven-Tsen, K. *Design and Development of a Mobile Robotic Complex.* 2018 *International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics and Communication Engineering, ICRIEECE 2018*, 2018, сmp. 1017–1020, 9008479

11 Zhukabayeva, Tamara & Oralbekova, Zhanar & Zhartybayeva, Makpal & Zhumadillayeva, Ainur & Adamova, Aigul. (2015). *Prospects of Development of Technologies in the Field of Robotics and the Stages of Design of Mobile Robotic Complex.* 1-4. 10.1109/ICITCS.2015.7293010.

12 Q. Lin et al., "Indoor mapping using gmapping on embedded system," 2017 *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2017, pp. 2444-2449, doi: 10.1109/ROBIO.2017.8324786.

13 X. Hu, M. Wang, C. Qian, C. Huang, Y. Xia and M. Song, "Lidar-based SLAM and autonomous navigation for forestry quadrotors," 2018 *IEEE CSAA Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC)*, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/GNCC42960.2018.9018923.

14 R. Mur-Artal and J. D. Tardós, "ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras," in *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 5, pp. 1255-1262, Oct. 2017, doi: 10.1109/TRO.2017.2705103.

15 *Cartographer ROS Documentation.* May 04, 2021 [Электронный ресурс]. *Cartographer ROS Integration — Cartographer ROS documentation* (google-cartographer-ros.readthedocs.io). Дата обращения 09.08.2022

16 K. T. D. S. De Silva, B. P. A. Cooray, J. I. Chinthaka, P. P. Kumara and S. J. Sooriyaarachchi, "Comparative Analysis of Octomap and RTABMap for Multi-robot Disaster Site Mapping," 2018 *18th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer)*, 2018, pp. 433-438, doi: 10.1109/ICTER.2018.8615469.

МРНТИ 20.20.53
УДК 004.94

<https://doi.org/10.51889/1337.2022.76.73.020>

М.М. Есмагамбетова^{1*}, Т. Керибаева², К.Т. Кошекков², Қ. Алибекқызы³, С. Бельгинова⁴

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

² Академия гражданская авиации, г. Алматы, Казахстан

³ Восточно-Казахстанский технический университет им. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

⁴ «Туран» университет, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: marzhan1983@mail.ru

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ

Аннотация

Целью работы является повышение качества процесса управления территориальной службой мониторинга и предупреждения чрезвычайных ситуаций. Достижение цели предлагается решать путем совершенствования информационно-аналитического обеспечения территориальной системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения. Решение задач данной проблемы осуществляется на примере контроля и предупреждения паводковых ситуаций регионального масштаба. В качестве региона выбрана Восточно-Казахстанская область. В предлагаемом исследовании решаются две научно-практические задачи: разработка формального метода количественного оценивания качества управления сложной многокритериальной организационно-технической системой в условиях параметрической нечеткости; формализация процесса количественного оценивания рисков принятия решений в среде статистической неопределенности агентов управления. Для решения первой задачи разработана структурная модель дифференцированной оценки качества управления на базе нечеткого подхода и модель интегрированной свертки дифференцированных показателей. Для решения второй задачи оценки и прогнозирования рисков контроля и принятия решений, в условиях статистической неопределенности, разработана вероятностная модель. Проверка теоретических предпосылок реализована компьютерным моделированием с использованием программного приложения, разработанного для этих целей.

Ключевые слова: управление; процесс; модель; риск; закон распределения; информация; неопределенность.

Аңдатпа

М.М. Есмагамбетова¹, Т. Керибаева², К.Т. Кошекков², Қ. Алибекқызы³, С. Бельгинова⁴

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

²Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан

³Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан Техникалық Университеті, Өскемен қ., Қазақстан

⁴«Туран» университеті, Алматы қ., Қазақстан

ТАБИҒИ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУШТЕРДІҢ МОНИТОРИНГІ САПАСЫН БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН АНЫҚ ЕМЕС МОДЕЛІ

Жұмыстың мақсаты – төтенше жағдайлардың мониторингі және алдын алу аумақтық қызметінің басқару процесінің сапасын арттыру болып табылады. Қойылған мақсатқа байланысты табиғи және техногендік сипаттағы төтенше жағдайлардың мониторингі мен болжауының аумақтық жүйесін ақпараттық-талдамалық қамтамасыз етуді жетілдіру арқылы қол жеткізу ұсынылады. Бұл мәселені шешу өңірлік ауқымдағы су тасқыны жағдайларын бақылау және алдын алу мысалында жүзеге асырылады. Зерттеу объектісі Шығыс Қазақстан облысы таңдалды. Ұсынылған зерттеуде екі ғылыми-практикалық міндет шешілді: параметрлік анық еместік жағдайында күрделі көп критериялы ұйымдық-техникалық жүйені басқару сапасын сандық бағалаудың формальды әдісін жасау; бақылау агенттерінің статистикалық белгісіздігі жағдайында шешім қабылдау тәуекелдерін сандық бағалау процесін ресімдеу. Бірінші мәселені шешу үшін анық емес тәсіл негізінде басқару сапасын сараланған бағалаудың құрылымдық моделі және дифференциалданған көрсеткіштердің интегралды конволюциясы моделі әзірленді. Статистикалық белгісіздік жағдайында бақылау және шешім қабылдау тәуекелдерін бағалау мен болжаудың екінші мәселесін шешу үшін ықтималдық моделі әзірленді. Теориялық болжамдарды тексеру осы мақсат үшін әзірленген бағдарламалық қосымшаны пайдалана отырып, компьютерлік модельдеу арқылы жүзеге асырылады.

Түйін сөздер: менеджмент; процесс; үлгі; тәуекел; бөлу заңы; ақпарат; белгісіздік.

Abstract

FUZZY MODEL FOR ASSESSING THE QUALITY OF MONITORING OF NATURAL AND MAN-MADE THREATS

Yesmagambetova M.M.¹, Keribayeva T.², Koshekov K.T.², Alibekkyzy K.³, Belginova S.⁴

¹*L.N. Gumilyov Eurasian national University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

²*Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan*

³*D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

⁴*University "Turan", Almaty, Kazakhstan*

The purpose of the work is to improve the quality of the management process of the territorial service for monitoring and preventing emergencies. It is proposed to achieve the goal by improving the information and analytical support of the territorial system for monitoring and forecasting emergency situations of natural and man-made origin. The solution of the problems of this problem is carried out on the example of control and prevention of flood situations on a regional scale. East Kazakhstan region was chosen as the region. In the proposed study, two scientific and practical tasks are solved: the development of a formal method for quantitative assessment of the quality of management of a complex multi-criteria organizational and technical system in conditions of parametric fuzziness; formalization of the process of quantitative assessment of decision-making risks in the environment of statistical uncertainty of control agents. To solve the first problem, a structural model for a differentiated assessment of the quality of management based on a fuzzy approach and a model for an integrated convolution of differentiated indicators have been developed. To solve the second problem of assessing and predicting the risks of control and decision-making, under conditions of statistical uncertainty, a probabilistic model has been developed. The verification of theoretical assumptions is implemented by computer simulation using a software application developed for this purpose.

Keywords: management; process; model; risk; distribution law; information; uncertainty.

Введение

Современные тенденции в цифровой трансформации социально-экономических процессов. Главный приоритет научно-технического прогресса направлен на развитие инновационной среды в условиях цифровой трансформации общества [1,2]. Возникновение новых вызовов современности, как изменение климата, возникновение непрогнозируемых кризисных политических и экономических явлений, ставят перед наукой новые, нарастающие по своей сложности и последствиям проблемы. В этих условиях, одной из актуальных на текущий период задач, требующих решения современной мировой естественной наукой, является повышение качества управления, повышение функциональной эффективности субъектов практической деятельности, как юридических, так и физических лиц, а также управление рисками [3]. При этом возникает проблема обоснования критериев эффективности, которая существовала всегда. В условиях Республики Казахстан (РК) эта проблема особенно актуальна для многих субъектов социально-экономической практики, и имеет свою специфику исторического, географического, природно-климатического и прочих причин и факторов. Ключевая программная роль в сложившихся условиях отводится цифровизации, не только в сфере отдельных отраслей, но и на уровне государства в целом, что подтверждается государственными программами.

В последнее время, уже можно считать официально, получил распространение более «сильный» термин «цифровая трансформация», что, как подтверждает практика, прогнозирует системные изменения от внедрения нового «умного» поколения цифровых технологий [2,3]. (Следует заметить, что аналоговые подходы и технические аналоговые средства превосходят по быстрдействию цифровые, и как следствие, возродились гибридные средства и системы.) Цифровая «трансформация» нашла практическое воплощение в множестве отраслевых стратегий таких стран как Великобритания, США, Канада, Япония, Республике Корея и некоторых других странах, во все аспекты человеческой жизни. Цифровая трансформация — это, как правило, инновационная трансформация жизненного цикла продукции. Питательной средой цифровой трансформации в существующей интерпретации: являются искусственный интеллект (ИИ), робототехника, блокчейн, технологии виртуальной и дополненной реальности и ряд других.

Одним из динамично прогрессирующих подходов, который широко освещается и декларируется в специальной литературе - являются «умная» нейронная и СМАРТ технологии, технология «больших данных» и облачных вычислений [5,6,7,8]. Нейронные и СМАРТ технологии, как декларируется во многих общедоступных материалах, должны стать «концентратом человеческих знаний», а с появлением интернета, превратились в «сетевой разум».

Аббревиатура SMART в настоящее время фигурирует во многих исследованиях, публикациях и государственных программах, где интерпретируется - как «умный» или «думающий». В некоторых работах этим технологиям придаются такие наименований как: конвергентные технологии, NBIC (NBICS)-технологии, информационные технологии, информационно-коммуникационные, цифровые технологии и т.д. В этом многообразии даже специалисту трудно выявить специфику и технологические различия в прилагаемом перечне вариантов. Ряд авторов ищут эти различия на философском уровне [9,10]. В пользу подобного подхода говорит междисциплинарность и полидисциплинарность.

Особую роль, не всегда позитивную, цифровая трансформация играет в процессах принятия решений, которые являются предпоследним актом в системе управления. Заключительным актом (этапом) в процессе управления должна быть активная коррекция процесса – обратная связь. В системе принятия решений, и это отмечается во многих научных исследованиях, играет роль психологический фактор (человеческий фактор). Присутствие этого фактора нигде и никем не отрицается, и предпринимаются попытки построения формальных моделей всего замкнутого контура управления, но главная проблема, возникающая перед исследователями в процессе моделирования – это формализация (математизация) психотипа человека [11].

Были проведены статистические исследования спроса на передовые цифровые технологии в странах СНГ по следующим отраслям: сельское хозяйство, беспилотный транспорт и логистика, топливно - энергетический комплекс, промышленность, строительство, финансовый сектор, здравоохранение, образование. В результате исследований было выявлено, что наибольшим спросом по степени значимости в условиях цифровой трансформации пользуются следующие цифровые технологии: робототехника; SMART технологии; нейронные технологии; технологии беспроводной VLC связи; виртуальная и дополненная реальность; квантовые технологии. Вместе с тем, ряд авторов утверждает, что «однозначная позитивная оценка SMART-технологий преждевременна, поскольку существует масса рисков от их использования в случае недостаточной подготовленности человека и общества в целом к их применению».

Подготовленность и качество кадров приобретает ключевую роль особенно в сферах, где начинают использоваться квантовые технологии передачи и обработки информации, космические и беспилотные летательные аппараты, робототехнические комплексы, VLC системы. К отраслям, интенсивно использующих перечисленные технологии, с полным основанием следует отнести министерство чрезвычайных ситуаций (МЧС), которые по роду своей деятельности занимаются космическим мониторингом природных и техногенных угроз.

Управление рисками в системе контроля и мониторинга природных и техногенных угроз. В настоящее время в мире существует понимание того, что природные и техногенные вызовы для среды обитания человека приобретают глобальные масштабы и являются источниками глубочайших потрясений социального, экономического и политического характера. Эти явления являются важнейшими факторами, определяющими устойчивое развитие общества. Причины возникновения социально-экономических опасностей в большинстве случаев носят исторический, природный и антропогенный характер. Если антропогенными факторами, в какой-то мере, можно управлять, например, перепроектировать систему размещения промышленных источников загрязнения, производить расселение людей в более безопасные районы, организовать мониторинг окружающей среды, усилить государственный контроль и повысить юридическую ответственность за нарушение экологического законодательства, то природные негативные явления не поддаются эффективному управлению.

Учитывая приведенные данные, в 2020 году Указом Президента Республики Казахстан от 9 сентября № 408 «Об образовании Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан» (МЧС) деятельность служб предупреждения и спасения населения в непредвиденных ситуациях является предметом пристального внимания не только административных органов, но также и научной среды. Анализ, по истечении времени, социально-экономических катастрофических последствий стихийных и техногенных событий, таких как паводки, пожары, землетрясений показывает на недостаточную результативность соответствующих служб. Эти причины явились одним из аргументов в пользу более глубокого изучения указанных проблем, привлекая для этих целей последние достижения науки и техники.

МЧС РК организационно построена, как многоуровневый и многофункциональный организм, состоящий из взаимосвязанных как между собой, так и с внешней средой агентов управления. В научно-практической интерпретации агентным управлением считается – интеллектуальная модель управления и поддержки принятия решений [12]. Агентное моделирование рассматривает систему как множество независимых объектов, каждый из которых функционально независим, имеющий внутренние межструктурные связи и связи с окружающей средой. Классическая структурно-функциональная модель управления в современных условиях системной динамики, как и прежде, когда ее сформулировал Файоль, состоит из функций: организации, планирования, мотивации и контроля. Многочисленные исследования показывают, что ключевой функцией управления следует считать – контроль, так как «нет контроля – нет управления». Контроль является технологией, содержащей совокупность объектов и процедур, где каждый из них является независимым от других и может рассматриваться, как агент сложной системы. В реальных условиях указанные агенты имеют недетерминированную природу, что в процессе контроля и принятия решений приводит к ошибкам управления, которые можно интерпретировать как риски, а управление рисками с целью повышения устойчивости бизнес-системы следует называть - робастное управление [13]. Контроль приобретает особенно важное социально-экономическое и метрологическое значение в мониторинге природно-антропогенных угроз [14]. Вместе с тем, остается много неясностей, особенно в метрологических аспектах контроля целевых параметров управления.

Анализ общих недостатков и проблем в действующих системах управления, независимо от отраслевой принадлежности и формы собственности, можно свести к следующим:

Проблема с нормативной базой. В науке и практике нет объективных методик обоснования нормативных (предельных, допусковых) значений на контролируемые: параметры, показатели, факторы, процессы. Существующие нормативы периодически пересматриваются по мере накопления статистических данных или резком изменении регламентирующих обстоятельств во внешней среде. Существуют несколько используемых на практике методик по нормированию, но во всех действующих практиках, в большей или меньшей мере, присутствует субъективность. Поэтому, в настоящее время в ряде исследований при моделировании системных процессов считается, что нормативы величины недетерминированные.

Вторая проблема состоит в том, что контроль, оценка и принятие решений осуществляется дифференцировано, т.е., разрозненно по отдельным параметрам, для разных задач и в разных условиях, так как отсутствует интегрированный нормативный критерий, что на научно-практическом уровне порождает необходимость и задачу разработки интегрированного показателя качества управления.

Третья проблема состоит в неоднородности данных, особенно в системе мониторинга, за длительные временные интервалы, что резко снижает качество всей системы управления бизнес-процессами, всецело опираясь на историю процесса. Проблема становится крайне актуальной при работе с «большими данными». В литературе отмечается этот реальный факт и предлагаются методы оценки однородности статистических выборок и кластеризации данных.

Четвертая проблема определена требованием ISO 2015. В стандарте ISO 2015 внесено дополнение – «обязательного количественного оценивания значения рисков». Решающим отличием в ISO 9001:2015 по сравнению с предшествующими версиями ISO следует считать то, что «риски больше не присутствуют в стандарте скрыто (в виде предупреждающих действий) и не локализованы отдельными процессами системы менеджмента качества СМК. Риск теперь пронизывает весь стандарт и встроен в целом в систему управления, становится ее неотъемлемым свойством, а не представляет собой ее часть» [4].

Научная проблема

В предлагаемом исследовании внимание сосредоточено на оценке качества управления в организационно-технических системах на примере мониторинга природных и техногенных критических явлений. Система управления территориальной службы мониторинга и предупреждения чрезвычайных ситуаций рассматривается, как интегрированная геосистемная среда, не только с краткой ежегодной, но также и долговременной погодно – климатической, геологической и техногенной историей. Главная научно-практическая идея исследования состоит в изучении факторов качества управления сложными многопараметрическими системами в условиях рисков и угроз природного и техногенного происхождения.

Методология исследования

Методология исследования базируется на геосистемном подходе. В данной интерпретации геосистема рассматривается, как особый класс управляющих агентов системы, где агенты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом. В качестве прикладных инструментов формализации методов геосистемного подхода, в задачах оценки и прогнозирования динамики природных явлений, используются: экспертные оценки, географические аналогии, функциональные зависимости, вероятностные и имитационные модели, нечеткие множества, агентные подходы.

Результат исследования

Мировой опыт показывает, что достижение качественной результативности, особенно в прорывных инновационных направлениях геосистемного масштаба, представляется возможным только путем системной интеграции следующего обеспечения: правового обеспечения; нормативного обеспечения; кадрового обеспечения; научно-образовательного обеспечения; технического обеспечения; технологического обеспечения; организационно-методического обеспечения и некоторых других инструментов и механизмов, в зависимости от функционала системного исследования. Каждая из системных составляющих является дифференциальным качественным фактором в приведенном общесистемном обеспечении.

В стандарте ИСО 2015 система рассматривается в динамике и определяется, как множество взаимосвязанных бизнес-процессов, объединенных единой целью. Эффективное управление системой вызывает необходимость оценивания по некоторым критериям, как каждого бизнес-процесса, так и интегрировано в форме контекстного целевого процесса всей системы. Эффективное управление, как правило, перед центром принятия решений на практике ставит две главные задачи: прогнозирование бизнес-процессов в дифференцированном или интегрированном оценивании; оптимальное целевое использования ресурсов. Эффективность, при максимуме планируемой результативности, может быть оптимальной по определенному критерию или по обоснованной совокупности критериев. Оптимальность на практике может быть реализована только при помощи экономико-математического или алгоритмического моделирования. При этом решение задачи оптимизации может осуществляться на максимум критерия (функции цели), либо на минимум критерия.

По результатам экспертного исследования, эффективность управления в территориальных организациях мониторинга и предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) оценивается, в порядке их весомости, следующими системными агентами:

Качество кадров.

Финансирование.

Материально-техническим обеспечением.

Научно-методическим обеспечением.

Уровнем цифровизации процессов управления (цифровой трансформации).

Деятельность организаций управления ЧС состоит из мероприятий, ориентированных на долговременную перспективу, включая стратегическое планирование, и в ситуационных критических обстоятельствах, во время наводнения, пожара и т.д. Эффективность и результативность работы подобных организаций в критических ситуациях оценивается, как правило, по окончании чрезвычайных происшествий, что крайне затратно и малоэффективно.

Готовность к чрезвычайным ситуациям и качество работы в критических условиях во многом зависят от системных агентов, приведенных выше. Однако, оценивать дифференцировано качество системы, по отдельным показателям или критериям недостаточно результативно, поэтому в сложных мультипараметрических организационно-технических системах рекомендуется использовать интегральный показатель качества системы в целом [15,16]. Так как данная система функционирует в условиях параметрической нечеткости и нечеткости данных, используется многоподходная методика на базе аппарата нечетких множеств в совокупности с вероятностно-статистическими методами, экспертными оценками и методами имитационного моделирования.

Методология теории нечетких множеств оперирует лингвистическими понятиями и переменными. Каждая лингвистическая переменная состоит из названия и базового терм-множества. Элементы базового терм-множества представляют собой названия нечетких переменных, с применением слов естественного языка. Для описания термов используются математические формулы, которые

называются функциями принадлежности. В работе используется трапециидальная математическая интерпретация функции принадлежности [17].

С целью агрегирования показателей качества в единый интегрированный критерий было проведено их ранжирование с присвоением количественной весовой оценки q_i . Перечень и обозначения «взвешенных» лингвистических переменных (агентов) из всей совокупности системы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Лингвистические переменные качества управления

Название агента	Обозначение агента	«вес», q_i	Лингвистическая переменная $\mu_j(K)$
1. Качество кадров	$Q1$	$q1$	$\mu1(K1)$
2. Финансирование	$Q2$	$q2$	$\mu2(K2)$
3. Материально-техническое обеспечение	$Q3$	$q3$	$\mu3(K3)$
4. Научно-методическое обеспечение	$Q4$	$q4$	$\mu4(K4)$
5. Уровнем цифровизации процессов управления (цифровой трансформации).	$Q5$	$q5$	$\mu5(K5)$
6. Качеством организационно-методического обеспечения	$Q6$	$q6$	$\mu 6(K6)$

Каждая лингвистическая переменная представляется своим множеством термов. Так, лингвистическая переменная «Качество кадров» содержит три терма, отображенных на рисунке 1. Здесь обозначены K_1 обозначает множество термов лингвистической переменной «Качество кадров», а K_j – интерпретируется, как j -й терм i -й лингвистической переменной.

1. Уровень качества кадров. Для оценки качества кадрового обеспечения определены три терма лингвистической переменной (рисунок 1).

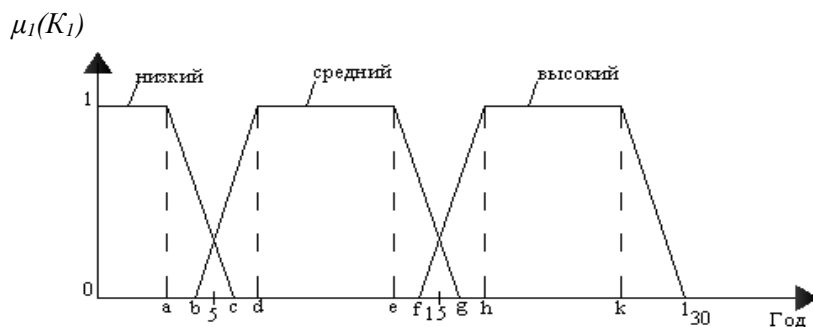


Рисунок 1. Функция принадлежности уровня качества кадров

2. Уровень финансового обеспечения. Для оценки уровня финансового обеспечения определены четыре терма лингвистической переменной (рисунок 2).

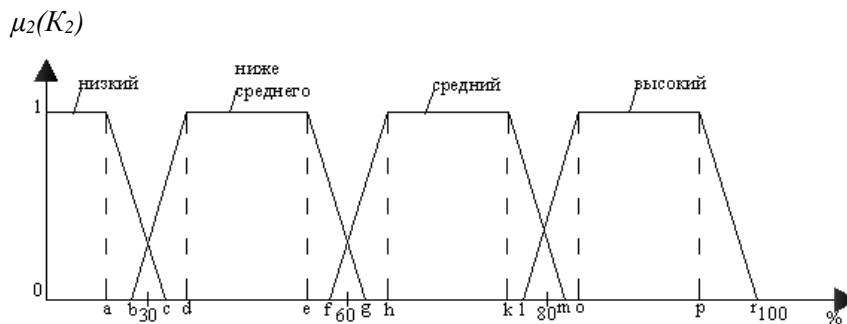


Рисунок 2. Функция принадлежности уровня финансирования

3. Уровень материально-технического обеспечения. Для оценки уровня материально-технического обеспечения определены четыре терма лингвистической переменной (рисунок 3).

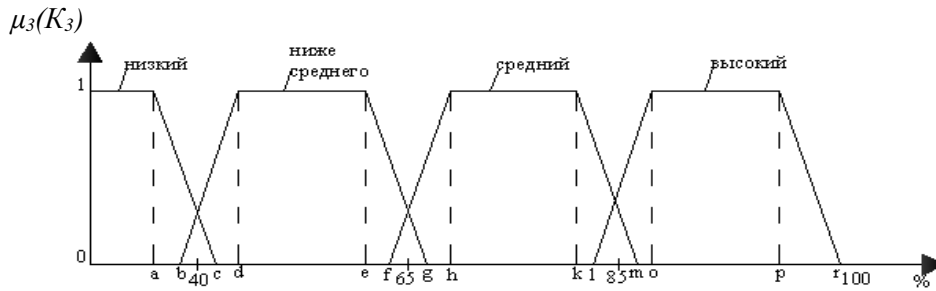


Рисунок 3. Функция принадлежности уровня материально-технического обеспечения

4. Уровень научно-методического обеспечения. Для оценки качества кадрового обеспечения определены три термина лингвистической переменной стаж сотрудников (рисунок 4).

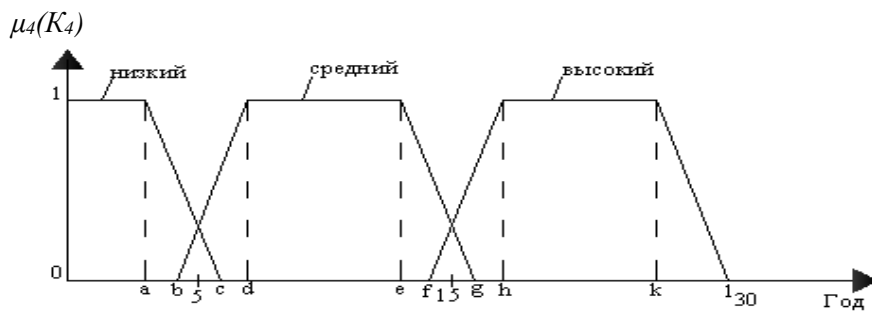


Рисунок 4. Функция принадлежности научно-методического обеспечения

5. Уровень цифровой трансформации процессов управления

Для оценки уровня цифровой трансформации процессов управления определены четыре термина лингвистической переменной (рисунок 5).

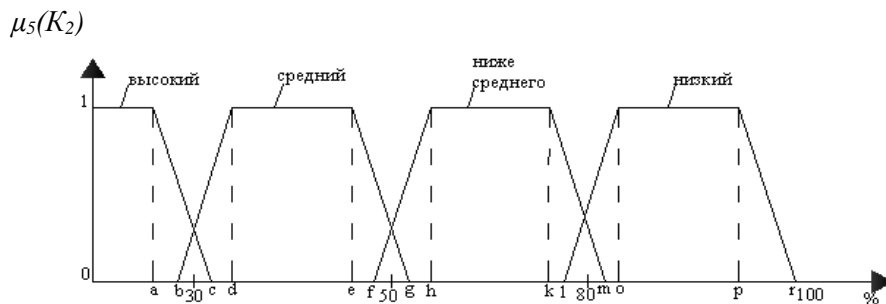


Рисунок 5. Функция принадлежности уровня цифровой трансформации процессов управления

6. Уровень качества организационно-методического обеспечения. Для оценки уровня качества организационно-методического обеспечения процессов управления определены пять термов лингвистической переменной (рисунок 6).

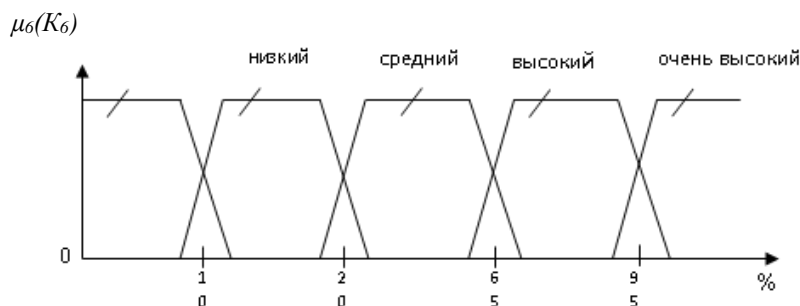


Рисунок 6. Функция принадлежности уровня качества организационно-методического обеспечения

Для интегральной количественной оценки качества кадров необходимо оценить весомость каждой лингвистической переменной $\mu_j(Q_i)$ и всех, выше перечисленных термов. Это оценивание было реализовано экспертным методом. Результаты экспертного оценивания приведены в таблице 2.

Таблица 2. Весомость термов лингвистических переменных качества кадров

Лингвистическая переменная $\mu_j(y)$	«Вес» $\mu_i(Q_i)$	Вес термов				
		K_{i1}	K_{i2}	K_{i3}	K_{i4}	K_{i5}
$\mu_1(Q_1)$	7.4	0,0531	0,0888	0,2299	-	-
$\mu_2(Q_2)$	8.8	0,2544	0,3625	0,2751	0,1081	-
$\mu_3(Q_3)$	7.2	0,0604	0,0961	0,2057	0,3101	-
$\mu_4(Q_4)$	7.1	0,0512	0,0989	0,1977	-	-
$\mu_5(Q_5)$	8.2	0,0427	0,0901	0,2366	0,3286	-
$\mu_6(Q_6)$	7.8	0,0604	0,2544	0,0604	0,0989	0,0512

Параметры трапеций на рисунках 1-6 для всех термов лингвистических переменных определяются, как рекомендует методика нечеткого моделирования, натурными экспериментальными исследованиями. Одним из вариантов сглаживания информационных дефектов системы является повышение интеллектуальности процесса мониторинга путем разработки и внедрения нейронной технологии. Структурная нейронная модель подобной интеллектуальной системы представлена на рисунке 7.

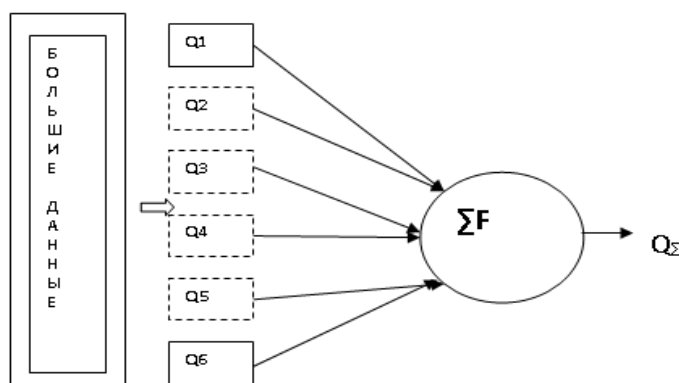


Рисунок 7. Структурная модель нейронной системы интегральной оценки качества системы $Q_1 - Q_6$ – входы (нечеткие данные); ΣF – нейронная формально-аналитическая свертка взвешенных входов; Q_Σ – выход

Интеллектуальный процессор ΣF «агрегирует» и подвергает формальной обработке экспертно «взвешенных» нечетких данных агентов качества управления мультипараметрической организационно-технической системы. «Большие данные» являются результатом многолетнего мониторинга и накопления технико-экономической геосистемной информации исследуемого процесса в административных «центрах решений».

Одна из функций интеллектуального процессора свертки ΣF состоит дефазификации и вычисления выходной количественной интегральной оценки качества управления. Дефазификация осуществляется с использованием α – срезов на функциях принадлежности по следующей формуле.

$$Q_i = \omega_i [X_{ij} (a_{il} \times \omega_{ij} + a_{il+1} \times \omega_{ij+1})] \quad (1)$$

Осуществляя взвешенное агрегирование по всему множеству Q_i ($i=1-6$), будет найдено количественное значение интегрального показателя качества управления в диапазоне 0-1.

Результат работы подобной нечеткой модели всегда представлен неким числом, которое трудно интерпретировать в окончательной привычной качественной форме, поэтому для принятия решения в работе предлагается использовать новую форму вывода в нечетких условиях. Для подобных случаев в литературе предлагается использовать обобщенную функцию желательности Харрингтона [11]. Данная методика позволяет количественные оценки преобразовать в качественные и наоборот.

Процесс мониторинга природных и техногенных ЧС содержит большое количество контрольно-измерительных операций. В результате контроля в момент принятия решения возникают ошибки двух типов: ложный и необнаруженный брак. Количественно эти ошибки оцениваются соответствующими вероятностями: $P_{лб}$ – вероятность ложного брака и $P_{нб}$ – вероятность необнаруженного брака. Эти вероятности имеют также смысл рисков потребителя и производителя соответственно. Как было установлено рядом исследований, качество контроля, т.е., вероятный уровень рисков не определяется однозначно величиной погрешности измерения [17]. Количественно значения $P_{лб}$, $P_{нб}$ зависят от соотношения неопределенностей измерения (погрешности) с неопределенностью контролируемого параметра и нормативами (предельными значениями). Существенную роль в данной композиции играют статистические характеристики агентов контроля. Так как процедуры контроля встроены в технологический процесс управления ЧС, то конечный результат мониторинга представляет собой сложную системную композицию, которую можно описать формально в математической или алгоритмической форме. Таким образом, возникает задача разработки математической модели для количественного оценивания метрологического качества и рисков процесса мониторинга в системе управления ЧС в целом.

Главная научно-практическая идея и задачи моделирования в работе состоит в изучении и прогнозировании вероятных рисков и угроз от паводкового явления для функционирования важных социально-экономических объектов и организационно – технологическая реакция на данные угрозы со стороны филиалов МЧС. В качестве критически-важного социально-экономического объекта рассматривается автомобильная дорога 3-й категории. В типовом алгоритме проектирования автомобильных дорог системным критерием качества объекта проектирования принят коэффициент устойчивости. Показатель устойчивости является расчетной многофакторной количественной оценкой. Главным фактором влияния на устойчивость дорожного объекта, как доказано, является гидродинамическое давление D , который присутствует в расчетной формуле (2) [13].

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\sum_{j=1}^m C_{ij} \right) \cos(\alpha_i) \operatorname{tg} \varphi + CLi \right]}{D + \sum_{i=1}^n \left[\left(\sum_{j=1}^m G_{ij} \right) \sin(\alpha_i) \right]} \quad (2)$$

Гидродинамическое давление D зависит от уровня грунтовых вод, которые тесно связаны с уровнем и объемом воды в крупном искусственном водоеме – Бухтарминском водохранилище. Объем воды (Z) в данном водохранилище находится под постоянным контролем. В процессе измерения и контроля параметров формулы (2) возникают следующие случайные исходы измерения:

1. Действительное значение параметра Z_i находится в диапазоне $Z_n < Z_i < Z_b$ и «измеренное» значение $Z_{изм}$ находится в пределах нормативов;
2. Действительное значение параметра находится в пределах $Z_n < Z_i < Z_b$, а «измеренное» значение $Z_{изм}$ находится либо в зоне $Z_{изм} < Z_n$, либо в зоне $Z_{изм} > Z_b$;
3. Действительное значение параметра находится Z_i за пределами допуска Z_b , и измеренное значение за пределами $Z_{изм} > Z_b$;
4. Действительное значение параметра Z_i находится за пределом Z_b , а измеренное значение $Z_n < Z_{изм} < Z_b$ или $Z_{изм} < Z_n$.
5. Действительное значение параметра Z_i меньше предельного Z_n , измеренное значение также меньше нижнего предела $Z_{изм} < Z_n$;
6. Действительное значение параметра Z_i меньше предельного Z_n , а измеренное значение $Z_n < Z_{изм} < Z_b$ или $Z_{изм} > Z_b$.

Эти шесть вариантов представляют полную группу несовместных событий, суммарная вероятность которых равна единице. Нас будут интересовать только случаи возникновения ошибок и их вероятности, а именно, второй, четвертый и шестой случаи.

Для того чтобы исследовать, как влияют статистические характеристики исследуемых параметров на риски контроля, необходимо формализовать процесс формирования рисков с привлечением аппарата вероятностного моделирования. На рисунке 8 приводится графическая модель процесса формирования ошибок (рисков) контроля.

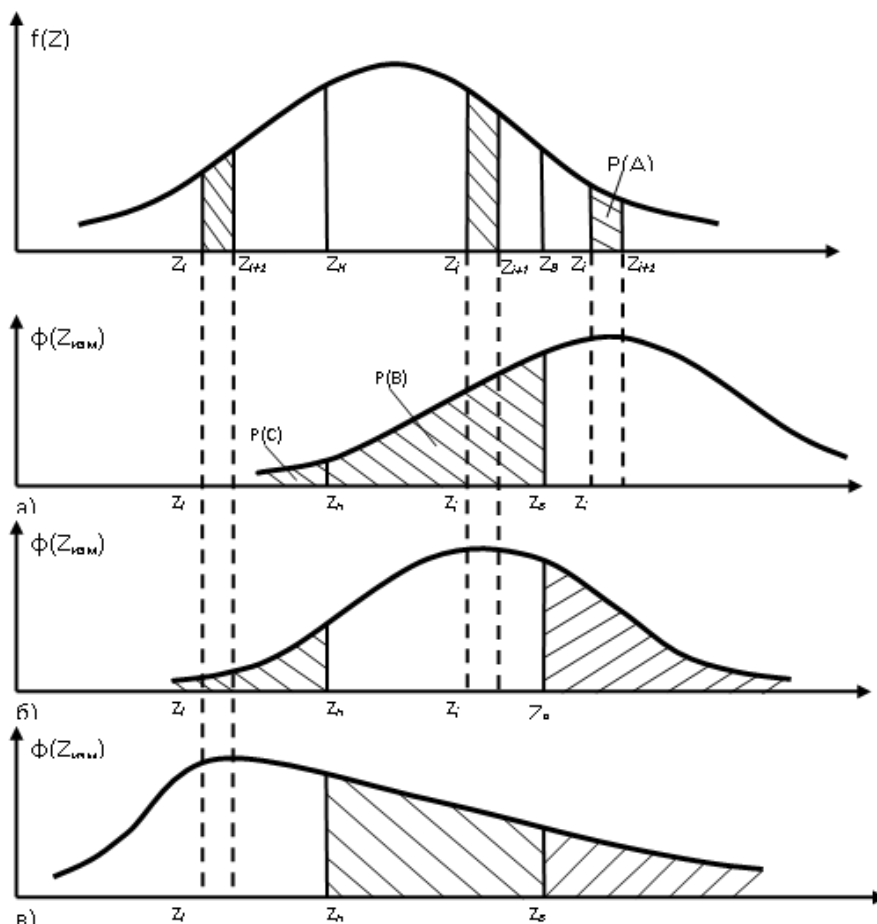


Рисунок 8. Схема возникновения рисков принятия решений

Рассмотрим случай, когда $F(Z)$ и $\varphi(Z_{изм})$ подчиняются нормальному закону.

Тогда, плотности распределений $f(Z)$ и $\varphi(Z_{изм})$ будут иметь следующие аналитические аппроксимации:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_i - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right], \quad \varphi(Z_{изм}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\varphi^2}\right]. \quad (3)$$

Рассмотрим случай под номером четыре, когда действительное значение Z находится в зоне $Z_i > Z_B$, а результат «измерения» может быть в допусковой зоне либо за пределами нижнего допустимого значения Z_H .

Для разработки модели оценки вероятности ошибочного решения, разобьем интервал от Z_B до $Z_{cp} - 3\sigma_z$ на M дискретных участков.

Назовем событием A , когда значение параметра Z находится в любом из дискретных интервалов ΔZ , например, $Z_i < Z < Z_{i+1}$, а событием B , когда результат измерения окажется в допуске между нижним и верхним предельными значениями ($Z_H < Z_{изм} < Z_B$), а также событие C , если оказалось $Z_{изм} < Z_H$.

Тогда вероятности событий A , B и C будут

$$P_i(A) = \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} f(Z) dZ, \quad P_i(B) = \int_{Z_A}^{Z_i} \varphi(Z_{\text{дс}}) dZ_{\text{дс}}, \quad P_i(C) = \int_{Z_H - \sigma_z}^{Z_H} \varphi(Z_{изм}) dZ_{изм} \quad (4)$$

В исследовании интересуют вероятность сложных событий, а именно, одновременного осуществления событий A и B , а также одновременного осуществления событий A и C .

Аналитический вид, указанных ошибок имеет следующую форму:

$$P_{i1} = P_i(A) \cdot P_i(B) = \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} f(Z) dZ \int_{Z_B}^{Z_H} \varphi(Z_{изм}) dZ_{изм} \quad (5)$$

$$P_{i2} = P_i(A) \cdot P_i(C) = \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} f(Z) dZ \int_{Z_H - \sigma_z}^{Z_H} \varphi(Z_{изм}) dZ_{изм} \quad (6)$$

Тогда, подставляя (1) в (2) и в (3), получим следующие выражения:

$$P_{i1} = \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_i - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_B}^{Z_H} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] dZ_{изм} \quad (7)$$

$$P_{i2} = \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_i - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_H - \sigma_z}^{Z_H} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] dZ_{изм} \quad (8)$$

где σ_z - среднее квадратическое отклонение измеряемого параметра Z ;

σ_φ - среднее квадратическое отклонение случайной погрешности измерения Z -параметра.

Но формулы (4) и (5) дают ошибки только для одного i -го ΔZ участка из всего множества M дискретных участков, на которые был поделен интервал возможных значений Z -параметра от Z_B до $Z_{cp} + 3\sigma_z$.

Суммируя по всем K -интервалам, найдем окончательное аналитическое выражение искомых ошибок:

$$P_1 = \sum_{Z_i}^m \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_i - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_n}^{Z_6} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] dZ_{изм}, \quad (9)$$

$$P_2 = \sum_{i=1}^m \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_i - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_n - \sigma_z}^{Z_n} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] dZ_{изм}$$

Рассмотрим следующий случай, когда истинное значение Z находится в допуске, а результат измерения либо ниже Z_n , или выше Z_B . Этот случай соответствует рисунку 9. Техника вывода аналитических выражений ошибок для данного случая аналогична предыдущему, изменяться лишь пределы интегрирования:

$$P_3 = \sum_{j=1}^m \int_{Z_j}^{Z_{j+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_j - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_i}^{Z_{ид} - 3\sigma_z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{Z_{дсг}^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] dZ_{дсг}$$

$$P_4 = \sum_{j=1}^m \int_{Z_j}^{Z_{j+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_j - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_6}^{Z_{cp} + 3\sigma_z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] dZ_{изм}$$

Экономические последствия каждой из ошибок P_3 и P_4 следует прогнозировать исходя из конкретных условий, но следует отметить, что эти ситуации в системе принятия решений наиболее сложные.

Третий случай состоит в том, что действительное значение Z находится в зоне ниже Z_n , а измеренное значение $Z_{изм}$ может находиться как в допуске, так и в верхней благоприятной для работника зоне, т.е. $Z_{изм} > Z_B$.

Рассуждая, как и ранее, получим следующие выражения для решений:

$$P_5 = \sum_{l=1}^m \int_{Z_l}^{Z_{l+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_l - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_u}^{Z_e} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\phi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\phi^2}\right] dZ_{изм} \quad (10)$$

$$P_6 = \sum_{l=1}^m \int_{Z_l}^{Z_{l+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{(Z_l - Z_{cp})^2}{2\sigma_z^2}\right] dZ \int_{Z_e}^{Z_{cp}+3\sigma_z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\phi} \exp\left[-\frac{Z_{изм}^2}{2\sigma_\phi^2}\right] dZ_{изм} \quad (11)$$

Для исследования работоспособности математических моделей (7) и (8) необходимы статистические данные конкретного параметра. Таким параметром был выбран контролируемый объем воды в Бухтарминском водохранилище. Гистограмма эмпирического распределения вариаций объема воды в данном водохранилище представлена на рисунке 9.

Средний выборочный коэффициент вариации, согласно экспериментальным данным составляет 28%. Максимальный уровень объема воды приходится на весенне-летнее время, причем, минимальный уровень опускается до 10-15 млн.м.куб, а максимальный поднимается до 40-42 млн.м.куб.

Регрессионная модель объемов воды в водохранилище при ежемесячном контроле за период с 20 лет имеет следующий вид:

$$Y=4533-18130X+7753X^2-1267X^3+89.455X^4-2.32X^5 \quad (12)$$

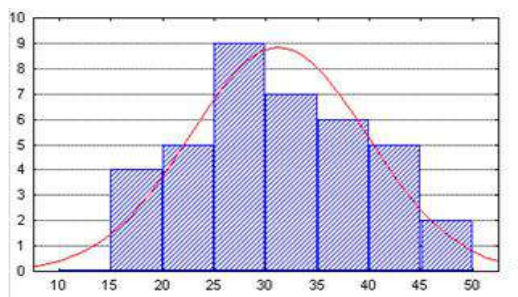


Рисунок 9. Гистограмма распределения колебаний ежемесячных объемов воды в Бухтарминском водохранилище в 2021 г

Статистический анализ полученных выше результатов наблюдений показал следующее: эмпирическое распределение, представленное на рисунке 9 аппроксимируется теоретическим нормальным законом, функция плотности которого имеет следующий вид:

$$f_1(x, \sigma_1, x_{ср1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}10700} e^{-\frac{(x-37031)^2}{228000}}$$

где σ_1 -среднее квадратическое отклонение распределения; $X_{ср1}$ -среднее арифметическое значение этого распределения. Коэффициент устойчивости находится из формулы (2). Параметры, входящие в формулу расчета, рассматриваются как случайные величины, которые находятся методом имитаций.

Дискуссия

Для исследования влияния статистических параметров моделей для оценки рисков было разработано программное приложение и реализован компьютерный эксперимент. Начало «диалога» с программным приложением демонстрируется экранной копией на рисунке 10. Для запуска диалога нажимается кнопка «Исследование». Все условия и аргументы исследования, оказывающие влияние на время вычисления можно настроить, вызвав окно настроек из главного меню приложения «Сервис – Настройки». Запущенные потоки исследования влияния параметров, их названия и состояние отображаются на панели управления потоками. С помощью кнопок «Запустить», «Приостановить» и «Завершить», которые расположены в верхней части панели управления потоками, можно запускать, приостанавливать или завершать выполняющиеся потоки исследования. По завершении потока вычисления значений для построения графика, иллюстрирующего влияние исследуемого показателя на качество принимаемых решений, создается окно, отображающее результат исследования.

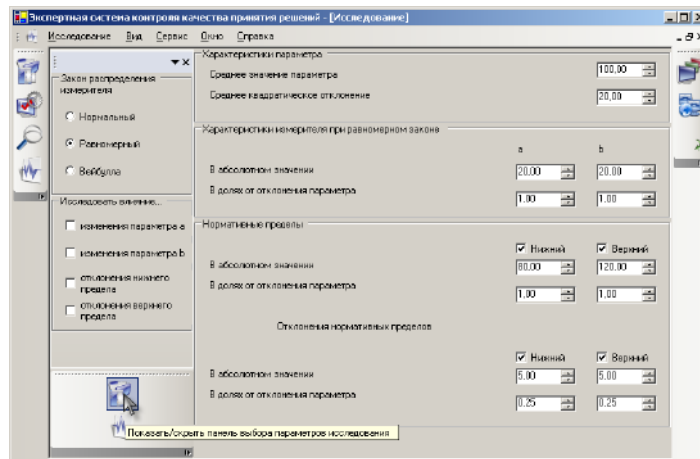


Рисунок 10. Выбор и задание параметров для проведения исследования

Все графики отображаются в иерархическом списке панели управления графиками, располагающейся, по умолчанию, над панелью управления потоками (см. рисунок 11).

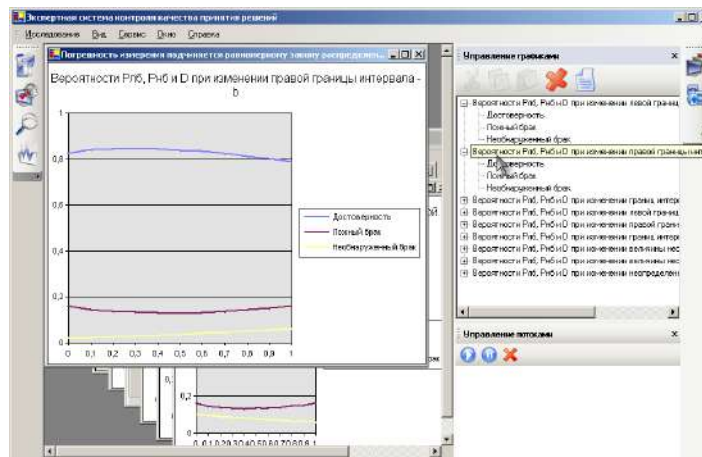


Рисунок 11. Панель управления окнами графиков

Используя кнопки в верхней части панели управления окнами графиков, можно вырезать, копировать, вставлять, удалять или переименовывать отдельные графики, доступные в активном окне приложения. Результаты компьютерного эксперимента представлены на рисунках 12.

$$z = 0.6 - 1.206 \cdot x + 0.091 \cdot y + 0.8 \cdot x^2 - 0.282 \cdot x \cdot y + 0.086 \cdot y^2$$

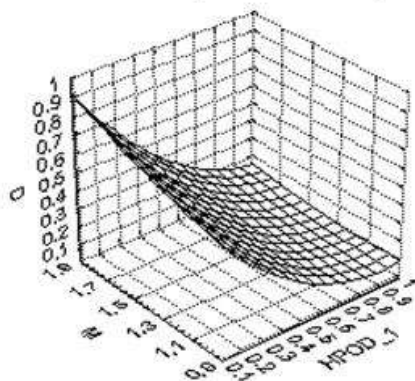


Рисунок 12. Пространственная интерпретация математической модели оценки достоверности контроля

Визуальный анализ пространственной 3D картины дает основание считать, что исследуемые связи носят явно выраженный нелинейный характер, это делает невозможным использовать линейные гипотезы для прогнозирования результатов в процессе принятия решений.

Выводы

Для достижения поставленной цели совершенствования информационно-аналитического обеспечения территориальной системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения были решены две основные задачи: формализация количественного оценивания качества управления сложной многокритериальной организационно-технической системой в условиях параметрической нечеткости; формализация процесса количественного оценивания рисков принятия решений в среде статистической неопределенности агентов управления.

В объеме первой задачи была разработана структурная модель дифференцированной оценки качества управления на базе нечеткого подхода и модель интегрированной свертки дифференцированных показателей. Для решение второй задачи была разработана вероятностная модель оценки и прогнозирования рисков контроля и принятия решений, в условиях статистической неопределенности. Для проверки адекватности теоретических предпосылок практическим ситуациям, было разработано программное приложение и реализован компьютерный эксперимент. В процессе компьютерного эксперимента было выявлено, что при значении неопределенности измерения соизмеримой с величиной неопределенности контролируемого параметра, риск может превышать 30%. При этом восстановлено, что влияние неопределенности нормативов выше, чем влияние неопределенности измерения. Полученные результаты могут быть положены в качестве математического и методического обеспечения процесса цифрового проектирования сложных организационно-технических систем.

Список использованных источников:

- 1 Об утверждении Государственной программы "Цифровой Казахстан" Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827.
- 2 Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: доклад к XXII Международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества – Москва, 2021 г. – 235 с.
- 3 IEC 31010, Risk management - Risk assessment techniques.
- 4 Ардашкин И.Б. Смарт-технологии как феномен: концептуализация подходов и философский анализ. являются ли смарт-технологии действительно умными? I – Томск, ТГУ. Вестник Томского государственного университета Философия. Социология. Политология. 2018. № 43
- 5 José Luis Carrasco-Sáez, Marcelo Careaga Butter, María Graciela Badilla-Quintana. The New Pyramid of Needs for the Digital Citizen: A Transition towards Smart Human Cities // Sustainability. 2017. № 9, 2258. doi: 10.3390/su9122258 (дата обращения: 27.03.2018).
- 6 Gorbunov, D.V. & Nesterov, A.Yu. (2017) Technological future of Russia: the challenge of the "third nature". Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashi-nostroyeniye - Vestnik of Samara University. Aerospace And Mechanical Engineering. 16(4). pp. 6071. (In Russian). DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-4-60-71
- 7 Ардашкин И.Б. Смарт-общество как этап развития новых технологий для общества или как новый этап социального развития (прогресса): к постановке проблемы // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2017. № 38. С.32-45.
- 8 Джиган О.В. Философские аспекты использования сетевых технологий // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2015. № 1 (5). С. 110-115.
- 9 Nikitina, E.A. (2016) The problem of subjectivity in intellectual robotics. Filosof-skiye prob-lemy informatsionnykh tekhnologiy i kiberprostranstva - Philosophical problems of IT and Cyberspace. 2(12). pp. 31-39. (In Russian). DOI: 10.17726/phillIT.2016.12.2.3.
- 10 Alibekkyzy K, Wojcik W, Vyacheslav K, Belginova Robust data transfer paradigm based on VLC technologies. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2021 Little Lion Scientific. 15th February 2021. Vol.99. No 3.
- 11 Jacques Ferber, Olivier Gutknecht, Fabien Michel From Agents to Organizations: an Organizational View of Multi-Agent Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lirmm.fr/~fmichel/publi/pdfs/ferber04>
- 12 Каримов Б.Б. Робастное проектирование автомобильных дорог: Монография/ Б.Б. Каримов, В.А. Корнев, А.А. Макинов. – М.: МПК, 2018. – 160 с.
- 13 Стратегический план Международной стратегии по уменьшению опасности бедствий Сендайская рамочная программа действий на 2015-2030 годы: утв. постановлением МСУОБ 18 марта 2015 года.

14 Методы геосистемного прогнозирования//poisk-ru.ru/s41224t18.html.

15 Al-Rawi K.L., Casanova J.L., Calle A. Burned area mapping system and fire detection system, based on neural networks and NOAA-AVHRR imagery. // *Int. J. Remote Sensing*. – 2001. –Vol. 22. – P. 2015-2032.

16 Zadeh, Lotfi. *Fuzzy Sets / Information and Control*, 8(3), June 1965. – P. 338–53.

17 Раджабов Р.К. Моделирование микроэкономики: Монография/ Р.К. Раджабов, В.А. Корнев, А.А. Макенов, О.В. Морозова, С Зубайдов. – Душанбе: Ирфон, 2017. – 345 с.

References:

1 *Ob utverzhdenii Gosudarstvennoj programmy "Cifrovoy Kazahstan" Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 12 dekabrja 2017 goda № 827. [On the approval of the State Program "Digital Kazakhstan" Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan December 12, 2017] (In Russian)*

2 *Cifrovaja transformacija otraslej: startovye uslovija i priority: doklad. k HHII Mezhdunarodnoj. nauchnoj konferencii po problemam razvitija jekonomiki i obshhestva [Digital transformation of industries: starting conditions and priorities: report. to the XXII International. scientific conferences on the problems of economic and social development]– Moskva, g. – 235(In Russian)*

3 IEC 31010, Risk management - Risk assessment technijaues.

4 Ardashkin I.B. (2018) *Smart-tehnologii kak fenomen: konceptualizacija podhodov i filosofskij analiz. javljajutsja li smart-tehnologii dejstvitel'no umnymi?*[Smart technologies as a phenomenon: conceptualization of approaches and philosophical analysis. are smart technologies really smart?]*1 – Tomsk, TGU. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta Filosofija. Sociologija. Politologija.. № 43(In Russian)*

5 José Luis Carrasco-Sáez, Marcelo Careaga Butter, María Graciela Badilla-Quintana. *The New Pyramid of Needs for the Digital Citizen: A Transition towards Smart Human Cities // Sustaina-bility. 2017. № 9, 2258. doi: 10.3390/su9122258 (дата обращения: 27.03.2018).*

18 Gorbunov, D.V. & Nesterov, A.Yu. (2017) *Technological future of Russia: the challenge of the "third nature". Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashi-nostroyeniye - Vestnik of Samara University. Aerospace And Mechanical Engineering. 16(4), pp. 6071. (In Russian). DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-4-60-71*

6 Ardashkin I.B. (2017) *Smart-obshhestvo kak jetap razvitija novyh tehnologij dlja obshhestva ili kak novyj jetap social'nogo razvitija (progressa): k postanovke problemy [Smart society as a stage of development of new technologies for society or as a new stage of social development (progress): to the problem statement]// Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofija. Sociologija. Politologija.. № 38. S.32-45. (In Russian)*

7 Dzhigan O.V. (2015) *Filosofskie aspekty ispol'zovaniya setevyh tehnologij [Philosophical aspects of the use of network technologies]// Jekonomicheskie i social'no-gumanitarnye issledovaniya.. № 1 (5).110-115. (In Russian)*

8 Nikitina, E.A. (2016) *The problem of subjectivity in intellectual robotics. Filosof-skiye prob-lemy informatsionnykh tekhnologii i kiberprostranstva - Philosophical problems of IT and Cyberspace. 2(12). pp. 31-39. (In Russian). DOI: 10.17726/philIT.2016.12.2.3.*

19 Alibekkyzy K, Wojcik W, Vyacheslav K, Belginova S.(2021) *Robust data transfer paradigm based on VLC technologies. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Little Lion Scientific. 15th February 2021. Vol.99. No 3.*

9 Jacques Ferber, Olivier Gutknecht, Fabien Michel *From Agents to Organizations: an Organizational View of Multi-Agent Systems [Electronic resource].– Access mode: <http://www.lirmm.fr/~fmichel/publi/pdfs/ferber04>*

10 Karimov B.B. (2018) *Robastnoe proektirovanie avtomobil'nyh dorog[Robust road design]: Monografija/ B.B. Karimov, V.A. Kornev, A.A. Makenov. – M.: MPK., – 160(In Russian)*

11 *Strategicheskij plan Mezhdunarodnoj strategii po umen'sheniju opasnosti bedstvij Sendajskaja ramochnaja programma dejstvuj na 2015-2030 gody: utv. postanovleniem MSUOB 18 marta 2015 goda. [13. Strategic Plan of the International Strategy for Disaster Risk Reduction Sendai Framework for Action for 2015-2030: approved by ISDR Resolution on March 18, 2015] (In Russian)*

20 *Metody geosistemnogo prognozirovanija [Methods of geosystem forecasting]//poisk-ru.ru/s41224t18.html. (In Russian)*

12 Al-Rawi K.L., Casanova J.L., Calle A. Burned area mapping system and fire detection system, based on neural networks and NOAA-AVHRR imagery. // *Int. J. Remote Sensing*. – 2001. –Vol. 22. – P. 2015-2032.

13 Zadeh, Lotfi. *Fuzzy Sets / Information and Control*, 8(3), June 1965. – P. 338–53.

14 Radzhabov R.K. (2017) *Modelirovanie mikroekonomiki [Modeling of microeconomics]: Monografija/ R.K. Radzhabov, V.A. Kornev, A.A. Makenov, O.V. Morozova, S Zubajdov. – Dushanbe: Irfon., – 345(In Russian)*

МРНТИ 28.23.15
УДК 004.8

<https://doi.org/10.51889/4399.2022.19.69.021>

TOMATO DISEASE RECOGNITION BASED ON OPTIMIZED CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Zhassuzak M.^{1*}, Ataniyazova A.¹, Buribayev Zh.¹, Dauletiya D.¹, Amirgaliyeva Zh.²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Information and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: zhassuzak.mukhtar@gmail.com

Abstract

With the advent of resistant varieties and hybrids of tomato, vegetable growers are less likely to encounter diseases on tomatoes. To prevent crop loss, it is important to identify unhealthy tomato leaves and separate them from healthy leaves. Early detection of tomato diseases through deep learning can help decrease the adverse effects of diseases, and also helps surmount the drawbacks of continuous human monitoring. This study examined the performance of modern convolutional neural network classification architectures, such as ResNet18 with a standard algorithm, as well as using optimization parameters and InceptionV3, on 11,000 images of tomato leaves for the classification of tomato diseases. The accuracy of training in Inception V3 was 80.9%, and the accuracy of validation was 71.8%. ResNet architecture training with the momentum parameter demonstrated a high recognition result with 97.7% accuracy. The recognition results were compared using the optimization parameter with values 0.5, 0.7 and 0.9. The influence of the optimization parameter on the quality of training was observed. It can be concluded that using the momentum optimizer with a higher value gives the best results by minimizing fluctuations and increasing accuracy.

Keywords: agriculture, tomato recognition, disease detection, classification, convolutional neural network.

Аннотация

М. Жасузақ¹, А. Атаняйзова¹, Ж. Бурибаев¹, Д. Даулетия¹, Ж. Амиргалиева²

¹Қазақстанның ұлттық университеті атындағы Алматы, Қазақстан

²Информациялық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан

РАСПОЗНАВАНИЕ БОЛЕЗНЕЙ ПОМИДОРОВ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

С появлением устойчивых сортов и гибридов томатов овощеводы реже сталкиваются с болезнями томатов. Чтобы предотвратить потерю урожая, важно выявлять нездоровые листья томатов и отделять их от здоровых листьев. Раннее обнаружение болезней томатов с помощью глубокого обучения может помочь уменьшить неблагоприятные последствия болезней, а также помочь преодолеть недостатки постоянного мониторинга со стороны человека. В этом исследовании была изучена производительность современных архитектур классификации сверточных нейронных сетей, таких как ResNet18 со стандартным алгоритмом, а также с использованием параметров оптимизации и InceptionV3, на 11 000 изображениях листьев томатов для классификации болезней томатов. Точность обучения в Inception V3 составила 80,9%, а точность валидации - 71,8%. Обучение архитектуры ResNet с параметром momentum продемонстрировало высокий результат распознавания с точностью 97,7%. Результаты распознавания сравнивались с использованием параметра оптимизации со значениями 0,5, 0,7 и 0,9. Наблюдалось влияние параметра оптимизации на качество обучения. Можно сделать вывод, что использование оптимизатора импульса с более высоким значением дает наилучшие результаты за счет минимизации колебаний и повышения точности.

Ключевые слова: сельское хозяйство, распознавание томатов, выявление болезней, классификация, сверточные нейронные сети.

Аңдатпа

М. Жасузақ¹, А. Атаняйзова¹, Ж. Бурибаев¹, Д. Даулетия¹, Ж. Амиргалиева²

¹Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы қ., Қазақстан

ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР НЕГІЗІНДЕ ҚЫЗАНАҚ АУРУЛАРЫН ТАҢУ

Қызанақтың төзімді сорттары мен будандарының пайда болуы көкөніс өсірушілердің қызанақ ауруларымен сирек кездесуіне әкелді. Егіннің жоғалуын болдырмау үшін қызанақтың зиянды жапырақтарын анықтап, оларды сау жапырақтардан ажырату қажет. Терең оқыту арқылы қызанақ ауруларын ерте анықтау аурудың жағымсыз әсерлерін азайтуға, сондай-ақ адамның үнемі бақылауындағы кемшіліктерді жеңуге көмектеседі. Бұл зерттеу

стандартты алгоритмі бар ResNet18 сияқты конволюциялық нейрондық желілерді жіктеудің заманауи архитектураларының жұмысын, сондай-ақ қызанақ ауруларын жіктеу үшін қызанақ жапырақтарының 11000 кескінінде оңтайландырылған ResNet18 және InceptionV3 параметрлерін қолдана отырып зерттеді. Inception V3-те оқу дәлдігі 80,9%, ал валидация дәлдігі 71,8% құрады. Momentum параметрі бар ResNet архитектурасын оқыту 97,7% дәлдікпен танудың жоғары нәтижесін көрсетті. Тану нәтижелері оңтайландыру параметрінің 0,5, 0,7 және 0,9 мәндерімен салыстырылды. Оңтайландыру параметрінің оқыту сапасына әсері байқалды. Жоғары мәні бар импульсті оңтайландырғышты қолдану тербелістерді азайту және дәлдікті арттыру арқылы жақсы нәтиже береді деп қорытынды жасауға болады.

Түйін сөздер: ауыл шаруашылығы, қызанақты тану, ауруларды анықтау, жіктеу, конволюциялық нейрондық желілер.

Introduction

The demand for tomatoes is growing, and they are gradually becoming an important food item in people's daily lives. Therefore, tomatoes play an extremely important role in the agricultural production of vegetables. Being one of the most widely cultivated vegetables in the world, the tomato has not only high yield, wide adaptability, but also high nutritional value. But, like other crops, tomatoes are affected by various diseases and pests during growth. Untimely control can lead to a decrease in yield or even crop failure.

The use of information technology provides new methods and ideas for the detection of diseases of crops. Using deep learning to detect tomato diseases can significantly reduce workload and reduce identification time [1]. A complex network structure and huge data samples are the most important characteristics of deep learning. Instead of exhausting steps such as image preprocessing, feature extraction and feature classification in the traditional method, an end-to-end structure is used to simplify the recognition process and solve the problem that it is difficult for a manually developed object extractor to obtain the feature expression closest to the natural attribute of the object [2]. Based on the application of the deep learning object detection method, it not only can save time and effort, but also allows you to obtain judgments in real time, significantly reducing the huge losses caused by diseases and pests, which has important research value and significance.

The purpose of our work is to study classification problems for various variants of CNN architecture for multiclass classifications of tomato diseases. The architecture of the ResNet convolutional network was trained without using optimization, also using stochastic gradient descent optimization parameters. In addition to this architecture, the Inception V3 neural network model was trained in order to compare the accuracy of recognition of tomato diseases. The performance achieved in this work using the ResNet architecture surpasses some existing modern work in this area.

Literature review and problem statement

The development of machine learning and deep learning technology opens up new opportunities for the recognition of diseases of crops. Many researchers around the world have studied various machine learning technologies [3, 4], deep learning [5, 6] to automate the detection of plant diseases.

In the research paper [7], to classify tomato diseases, the performance of various convolutional neural network architectures, such as ResNet18, MobileNet, DenseNet201 and InceptionV3, was studied. Comparative effectiveness was determined by binary classification, as well as by multiclass classification of six and ten classes of healthy and diseased tomato leaves. As a result, the InceptionV3 architecture demonstrated high performance for binary classification with 99.2% accuracy. The classification accuracy for the six ResNet18 classes was 96.8%, and for InceptionV3 – 97.6%. The authors claim that this study can help in the early and automatic detection of diseases in tomato crops using advanced technologies such as robotic platforms. The idea of combining with a feedback system that provides relevant information, methods of treatment, disease prevention and control, which leads to an increase in crop yields, is also proposed.

The article [8] suggests a tool for early detection of banana diseases using a deep learning approach. Five deep learning architectures, namely VGG16, Resnet 18, Resnet 50, Resnet152 and Inception V3, were used to develop models for detecting banana diseases, which allowed achieving high accuracy ranging from 95.41% for InceptionV3 to 99.2% for ResNet. Inception V3 was chosen for mobile deployment because it requires much less memory. The developed tool was able to detect diseases with a high reliability of 99% on captured leaves from the real environment, can also help farmers to carry out early detection of diseases and increase their productivity.

In [9], a system was proposed to improve the quality and quantity of tomato products by detecting plant diseases. The system involves the use of deep and convolutional neural networks. They experimented with 6 varieties of sick tomatoes from the Plant Village database. A study conducted in [10] describes a method that

consists in using 5 CNN deep learning architectures (AlexNet, GoogLeNet, InceptionV3, ResNet18, ResNet34) to classify tomato plant diseases. They used a learning transfer with the following hyperparameters: a batch size of 32, 30 epochs and a Plant Village database (a tomato plant with 9 different classes of diseases and one class of healthy tomatoes) with 18,160 images. The results are evaluated based on five criteria (precision, accuracy, sensitivity, specificity, F-score) with an accuracy of 99.72%.

Another work was devoted to the comparative analysis of convolutional neural network architectures in the classification of tomato diseases [11]. The DenseNet, ResNet 50, ResNet 30, ResNet 18, SqueezeNet and VGG.Net architectures were used in the study. The accuracy of recognition using ResNet18 reached a result of 99.1%. Due to such high classification rates, the authors of this work concluded that it is possible to rely on CNN to increase the accuracy of determining diseases of tomato plants.

The high result of the accuracy of detecting diseases of tomato plants by the ResNet architecture is explained by the fact that this architecture was created to overcome learning difficulties, since learning takes quite a lot of time and is limited to a certain number of levels [12]. The advantage of this model compared to other architectural models is that the performance of this model does not decrease, even though the architecture becomes deeper. The ResNet model is implemented by skipping connections at two or three levels containing ReLU and batch normalization among architectures. Thus, the ability to teach improves and the complexity of calculations decreases.

The study [13] considers the solution of the problem of detection/diagnosis of diseases using a fast and consistent reliable method. ResNet and Inception V3 were used to extract signs and adjust parameters for the detection and classification of diseases of tomato leaves. The basic models were tested on two data sets: a laboratory data set and self-collected field data. Inception V3 is recognized as the most efficient algorithm for both datasets with 99.6% accuracy.

Previous work shows that deep convolutional neural networks are good at recognizing plant diseases. But the methods indicated in many of the above works are not able to detect the disease at an early stage of leaf growth. The researchers also trained conventional neural network architectures without trying to improve performance and reduce training time.

The aim and objectives of the study

The aim of the research work is to develop a system capable of identifying healthy and unhealthy tomato leaves, as well as classifying types of tomato diseases using ResNet18 and InceptionV3 neural network architectures. In order to achieve this goal, a number of specific tasks were set that require urgent solutions:

- Evaluation of the quality of recognition and classification of tomato leaves diseases and improvement of recognition quality by the accuracy metric;
- Comparative analysis of the work of two deep learning architectures on the same dataset;
- Investigation of the influence of the optimization parameter on the quality training.

Research methodology

ResNet18

The ResNet18 network architecture represents a good compromise between computing time and performance [14]. As shown in Fig. 1, it includes five stages of convolution. The architecture has 17 convolution layers and 1 fully connected (FC) layer.

The size of the input image will be changed to 224×224. The first stage of convolution consists of a single convolution layer with 64 filters (7×7). The following convolution blocks consist of two residual blocks. Each residual block consists of two convolution layers with the same number of 3×3 filters. Each convolution block will reduce the image size by half and increase the object size (number of filters) by two. Unlike traditional CNN, an additional fast connection is added to each pair of 3×3 filters.

Inception V3

Inception V3 is a 42-level deep learning network with fewer parameters (Fig. 2). Parameter reduction is performed using convolution factorization [15]. For example, a 5×5 filter convolution can be performed using two 3×3 filters.

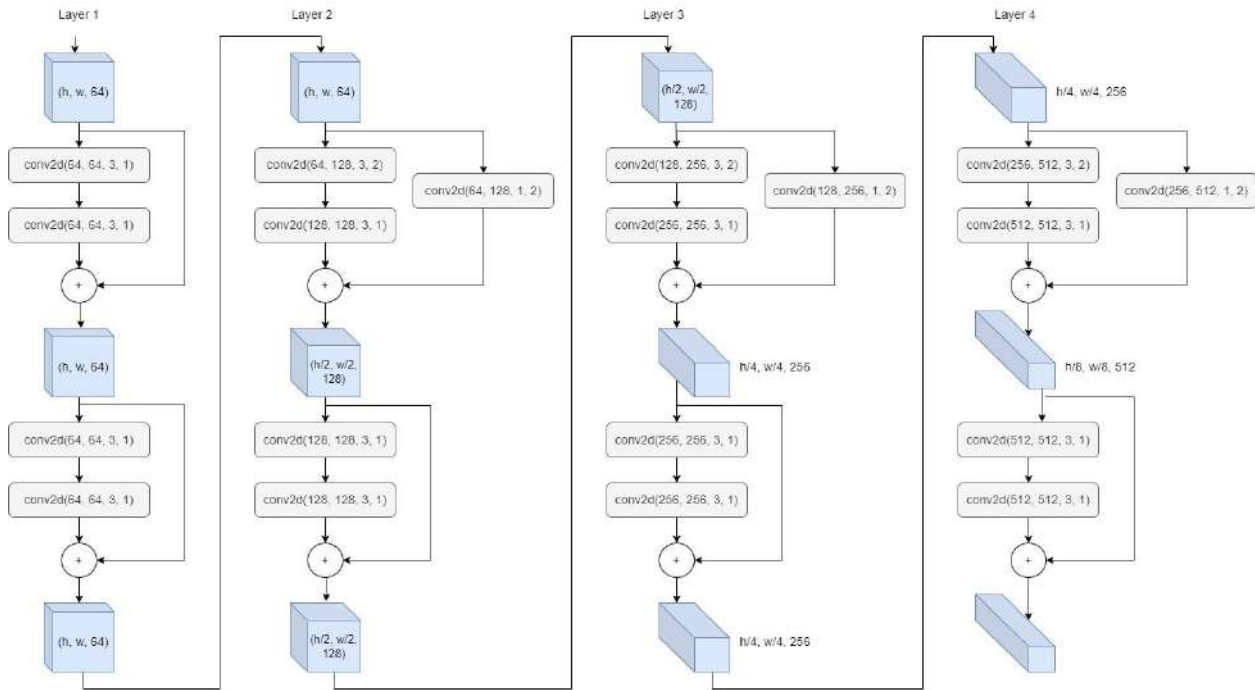


Fig. 1. ResNet 18 neural network architecture

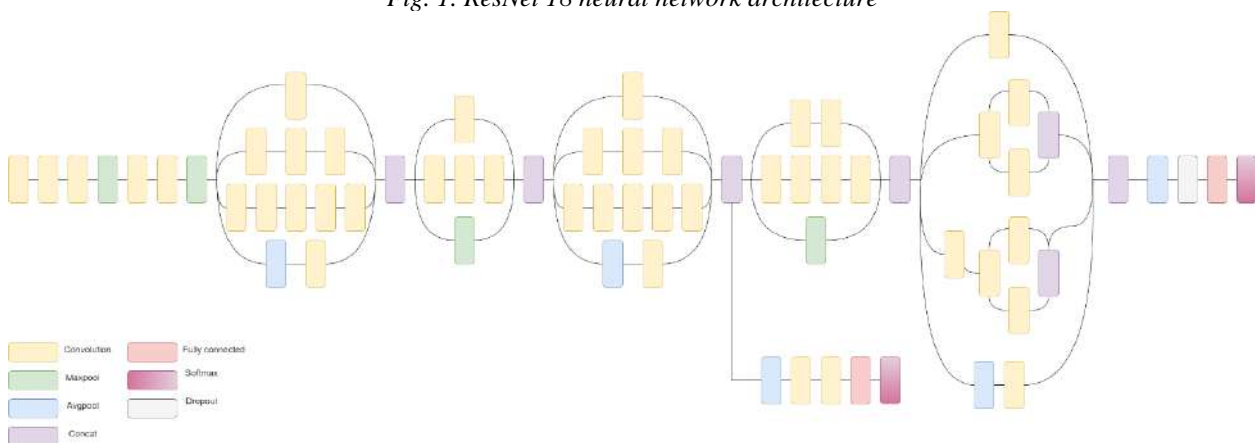


Fig. 2. The architecture of the neural network Inception V3

The parameters in this process decrease from $5 \times 5 = 25$ to $3 \times 3 + 3 \times 3 = 18$. Thus, this leads to a reduction in the number of parameters by 28%.

Dataset description

As data were taken 11 000 images of tomato disease from the Tomato leaf database (<https://www.kaggle.com/datasets/kaustubhb999/tomatoleaf>). The images were divided into 10 classes, where there is one healthy type and nine classes (Fig.3) of unhealthy type.

Bacterial spot of tomato (Fig.3, a) is a potentially devastating disease that, in severe cases, can lead to unmarketable fruit and even plant death. The first symptoms of black bacterial spotting are found on the leaves in the form of small indented brown spots of irregular shape. The spots increase in size to 1-2 mm, then blackening appears in their center. They cover most of the leaf plate. Symptoms of bacterial spotting appear on the ovaries, leaves, stems, and fruits of tomatoes. On the affected fruits, dark convex spots in the form of ulcers are first formed and surrounded by a watery border. Gradually they increase in size to 3-4 mm. The affected fruits remain underdeveloped, quickly rot. High average daily air temperature causes a massive spread of the disease.

The spread of early blight (Fig.3, b) begins with the lower leaves of tomatoes. As the infection spreads, the spots become larger in size. The lower part of the leaves is covered with a light coating of fungus, like a spider web. Gradually, the leaf cover turns yellow, twists, dries and dies.

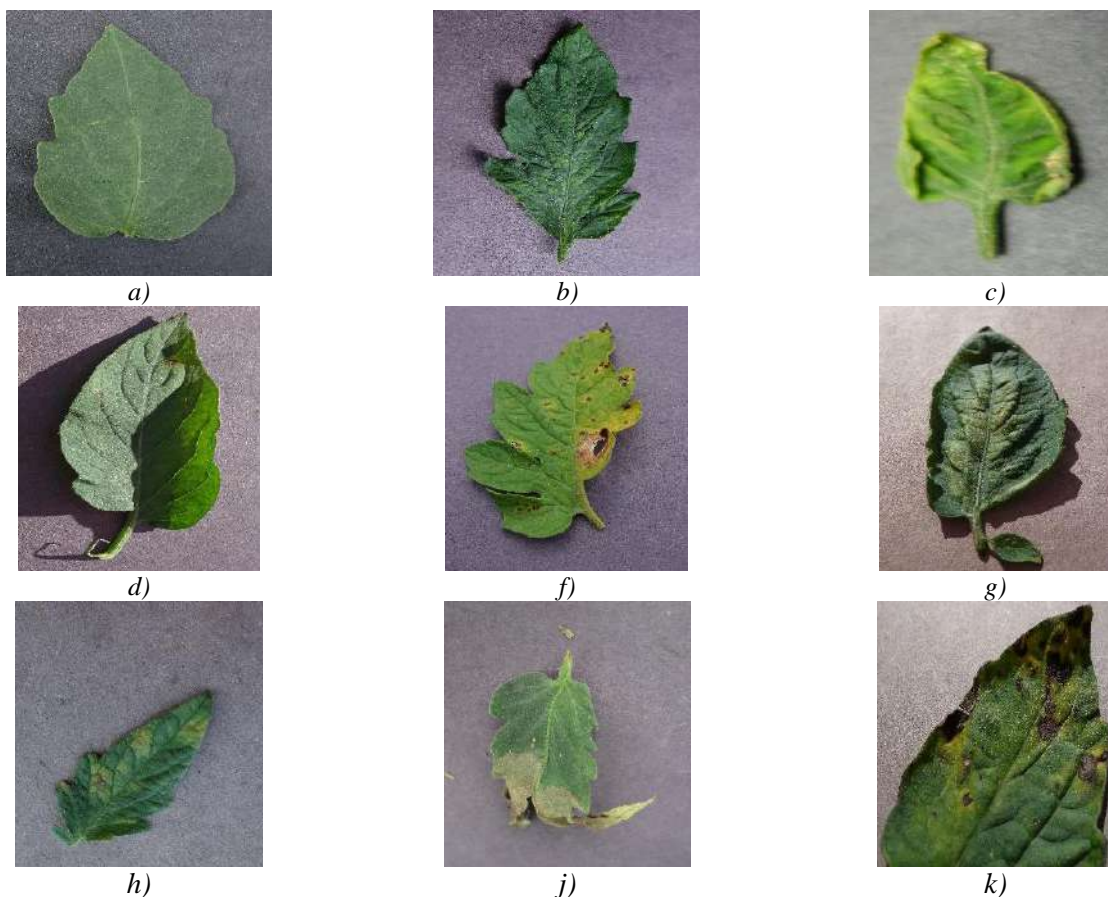


Fig. 3. Types of unhealthy tomato leaves: a – Bacterial spot; b – Early blight; c – Late blight; d – Leaf mold; f – Septoria leaf spot; g – Spider mites; h – Target spot; j – Yellow leaf curl virus; k – Mosaic virus

Leaf mold disease mainly affects only the leaves and is not dangerous for other parts of plants (Fig.3, d). The infection spreads from the bottom up along the leaf blades of tomatoes. An olive bloom appears on the underside of the leaf, and yellow spots spread out on the top, which damage the leaf surface through and through. Over time, the spots turn brown and spread throughout the leaf. It turns dark brown on top. Gradually, the disease rises up to the point of growth, causing the fall of dried leaves.

The white spotting or septoria of tomatoes (Fig.3, f) is manifested by the appearance on the leaves of the plant of small smooth round spots of dirty white or brown color, bordered by a brown stripe. Over time, these spots "spread out" to the point that they can occupy the entire surface of the leaf. On the spots of these leaves on both sides, you can also notice numerous dark dots-mushroom pycnids – it is from these fruit bodies that infectious fungal filaments – hyphae spread into the plant tissue. The disease begins to spread from the lower old leaves, then moves higher and affects the stems, flowers, and fruits of the plant. In the case of a severe lesion, these organs not only change color, but later twist, bend and dry up. The tomato is not only deprived of mature leaves and shoots, but in the future, it is forced to spend all its efforts on the formation of new ones, and not on fruiting.

Tomato red spider mite (Fig.3, g) produces webbing, especially on the undersides of leaves (Figure). In high infestations, dense webbing can mummify plants. Leaf defoliation follows infestation and plants may die in severe attacks.

When tomato plants are infected with the yellow curl virus of tomato leaves (transmitted by whiteflies), the new leaves acquire a cup-shaped shape and turn pale green (Fig.3, j). In addition, the entire plant may experience growth retardation, yellowing of the edges of the leaves, purple streaks on the underside of the leaves and a decrease in fruit yield.

Tomato mosaic virus (Fig.3, k) symptoms can be found at any stage of growth and all parts of the plant may be infected. They are often seen as a general mottling or mosaic appearance on foliage. When the plant is severely affected, leaves may look akin to ferns with raised dark green regions. Leaves may also become

stunted. Infected plants may have a severe reduction in fruit set and those that do set may be dotted with yellow blotches and necrotic spots while the interior of the fruit is brown.

All of the above tomato diseases are the most serious and extremely contagious diseases that can lead to crop loss. Therefore, a system has been developed to identify and classify healthy and unhealthy tomato leaves using deep learning architectures.

Research results and discussion

The main task was to analyze the quality results of the two neural networks, since we trained it several times in ResNet18 itself:

1. Learning without stochastic descent
2. Training of stochastic descent with momentum parameters 0.9, 0.7 and 0.5.

The Stochastic Descent algorithm with a momentum looks like this:

$$\begin{cases} w^{t+1} = w^t + \alpha \cdot v^t \\ v^{t+1} = v^t \cdot \beta - \nabla f \end{cases} \quad (1)$$

where, w^t – the vector of weights at the present moment of time;

w^{t+1} – the vector of weights at the next moment of time;

v^t – the speed at the present time;

v^{t+1} – the speed at the next moment in time;

α – the learning rate;

β – momentum, which we will change depending on the results.

In addition, the pytorch StepLR framework method was used during the training. This function was necessary to reduce the learning rate of each group of parameters by the value of the epoch y by the step size parameter. The values of all parameters were selected as follows:

Table 1. The value of training parameters

Parameters	Value
α	0.001
γ	0.1
step_size	7
last_epoch	-1

ResNet18

First, the neural network was trained without the use of optimization algorithms, that is, with the usual gradient descent algorithm. As a result, the accuracy metric value showed a value above 0.95 (Fig. 4), and according to the error function graph, we see that there is no effect from retraining:

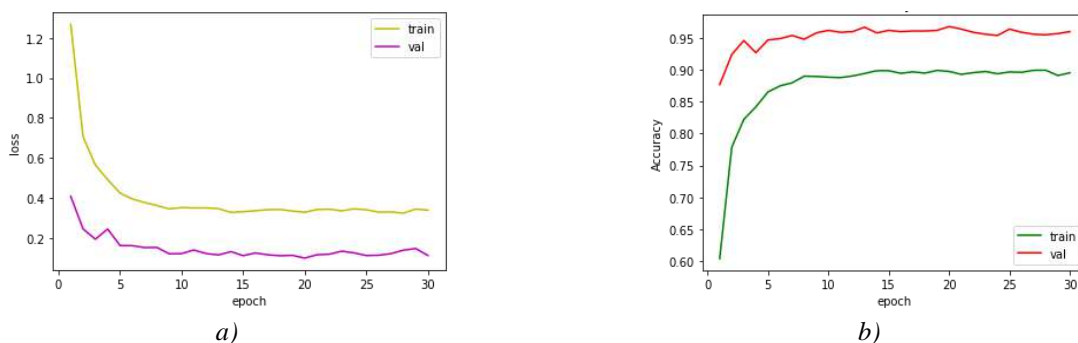


Fig. 4. The value of the gradient descent ResNet learning metrics: a - loss; b - accuracy

The next step was to train the same architecture but using stochastic gradient descent (SGD) optimization. 3 parameters of β (momentum) were taken (Fig. 5-7). The learning outcomes for each are as follows.

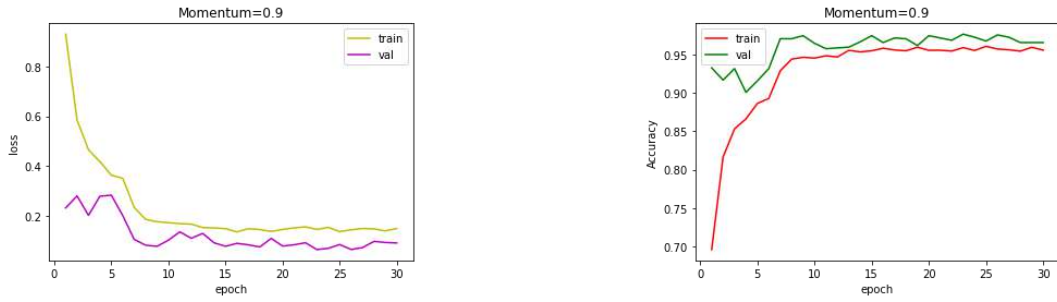


Fig. 5. The value of SGD learning metrics at $\beta=0.9$: a - loss; b - accuracy

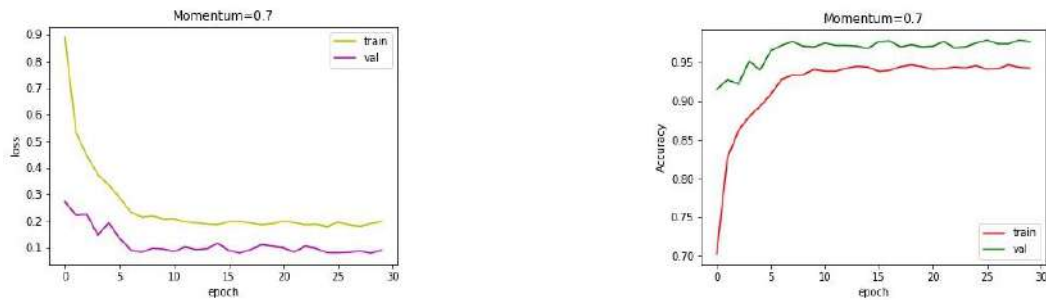


Fig. 6. The value of SGD learning metrics at $\beta=0.7$: a - loss; b - accuracy

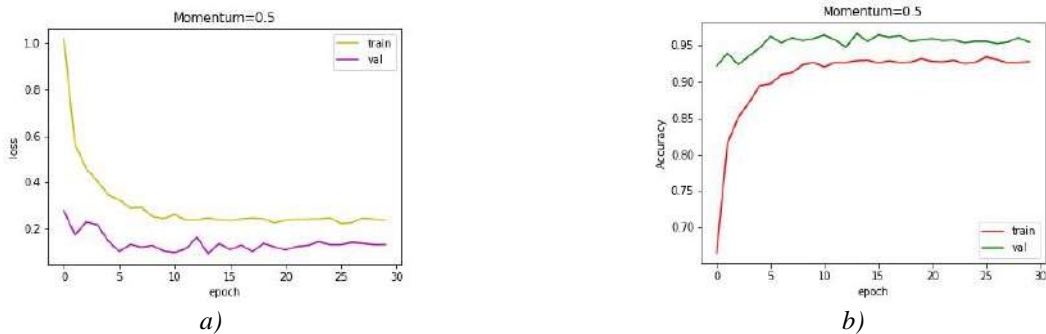


Fig. 7. The value of SGD learning metrics at $\beta=0.5$: a - loss; b - accuracy

Table 2. Results of accuracy of the ResNet18 architecture

ResNet18	Max_train Accuracy	Min_train Accuracy	Max_validation Accuracy	Min_validation Accuracy
Without momentum	0.8995	0.604	0.968	0.877
$\beta = 0.9$	0.9611	0.6957	0.977	0.901
$\beta = 0.7$	0.9471	0.703	0.979	0.915
$\beta = 0.5$	0.9335	0.6654	0.966	0.921

As can be seen in Table 2, the largest accuracy value on train was shown by training with a momentum value of 0.9, and on validation, training with a momentum of 0.9 and 0.7 showed almost identically 0.97. This parameter with a value of 0.5 shows the worst accuracy result out of three trained with stochastic gradient descent optimization on both train and validation at points 0.9335 and 0.966 respectively.

Training without SGD on train shows the worst result of all. You can see a significant difference in values between regular training and with SGD. If three trained with a momentum varied between 0.93 and 0.96 per train, then simple training showed a value of 0.89.

Inception V3

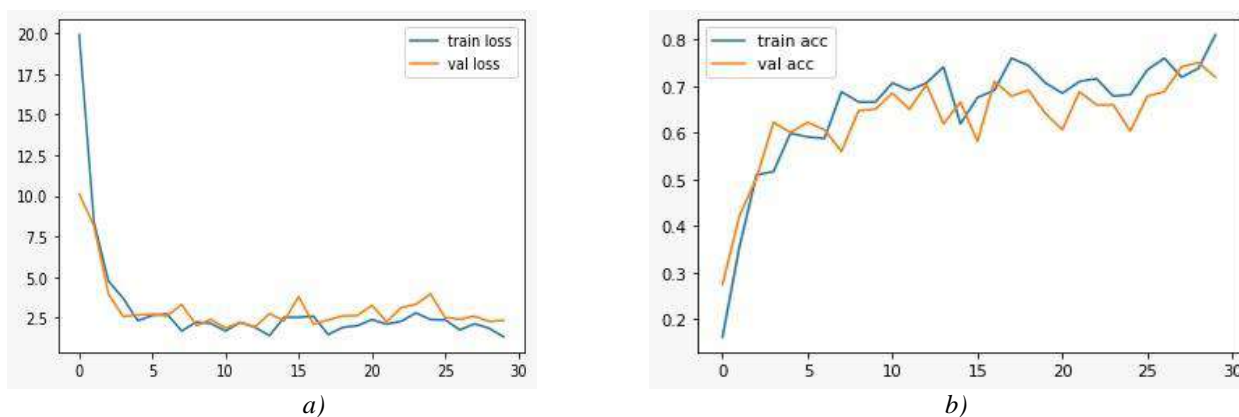


Fig. 8. The value of InceptionV3 learning metrics: a - loss; b - accuracy

Table 3. Results of accuracy of the InceptionV3 architecture

Max_train Accuracy	Min_train Accuracy	Max_validation Accuracy	Min_validation Accuracy
0.8094	0.3562	0.7188	0.2750

Training on the InceptionV3 architecture on train showed the best result of 0.8094, and on data validation gave the result of 0.7188.

When conducting a review on similar tasks [7, 8], it was found that the recognition accuracy of our system based on Inception V3 was comparatively less. But more emphasis was placed on learning the ResNet architecture and optimizing using the momentum parameter. Based on the results obtained, a comparative analysis was carried out for different values of the optimization parameter. Architecture variations were evaluated by accuracy and loss function metrics. The problems of forming a training sample often have a decisive impact on the quality of the algorithm and can serve as a limitation of the study. In our work, a balanced data set was used, which for each class had 1100 images of tomato leaves. This is one of the important factors, since in the learning algorithms, quality metrics are optimized in the learning process, which are a simple sum of errors for all training examples, and this amount will depend on the ratio of the number of training examples of different types. In the future, it is planned to expand the data set with the addition of other types of tomato plant diseases. With the increase in the amount of data, there is a great need for complex calculations with excellent performance specifications. The convergence of high-performance computing and deep learning for processing frames, reducing training cycles and improving accuracy is considered.

Conclusion

Work was carried out on training two neural networks ResNet18 and InceptionV3. Optimization using stochastic gradient descent showed an accuracy value greater than normal gradient descent. On average, for 30 epochs, training with SGD showed 1.05% more accuracy on the training sample. The high value of the momentum parameters training ResNet18 showed the best result of all. The recognition accuracy of InceptionV3 is significantly less than ResNet18 on the same data set. For the InceptionV3 architecture, it was concluded that with fewer parameters, the model will be less overloaded and, consequently, increase accuracy.

Acknowledgment

This research has been funded by the science committee of the ministry of education and science of the Republic of Kazakhstan (grant no. AP08857573).

References:

- 1 Wang, R., Lammers, M., Tikunov, Y., Bovy, A. G., Angenent, G. C., & Maagd, R. A. (2020). *The rin, nor and CNR spontaneous mutations inhibit tomato fruit ripening in additive and epistatic manners. Plant Science, 294, 110436.*
- 2 Liu, J., & Wang, X. (2020). *Tomato diseases and pests detection based on improved Yolo v3 convolutional neural network. Frontiers in Plant Science, 11.*
- 3 Islam M., Anh Dinh, Wahid K., & Bhowmik P. (2017). *Detection of potato diseases using image segmentation and multiclass support vector machine. IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), IEEE, Windsor, ON, Canada, 1-4.*
- 4 Es-saady Y., el Massi I., el Yassa M., Mammass D., & A. Benazoun (2016). *Automatic recognition of plant leaves diseases based on serial combination of two SVM classifiers. International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT), IEEE, Tangiers, Morocco, 561-566.*
- 5 Sharma P., Berwal Y.P.S., & Ghai W. (2019). *Performance analysis of deep learning CNN models for disease detection in plants using image segmentation. Inform. Proc. Agric, 1-9.*
- 6 Golhani K., Balasundram S.K., Vadamalai G. & Pradhan B. (2018). *A review of neural networks in plant disease detection using hyperspectral data Inform. Proc. Agric., 5 (3), 354-371.*
- 7 Chowdhury, M., Rahman, T., Khandakar, A., Ibtehaz, N., Khan, A., Khan, M.S., Al-Emadi, N., Reaz, M., Islam, M. & Ali, S. (2021). *Tomato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning Technique.*
- 8 Sanga S. L., Machuve D. & Jomanga K. (2020). *Mobile-based Deep Learning Models for Banana Disease Detection. Eng. Technol. Appl. Sci. Res., vol. 10, no. 3, 5674–5677.*
- 9 Rangarajan, A.K., Purushothaman, R. & Ramesh, A. (2018). *Tomato crop disease classification using pre-trained deep learning algorithm. Procedia Comput. Sci. 133, 1040–1047.*
- 10 Maeda-Gutiérrez, V., Galván-Tejada, C.E., Zanella-Calzada, L.A., Celaya-Padilla, J.M., Galván-Tejada, J.I., Gamboa-Rosales, H., Luna-García, H., Magallanes-Quintanar, R., Guerrero Méndez, C.A. & Olvera-Olvera, C.A. (2020). *Comparison of convolutional neural network architectures for classification of tomato plant diseases. Appl. Sci. 10, 1245.*
- 11 Mohammad A. & Wan H. (2021). *Evaluation of scratch and pretrained convolutional neural networks for the classification of Tomato plant diseases. IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI), 467-475.*
- 12 He K., Zhang X., Ren S., & Sun J. (2016). *Deep Residual Learning for Image Recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 770-778.*
- 13 Iftikhar A., Muhammad H., Suhail Y., Syed T.Sh., Muhammad O. A. (2020). *Optimizing Pretrained Convolutional Neural Networks for Tomato Leaf Disease Detection. Complexity.*
- 14 Sarwinda, D., Paradisa, R. H., Bustamam, A., & Anggia, P. (2021). *Deep Learning in Image Classification using Residual Network (ResNet) Variants for Detection of Colorectal Cancer. Procedia Computer Science, 179, 423–431.*
- 15 Hammou, D. & Mechab, B. (2021). *Tomato Plant Disease Detection and Classification Using Convolutional Neural Network Architectures Technologies. 33-44.*

МРНТИ 20.53.19
УДК 004.415

<https://doi.org/10.51889/8992.2022.42.92.022>

Г.Н. Казбекова^{1*}, Ж.С. Исмагулова², Г.К. Изтлеуова³

^{1,2}Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан
^{2,3}Баишев Университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан
*e-mail: G_kazbekova@mail.ru

SQL REPORTING ҚЫЗМЕТІНІҢ КӨМЕГІМЕН АҚПАРАТТЫ ТАЛДАУ МҮМКІНДІКТЕРІ

Аңдатпа

Бұл мақалада бұлттық технологияларда мәліметтерді SQL REPORTING көмегімен қалай талдауға болатындығы практика жүзінде көрсетілген. Жоғары оқу орнындарында «Бұлттық технологиялар» пәні оқылып, онда бұлттық технологияларды, бұлттық есептеу қызметтерін қолдану заман талабынан туындап отыр. Осы тұрғыдан алып қарағанда, ұсынылып отырған мақалада заманауи бұлттық технологияларды қолданып, оның барлық мүмкіндіктері қарастырылған. Сонымен қатар, бұлттық технологиялардың ішінде мәліметтерді SQL REPORTING-нің көмегімен талдау әрекеттерді әр қадаммен практикада анықталып, баяндалған. Таратылған жүйелер және бұлттық есептеулерді пайдаланып, білім беру саласында алынған мәліметтерді өңдеу мен сақтаудың жаңа даму бағыттары да қамтылған. Өз кезегінде бұлттық қызметтерді пайдалану арқылы еліміздегі білім беру талаптарына сәйкес келетін бірегей ақпараттық-білім беру платформасын құруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: бұлттық технологиялар, Business Intelligence, Windows Azure, SQL Reporting.

Аннотация

Г.Н. Казбекова¹, Ж.С. Исмагулова², Г.К. Изтлеуова³

^{1,2}Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г.Туркестан қ., Казахстан
³Баишев Университет, г.Ақтөбе, Казахстан

ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ СЕРВИСА SQL REPORTING

В данной статье представлено как анализировать данные в облачных технологиях с помощью сервиса SQL REPORTING. В вузах изучается дисциплина «облачные технологии», где использование облачных технологий, облачных вычислительных услуг диктуется современными требованиями. С этой точки зрения в предлагаемой статье рассмотрены все возможности использования современных облачных технологий. Кроме того, среди облачных технологий анализ данных с помощью SQL REPORTING проводится с каждым шагом. Охватываются, также, новые направления развития обработки и хранения данных, полученных в сфере образования с использованием распределенных систем и облачных вычислений. В свою очередь, использование облачных сервисов позволит создать уникальную информационно-образовательную платформу, соответствующую требованиям образования в стране.

Ключевые слова: облачные технологии, Business Intelligence, Windows Azure, SQL Reporting.

Abstract

DATA ANALYSIS USING SQL REPORTING SERVICE

Kazbekova G.N.¹, Ismagulova Zh.S.², Iztleuova G.N.³

^{1,2}Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan
³Baishev University, Aqtobe, Kazakhstan

This article presents how to analyze data in cloud technologies using the SQL REPORTING service. The discipline "cloud technologies" is studied at universities, where the use of cloud technologies, cloud computing services is dictated by modern requirements. From this point of view, the proposed article discusses all the possibilities of using modern cloud technologies. In addition, among cloud technologies, data analysis using SQL REPORTING is carried out with each step. New directions of development of processing and storage of data obtained in the field of education using distributed systems and cloud computing are also covered. In turn, the use of cloud services will create a unique information and educational platform that meets the requirements of education in the country.

Keywords: cloud technologies, Business Intelligence, Windows Azure, SQL Reporting.

Кіріспе

Қазақстан Республикасында білім беру процесінде заманауи ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдану білім алушылардың сапасын арттыруды және бәсекеге қабілетті маман болуын қамтамасыз етеді. ЖОО-дарында оқытушы-профессорлар құрамы білім алушыларды даярлауға цифрлық құрылғылармен инновациялық технологияларды қолдану арқылы заман талабына сай форматта білім беруде. Осы жағдайда бұлттық технологиялар пайдалану мүмкіндігі: жеке бұлттар құру немесе дайын бұлттарды пайдалану арқылы цифрлық білім беру ресурстарын жобалау, құру арқылы соңғы өнімді дәстүрлі немесе қашықтықтан оқытуға толық қолдану болып табылады [1,5].

Бұлттық сервистерді қолдану аймақтары жеке кәсіпкерлер мен стартаптардан бастап мемлекеттік мекемелер, банктер, ірі компаниялар өте үлкен мәліметтердің көшірмесін жасауға және архивтеуге қолданады. Сонымен қатар, ондай сервистер білім беру жүйесін де қамтуы қажет. Жеке бұлттар құру арқылы бұлтты платформалардың барлық мүмкіндіктерін пайдалануға болады. Жүргізілген зерттеулерден бойынша корпоративті қосымшаларға бұлтты платформаларды қолдану іскерлік әлемде шығындарды азайтуға мүмкіндіктер беретіндігі байқалды. Технологиялар дамып, шарықтаған сайын қосымшалардың инфрақұрылымының күрделенуі жағдайында оларға сенімділік әрі талап арта түседі. Бұл мәселені шешудің негізгі жолы – әртүрлі веб-қосымшалардың сенімділігі мен киберқауіпсіздігін қамтамасыз етуге міндетті бұлтты қызметтерді пайдалану болуы тиіс. Фролов В.В. өз еңбегінде қауіпсіздігі мен сенімділігі бағыты бойынша зерттеу мен талдаудың объектісі бұлтты қызметтердің көмегімен жасалған көп модульді веб-қосымша деп қарастырады [1,2].

Жеке бұлтты есептеулер бірнеше жүйелерді бір бұлтқа біріктіруге мүмкіндік береді, соңғы қолданушылар орналасқан жерін немесе жалпы сұраныстың өзгермеуіне қарамастан оңай қол жеткізу мүмкіндігі бар екені бәрімізге аян. Сарапшы Стив Смут жеке бұлтты құру үшін корпоративті желілерді қалай құруға болатынын сипаттау үшін көпжылдық тәжірибесін еңбегінде ұсынған. Жеке бұлттар корпоративті желілер үшін толықтай бұлт архитектурасын ұсынады, деректер орталықтары мен виртуалдындыруды желіге ыңғайлы етіп ресурстарға көшуге болатын шешімге біріктіріп деректерге виртуалды қол жеткізуді жеңілдетеді [2,6].

Бұлтты технологиялар арқылы білім алушылар компьютерден басқада, мобильді құрылғылармен деректерге қол жеткізу мүмкіндігіне ие. Көптеген ЖОО-да оқу жұмысын басқаратын платформалар бар, студенттер сол арқылы мобильді құрылғылармен еш қиындықсыз қажетті ақпараттарға қол жеткізуде, бұл өте ыңғайлы әрі шығында азайтады.

Негізгі бөлім

Бизнес-сараптама немесе Business Intelligence (BI) - маңызды процесс, ол транзакциялық ақпаратты адам оқитын формаға, сондай-ақ, өңделген ақпаратпен жаппай жұмыс істеуге арналған құралдарға айналдыруға ықпал жасайтын ұйымдар үшін компьютерлік әдістер мен құралдарды белгілеу болып табылады. Шын мәнінде, бизнес-аналитиканың мақсаты дәл алынған деректерді талдау негізінде бизнес-шешім қабылдауға жауапты пайдаланушылар қол жеткізе алатын деректерді сақтау.

Бұлтты есептеулердің дамуымен деректер қоймаларын да, бизнес-аналитикалық жүйелерді де сатушы қуатына ауыстыруға мүмкіндік туды, осылайша тек пайдаланылатын ресурстарға төлем төленді. Бұлттық технология мүмкіндіктері икемділіктің басты артықшылығы мен үлкен көлемдегі мәліметтерді өңдеуге мүмкіндік береді. Бұлттардағы бизнес-аналитикалық жүйелерді екі түрге бөлуге болады:

- Бұлттағы деректер, жергілікті бизнес-сараптама
- Бұлттағы қозғалтқыш және қосымша.

Ақпаратты бұлтқа орналастыру есептерді қосымшаларға да, URL мекен-жайы арқылы ғаламдық қол жетімді болатындай етіп орналастыруға мүмкіндік береді [3,9].

Windows Azure SQL Databases Reporting деп аталатын бұлтты бизнес-аналитикалық жүйенің негізгі сценарийлеріне келесі сценарийлер кіреді:

Маусымдық жүктеме. Мысалы, кейбір өнімдерді жүзеге асыратын ұйымда деректер қоймасынан есептер шығарудың мерзімді міндеті бар. Осы мәселені шешу жүзеге асырылатын ресурстарды жергілікті деректер орталығында орналастыру максималды жүктеме-лерді, тиімді пайдалануды және т.б. есептеуді қажет етеді. Бұл жағдайда есеп берудің мерзімді қажеттілігі болған кезде Windows Azure SQL Databases Reporting бұлтты қызметін пайдалануға болады. Жүктеме шыңы төмендегеннен кейін, кез-келген басқа қызметтер сияқты, ақылы ресурстардан бас тартуға болады.

Гибридті инфрақұрылым. Жергілікті деректер орталығындағы деректердің бір бөлігі, көпшілікке көрсетілетін бөлігі бұлтта орналасқан. Microsoft корпорациясы ұсынатын AdventureWorks мәліметтер базасы арқылы есеп беру әрекеттерінің реттілігін қарастыруға болады [4,7].

Деректер базасы бар архивті ашқаннан кейін Windows Azure-де дерекқорды орналастыру үшін келесі пәрменді орындау керек (1 сурет).

`CreateAdventureWorksForSQLAzure.cmd <servername>.database.windows.net <username> <password>`

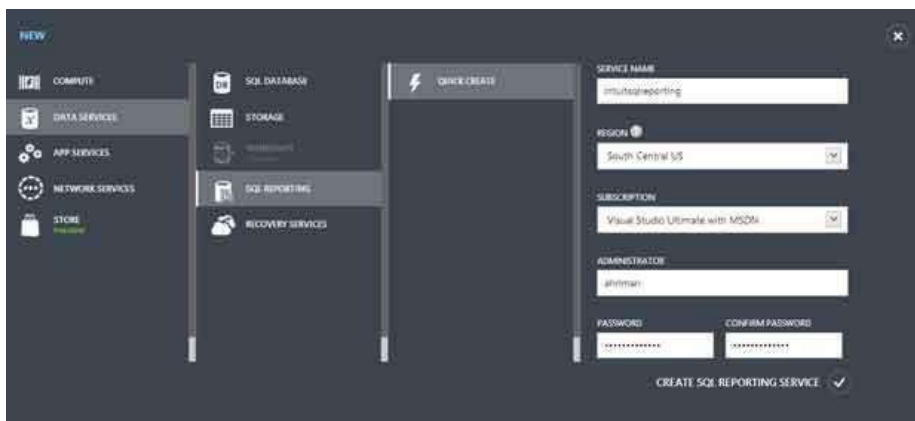
```

C:\Users\Alexander\Downloads\AdventureWorks2012ForSQLAzure\AdventureWorks>echo off
Creating Database
Processing T-SQL file createAdventureWorksForSQLAzure_DB.sql
Creating Schema
Processing T-SQL file AdventureWorks2012ForSQLAzure_Schema.sql
Populating Person.AddressType
Начато копирование...
Скопировано строк: 6.
Размер сетевого пакета (в байтах): 4096
Время (мс) Всего : 1030. В среднем : (5.83 строк в секунду.)
Populating dbo.AWBuildVersion
Начато копирование...
Скопировано строк: 1.
Размер сетевого пакета (в байтах): 4096
Время (мс) Всего : 951. В среднем : (1.05 строк в секунду.)
Populating Person.BusinessEntity
Начато копирование...
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 1000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 2000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 3000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 4000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 5000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 6000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 7000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 8000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 9000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 10000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 11000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 12000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 13000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 14000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 15000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 16000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 17000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 18000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 19000
Отправлено строк на SQL Server: 1000. Всего отправлено: 20000

```

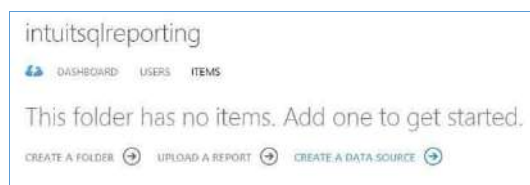
Сурет 1. Мәліметтер қорын орналастыру

Windows Azure басқару порталы арқылы Windows Azure SQL Reporting қызметін жасау мүмкіндігі бар. Қызметтің Windows Azure SQL Databases серверімен бір аймақта орналасуы олардың өзара әрекеттесуіндегі кідірістерді едәуір азайтады. Windows Azure басқару порталы арқылы Windows Azure SQL Reporting қызметін құру үшін (2 сурет).



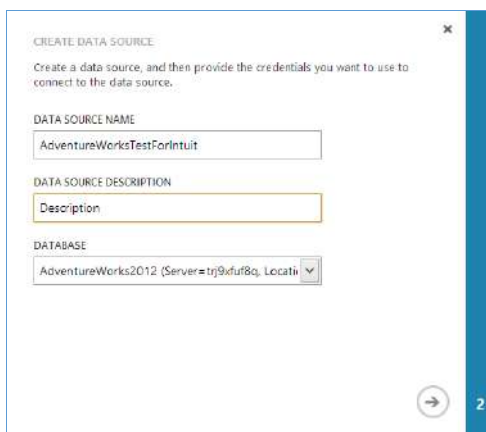
Сурет 2. Windows Azure басқару порталы арқылы Windows Azure SQL Reporting қызметін құру

Мұнда сұраныс жасау үшін SQL Reporting қызметін деректер көзімен байланыстыру міндетті түрде болу қажет. SQL Reporting қызметіне деректер көзін қосу керек (3 сурет).



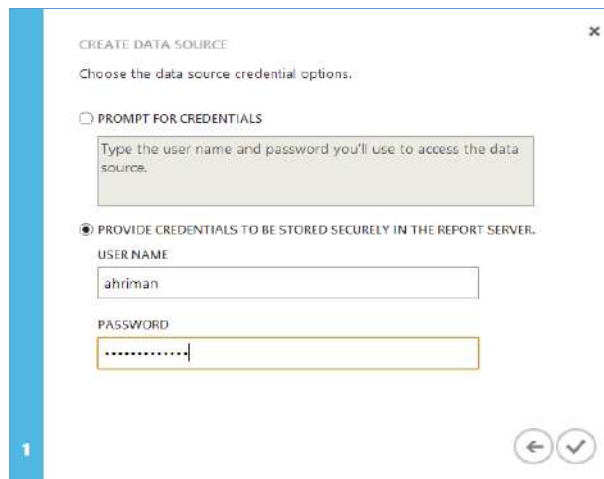
Сурет 3. SQL Reporting

Ашылған диалог терезесінде деректер көзінің логикалық атауын және оның сипаттамасын көрсету керек. Деректер көзіне арналған дерекқорды database ашылмалы мәзірінен таңдауға болады (4 сурет).



Сурет 4. Мәліметтер қорын құру

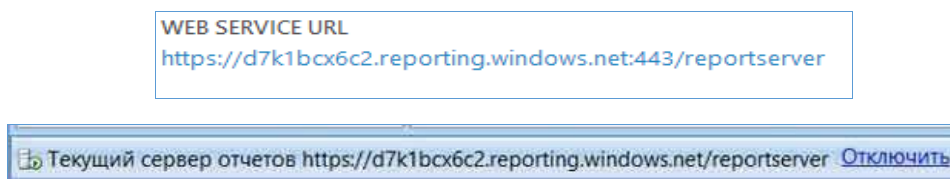
Келесі бетте өткеннен кейін *provide credentials to be stored securely in the report server* опциясын таңдау қажет. Әрі қарай дерекқор сервері әкімшісінің логині мен парольін енгізу талап етіледі (5 сурет).



Сурет 5. Мәліметтер қоры администрациясын қосу

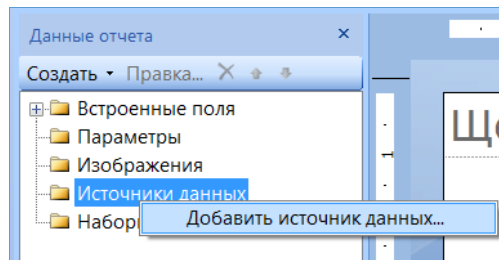
SQL Reporting қызметімен өзара әрекеттесу үшін біз Report Builder орнату қажет, ол үшін арнайы Microsoft сайтынан мына сілтеме арқылы жүктеуге болады: <http://www.microsoft.com/rur/download/details.aspx?id=29072>. [8,11]. Report Builder іске қосылғаннан кейін (орнату тіліне байланысты оны "3.0 есеп құрастырушысы" деп атауға болады) интерфейснің төменгі жағындағы "байланыс" түймесін басу арқылы серверге қосылу керек. Қосылу үшін пайдаланылатын сілтемені қызметтің басқару тақтасына көшіруге болады.

Логин мен парольді енгізіп, серверге қосылғаннан кейін интерфейснің төменгі жағындағы байланыс жағдайы өзгереді (6 сурет).



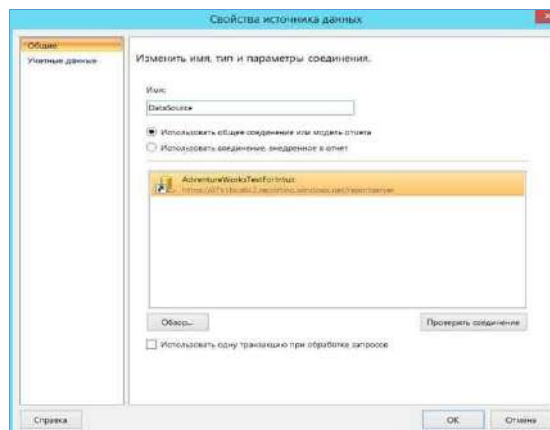
Сурет 6. Ағымдағы серверге қосылу

Report Builder-ге мәліметтер көзін құру керек (7 сурет).



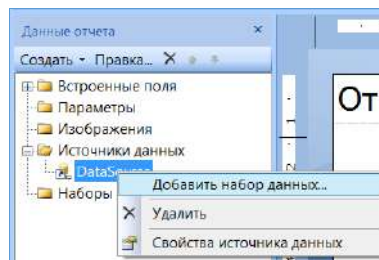
Сурет 7. Report Builder-ге деректер қосу

Ашылған терезеде қосылған серверді таңдалып, аты енгізілуі керек (8 сурет).



Сурет 8. Жаңа мәліметтер көзін қосу

Бұрын жасалған DataSource деректер көзіне тышқанның оң жақ батырмасымен басу арқылы басқа деректер көзін қосу керек(9 сурет).

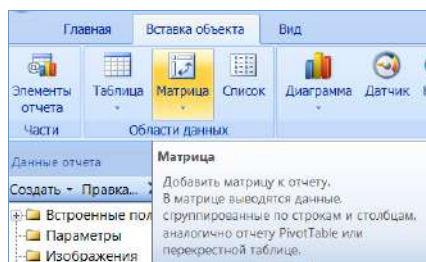


Сурет 9. Мәліметтер көзін қосу

Ашылған деректер жиынтығын құру терезесінде сату деректерін алу үшін SQL сұрауын "сұрау" мәтін жолағына енгіземіз.

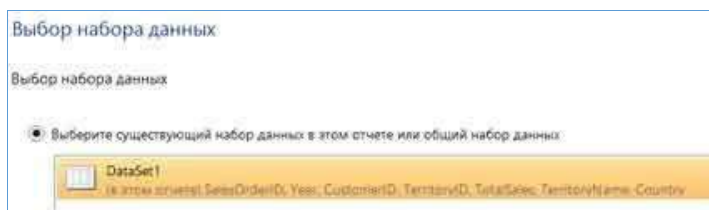
```
SELECT soh.[SalesOrderID],DATEPART(year, soh.[OrderDate]) AS 'Year'
,soh.[CustomerID],soh.[TerritoryID],terr.[Name] as 'TerritoryName'
,terr.[CountryRegionCode] as 'Country',soh.[TotalDue] as 'TotalSales'
FROM [Sales].[SalesOrderHeader] AS soh
JOIN [Sales].[SalesTerritory] AS terr
ON terr.[TerritoryID] = soh.[TerritoryID]
ORDER BY 'Year'
```

Есепті көрсету үшін объект ішінен матрицаны қоямыз (Вставка объекта-Матрица) (10 сурет).



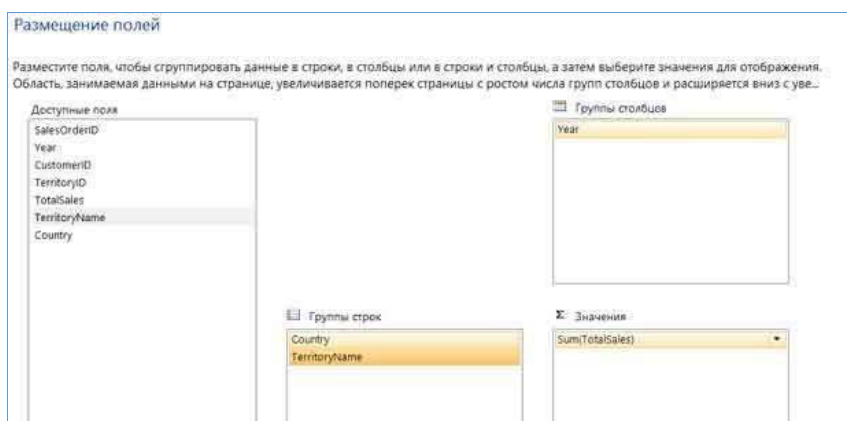
Сурет 10. Есеп үшін матрица

Жасалған деректер жиынтығын таңдау керек (11 сурет).



Сурет 11. Таңдалған деректер жиынтығы

Есеп формасын құрастырамыз: Year-ды "бағандар тобына", Country және TerritoryName-ді - "жолдар тобына" және TotalSales-ті "мәндерге" ауыстыру қажет (12 сурет).



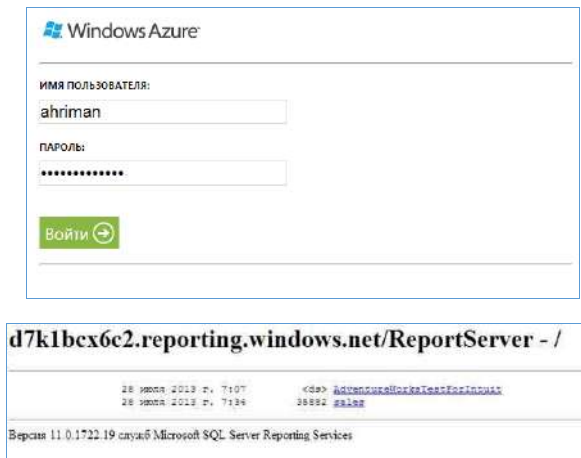
Сурет 12. Есепте өрістерді орналастыру

Орындалғаннан кейін сізге бірнеше жыл ішіндегі сату туралы есеп беріледі (13 сурет).

Country	Territory Name	2005	2006	2007	2008	Итого
AU	Итого	1446497.17 44	2380484.83 87	4313294.83 65	3674099.24 56	11814376.0 952
CA	Итого	1866734.92 21	6130230.73 54	6964947.20 34	3437016.32 71	18398929.1 880
DE	Итого	262752.418	575960.097	2432549.82 52	2208557.23 45	5479819.57 55
FR	Итого	199531.723	1535232.89 60	3815005.25 09	2569979.47 61	8119749.34 60
GB	Итого	322207.529	1602371.32 05	3873251.74 97	2776218.10 86	8574048.70 82
US	Итого	8595526.85 91	22239568.5 473	25772440.6 803	14222327.1 163	70829863.2 030
Итого		12693250.6 264	34463848.4 353	47171489.5 480	28888197.5 082	173216786. 1159

Сурет 13. Сату есебінің мысалы

Есепті қайтадан *Конструкторға* өту арқылы сақтаңыз. Белсенді байланыс *Windows Azure* серверіне тиесілі болғандықтан, оны сақтауға болады. Сақтағаннан кейін қажетті құқықтары бар кез-келген пайдаланушы [https://\[servername\]reporting.windows.net/reportserver](https://[servername]reporting.windows.net/reportserver) сілтемесін басу арқылы және логин мен парольді енгізу арқылы. есепке қол жеткізе алады (14 сурет).



Сурет 14. Azure порталындағы есеп

Есепті басу оның *Windows Azure*-де пайда болуына әкеледі (15 сурет).

Country	Territory Name	2005	2006	2007	2008	Итого
AU	Итого	1446497.1744	2380484.8387	4313294.8365	3674099.2456	11814376.0952
CA	Итого	1866734.9221	8130230.7354	6964947.2034	3437016.3271	18398929.1880
DE	Итого	262752.4184	575060.0974	2432549.8252	2208557.2345	5479819.5755
FR	Итого	199531.7230	1535232.8960	3815805.2509	2569979.4761	8119749.3460
GB	Итого	322287.5294	1602371.3205	3873251.7497	2776218.1086	8574048.7082
US	Итого	8595576.8591	22239568.5473	25772440.6803	14222327.1163	78829863.2030
Итого		12693250.6264	34463848.4353	47171489.5460	28888197.5682	123216786.1159

Сурет 15. *Windows Azure*-де есептің құрастырылуы

Корпоративтік секторда *SSRS* есептерін пайдалану бірнеше мәселелерді шешеді:

- статистикалық ақпаратты визуалды түрде көрсету - деректерді визуалды түрде қабылдау, мысалы, графика әрдайым бірдей мәліметтер жиынтығынан гөрі түсінікті, бірақ сандар тізбегі ретінде ұсынылған. Бұл бизнестің жай-күйін көрсететін нақты көріністі түсінуді жақсартады және ақпаратты қабылдау жылдамдығын арттырады;

- *SSRS* есеп беру қызметтері пайдаланушыға деректерді жеткізудің әртүрлі мүмкіндіктерін, серверде жариялау мүмкіндігін ұсынады (есептерге *online* және *offline* қатынау), *Reporting Services* және *share Point* платформасы негізіндегі кәсіпорынның жергілікті серверінде есепті пайдаланушыға ыңғайлы форматта алу (*.HTML, *.pdf, *.xls, *.doc, электрондық пошта және мобильді құрылғыға хабарлама түрінде) [9,10].

- *Reporting Services* қызметтері пайдаланушыларға қол жетімділіктің қажетті деңгейін қамтамасыз етуге, есептерді өңдеуді жоспарлауға, белгілі бір жұмыс уақытында пайдаланушылардың үлкен есептерді өңдеуіне тыйым салуға мүмкіндік беретін басқару ортасын ұсынады.

Қорытынды

Осылайша, *SQL Reporting* бұлтты қызметін әртүрлі сценарийлер үшін пайдалануға болады, бұл есептерге ғаламдық қол жетімділікті, іс жүзінде шексіз ресурстарды және икемділікті білдіреді. Қазіргі уақытта бұлттық технологиялар бағытын жеке бұлтты платформаларды жобалауға, сондай-ақ жеке бұлтқа негізделген ақпараттық жүйелерді құру жобалары білім беру саласында кең қолданыста.

Әрине, бұлттық есептеулер қиындықсыз болмайды себебі, тиісті бұлтты қосымшаларды табу қиын және көп уақытты қажет етеді. Сол себепті жеке бұлт құру, соның ішінде SQL REPORTING қызметінің көмегімен ақпаратты талдау тиімді деген тұжырым жасауға болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Фролов, В.В., Орехов, О.О., Харченко, В.С., & Фролов, О.В. Анализ различий двухверсионного многомодульного веб-приложения с использованием облачных сервисов // Радиоэлектронные и компьютерные системы, 2020, №2, с.80-91.
- 2 Patel S.K., Sharma A.K. Optimization of Dynamic Resource Scheduling Algorithm in Grid Computing Environment. // International Journal of Computer Sciences and Engineering. 2018. №6(3). с 19-26, <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i3.1926>
- 3 Waseem M., Lakhan A., Jamali I. A. Data security of mobile cloud computing on cloud server //Open Access Library Journal, 2016, №4 (3), с. 1-11
- 4 Al-Rasheedi G., Khan N. The Role of Cloud Computing in Education: Saudi Arabian Study // International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). 2021. №15 (24). 191-200. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i24.27363>
- 5 Керімбаев Н.Н., Йоцов В.С., Большанова М.Ж. Аралас оқыту әдістеріне бұлтты технологияларды қолдану // ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика және математика» сериясы. – 2021. - №4 (72).
- 6 Ismail, L., Materwala, H. Energy-SLA-aware genetic algorithm for edge–cloud integrated computation offloading in vehicular networks // Future Generation Computer Systems. 2022. №135. 205-222. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.04.009>
- 7 Materwala, H. , Ismail, L. EATSVM: Energy-Aware Task Scheduling on Cloud Virtual Machines // 3rd International Conference on Computer Science and Computational Intelligence, 2018, №135, 248-258 <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.172>
- 8 Казакова У.А. Применение технологии Cloud computing // Информационная Мордовия (Саранск), 2021, №3(54), 651-657
- 9 Suhaib, M. Usage of Cloud Computing Technology and Challenges in Japanese Higher Educational Institutes. Scientific & Technology Research. 2020. 9: 2727–2733.
- 10 Narwal. M. S, Singh, M. S. P, Singh, M. L., & Kumar, M. A. (2013), Cloud Computing in Education. National Conference on E-learning and E- learning Technologies (ELETECH India 2013), Hyderabad, Volume: 4th National Conference, June, 2013.

References:

- 1 Frolov, V. V., Orekhov, O. O., Kharchenko, V. S., & Frolov, O. V. (2020). Analysis of variant of two-version multi-module web application using clouds services. radioelectronic and computer systems, (2), 80-91 (In Russian)
- 2 Patel S.K., Sharma A.K. (2018) Optimization of Dynamic Resource Scheduling Algorithm in Grid Computing Environment. // International Journal of Computer Sciences and Engineering. 2018. №6(3). с 19-26. (In English) <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i3.1926>
- 3 Waseem M., Lakhan A., Jamali I. A. (2016) Data security of mobile cloud computing on cloud server //Open Access Library Journal. -2016. - Vol. 3. - No. 4. - p. 1-11
- 4 Al-Rasheedi G., Khan N. (2021) The Role of Cloud Computing in Education: Saudi Arabian Study // International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). №15 (24). pp.191-200. (In English) <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i24.27363>
- 5 Kerimbayev N. N., Yotsov V. S., Bolyskhanova M. (2020) Application of cloud technologies in mixed learning methods, Bulletin of kaznpu im. Abaya, Series "physical and Mathematical Sciences", No4(72) (In Kazakh)
- 6 Ismail, L., Materwala, H. (2022) Energy-SLA-aware genetic algorithm for edge–cloud integrated computation offloading in vehicular networks // Future Generation Computer Systems. №135. 205-222. (In English) <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.04.009>
- 7 Materwala, H. , Ismail, L. (2018) EATSVM: Energy-Aware Task Scheduling on Cloud Virtual Machines // 3rd International Conference on Computer Science and Computational Intelligence, 2018, №135, 248-258. (In English) <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.172>
- 8 Kazakova U.A. (2021) Application of Cloud computing technology // Informational Mordovia (Saransk), №3 (54), 651-657 (In Russian)
- 9 Suhaib, M. (2020), Usage of Cloud Computing Technology and Challenges in Japanese Higher Educational Institutes. Scientific & Technology Research. №9: 2727–2733. (In English)
- 10 Narwal. M. S, Singh, M. S. P, Singh, M. L., & Kumar, M. A. (2013), Cloud Computing in Education. National Conference on E-learning and E- learning Technologies (ELETECH India 2013), Hyderabad, Volume: 4th National Conference, June. (In English)

МРНТИ 28.23.17
УДК 004.82:16

<https://doi.org/10.51889/9340.2022.21.68.023>

Ж.М. Кожирбаев^{1*}, Ж.А. Есенбаев¹

¹National Laboratory Astana, г.Нур-Султан, Қазақстан

*e-mail: zhanibek.kozhirbayev@nu.edu.kz

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ (END-TO-END) СИНТЕЗ РЕЧИ ДЛЯ КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА

Аннотация

Синтез речи, также называемый преобразованием текста в речь (TTS), считается одной из важных задач обработки речи наряду с распознаванием речи. Это способ преобразования данного текста в речь. Существует несколько подходов синтеза речи. В 20 веке была разработана первая компьютерная система синтеза голоса. Некоторыми из ранних методов компьютерного синтеза речи являются артикуляционный синтез, формантный синтез и конкатенативный синтез. Статистический параметрический синтез речи позже был предложен по мере развития машинного обучения. С 2010-х годов синтез речи на основе нейронных сетей постепенно становится все более популярным и улучшает качество голоса. Целью данной работы является обзор статистических параметрических и сквозных методов, которые можно рассматривать как линию эволюционного развития TTS. Кроме того, мы проведем эксперимент со сквозным методом на базе Tacotron2 и ParalleWavegan. Для экспериментов были собраны текстовые материалы произведений Ахмета Байтурсынулы. Всего из собранных материалов было записано 50 часов аудиозаписи. Из произведений Байтурсынулы было отобрано шесть книг, из которых были отобраны наиболее распространенные произведения и собраны в аудиотекстовые материалы. Один профессиональный диктор-мужчина озвучивал собранные текстовые данные. **Ключевые слова:** синтез речи, формантный синтез речи, конкатенативный синтез речи, статистический параметрический синтез речи, интегральный синтез речи.

Аңдатпа

Ж.М. Кожирбаев¹, Ж.А. Есенбаев¹

National Laboratory Astana, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

ҚАЗАҚ ТІЛІ ҮШІН ИНТЕГРАЛДЫҚ (END-TO-END) СӨЙЛЕУ СИНТЕЗІ

Сөйлеу синтезі, оны мәтіннен сөйлеуге (TTS) деп те атайды, сөйлеуді танумен қатар сөйлеуді өңдеудің маңызды міндеттерінің бірі болып саналады. Бұл берілген мәтінді сөйлеуге түрлендіру тәсілі. Сөйлеу синтезінің бірнеше тәсілдері бар. 20 ғасырда бірінші компьютерлік сөйлеу синтезі жүйесі жасалды. Компьютерлік сөйлеу синтезінің алғашқы әдістерінің кейбірі артикуляциялық синтез, формант синтезі және конкатенативті синтез болып табылады. Машиналық оқыту дамыған сайын статистикалық параметрлік сөйлеу синтезі ұсынылды. 2010 жылдардан бастап нейрондық желіге негізделген сөйлеу синтезі біртіндеп танымал бола бастады және сөйлеу сапасын жақсартады. Бұл жұмыстың мақсаты статистикалық параметрлік және түпкілікті әдістерді қарастыру болып табылады, оларды TTS эволюциялық даму желісі ретінде қарастыруға болады. Сонымен қатар, біз Tacotron2 және ParalleWavegan негізіндегі әдіспен тәжірибе жасаймыз. Эксперимент үшін Ахмет Байтұрсынұлының шығармаларынан мәтіндік материалдар жинақталды. Жиналған материалдардан барлығы 50 сағат аудиожазба жазылды. Байтұрсынұлының шығармаларынан алты кітап таңдалып, олардың ішінен ең көп таралған шығармалар таңдалып, аудиомәтіндік материалдарға жинақталды. Бір кәсіби ер диктор жиналған мәтіндік деректерді оқыды.

Түйін сөздер: сөйлеу синтезі, формантты сөйлеу синтезі, конкатенативті сөйлеу синтезі, статистикалық параметрлік сөйлеу синтезі, интегралды сөйлеу синтезі.

Abstract

END-TO-END SPEECH SYNTHESIS FOR THE KAZAKH LANGUAGE

Kozhirbayev Zh.M.¹, Yessenbayev Zh.A.¹

National Laboratory Astana, Nur-Sultan, Kazakhstan

Speech synthesis, also called text-to-speech (TTS), is considered one of the important tasks of speech processing along with speech recognition. It is a way of converting given text to speech. There are several approaches to speech synthesis. In the 20th century, the first computer voice synthesis system was developed. Some of the early computer speech synthesis methods are articulatory synthesis, formant synthesis, and concatenative synthesis. Statistical parametric speech synthesis was later proposed as machine learning developed. Since the 2010s, neural network-based speech synthesis has gradually

become more popular and improves voice quality. The purpose of this work is to review statistical parametric and end-to-end methods, which can be considered as a line of evolutionary development of TTS. In addition, we will experiment with an end-to-end method based on Tacotron2 and ParalleWavegan. For the experiments, textual materials from the works of Akhmet Baitursynuly were collected. In total, 50 hours of audio recording were recorded from the collected materials. From Baitursynuly's works, six books were selected, from which the most common works were selected and collected in audio text materials. One professional male announcer voiced the collected text data.

Keywords: speech synthesis, formant speech synthesis, concatenative speech synthesis, statistical parametric speech synthesis, integral speech synthesis.

Введение

Синтез речи направлен на создание естественной и человеческой речи из входного текста. Он имеет широкий спектр приложений для взаимодействия человека с машиной, включая голосовую навигацию, широкоэмитательную передачу информации, интеллектуальных помощников и голосовых операторов в колл-центра, и принес значительные экономические выгоды. Кроме того, он используется в различных новых дисциплинах, включая аудиокниги, изучение новых языков и реабилитационное лечение. Приложения TTS стали неотъемлемой частью повседневной жизни людей. Разработка системы синтеза речи включает в себя несколько дисциплин, таких как лингвистика, акустика, цифровая обработка сигналов и машинное обучение.

Формантный, конкатенативный и статистический параметрический методы требуют большого профессионального опыта и значительного времени. Необходимость упростить системы синтеза речи и устранить потребность в ручном вмешательстве и лингвистическом опыте стимулирует интегральные (end-to-end) подходы. Интегральная модель может напрямую синтезировать сигнал из заданного текста после обучения достаточного набора данных. Самые современные интегральные модели TTS, основанные на глубоком обучении, продемонстрировали способность синтезировать речь, почти человеческую.

Методология

Формантный синтез речи. Синтез речи на основе формант, основанный на модели речи «источник-фильтр», вероятно, был наиболее часто используемым подходом к синтезу на первых этапах эволюции синтеза речи. Он генерирует речь, используя правила, которые регулируют простую модель исходного фильтра [1, 2]. Лингвисты часто создают эти правила, чтобы максимально точно соответствовать формантной структуре и другим спектральным характеристикам речи. Для генерации речи используется модуль аддитивного синтеза и акустическая модель с настраиваемыми характеристиками, такими как основная частота, тембр голоса и уровень шума. Формантный синтез может создавать очень понятную речь с небольшими вычислительными ресурсами, что делает его идеальным для встроенных устройств. Искусственная речь имеет сбой и звучит менее реалистично. Кроме того, определение правил синтеза является сложной задачей. Параметры формантного фильтра можно вычислить следующим образом:

$$y(n) = ax(n) - by(n - 1) - cy(n - 2), \quad (1)$$

$$a = 1 + b + c, \quad (2)$$

$$b = -2\exp(-\pi BT_s)\cos(2\pi FT_s), \quad (3)$$

$$c = \exp(-2\pi BT_s), \quad (4)$$

где B - пропускная способность,

F - резонансная частота фильтра,

T - частота дискретизации.

Несколько фильтров с $F_1, F_2, F_3 \dots$ развернуты в диапазоне формант. Вся система будет аналогична передаточной характеристике голосового тракта в виде резонансной частоты. Каскадная и параллельная – два основных типа архитектур. Выход каждого формантного резонатора в каскадном формантном синтезаторе речи (рис.1) подается на вход следующего за ним резонатора. Это устройство состоит из последовательно соединенных полосовых резонаторов. Для управляющей информации требуются только формантные частоты. Основным преимуществом каскадной архитектуры является

устранение потребности в индивидуальном контроле относительных амплитуд формант для гласных [3]. Было доказано, что каскадная структура более эффективна для не носовых звуков речи. К тому же его проще реализовать. Тем не менее, производство фрикативных звучания представляет собой трудность при каскадном подходе.

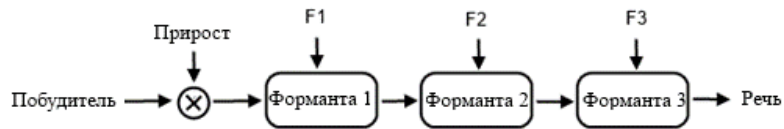


Рисунок 1. Каскадный формантный синтез речи

Резонаторы параллельного формантного синтезатора речи (рис. 2) соединены друг с другом. Дополнительные резонаторы иногда используются для носовых звучания. Все форманты получают сигнал возбуждения одновременно, а затем выходные сигналы объединяются. Параллельная конструкция позволяет отдельно регулировать полосу пропускания и усиление для каждой форманты. Следовательно, требуется больше управляющей информации. Хотя было обнаружено, что носовые, фрикативные и смычные согласные больше всего выигрывают от параллельной структуры, некоторые гласные не могут быть представлены с помощью синтезатора с параллельными формантами так же эффективно, как с каскадным.

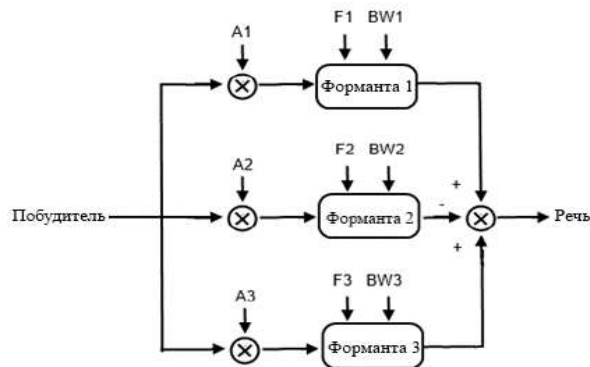


Рисунок 2. Параллельный формантный синтез речи

Конкатенативный синтез речи. Конкатенативный синтез речи, также известный как синтез речи с выбором единиц, [4, 5] основан на конкатенации речевых сегментов. Преимущество этого метода в том, что сгенерированная речь звучит естественно; пока система хорошо структурирована и для разработки доступны соответствующие речевые данные. Недостатком является то, что все используемые фрагменты речи должны быть предварительно записаны и сохранены в базе данных. Кроме того, на выбор мало голосов дикторов, и сложно внести изменения с точки зрения эмоций, таких как ударение, просодия и так далее. Коллекция базы данных обычно содержит фрагменты речи на разных уровнях от полных предложений до отдельных слогов, которые были записаны дикторами. Система последовательного синтеза речи ищет речевые единицы, которые соответствуют предоставленному входному тексту, а затем объединяет эти единицы для создания речевых выходных данных. Ядром конкатенационных систем синтеза речи являются компоненты подслов. В связи с тем, что в любом языке есть несколько фонем, их акустические свойства сильно зависят от контекста. Таким образом, используются дифоны и трифоны, поскольку они зависят от контекста. Ниже приведены основные этапы (рис. 3) последовательного синтеза речи [6]:

- построение целевой спецификации из входного текста: этот процесс состоит из синтезируемой фонемной строки, а также дополнительных просодических признаков,
- выбор единиц для каждого сегмента фонемы,
- постобработка для смягчения влияния возможных процессов конкатенации.

Основная цель последовательного синтеза речи состоит в том, чтобы выполнить выбор единиц таким образом, чтобы выходная речь точно соответствовала спецификации, но при этом звучала очень естественно. Основная цель последовательного синтеза речи состоит в том, чтобы выполнить выбор единиц таким образом, чтобы выходная речь точно соответствовала спецификации, но при этом звучала очень естественно.

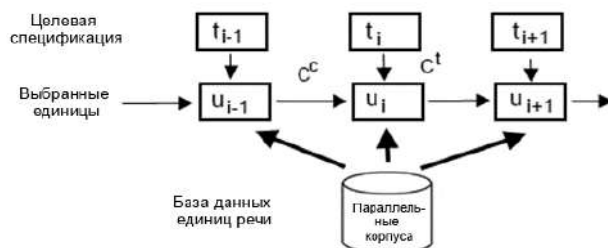


Рисунок 3. Конкатенативный синтез речи

Целевая стоимость $C^t(u_i, t_i)$, которая представляет несоответствие между спецификацией целевой единицы речи t_i и единицей-кандидатом базы данных u_i , и стоимость конкатенации $C^c(u_{i-1}, u_i)$, которая представляет несоответствие между единицей-кандидатом u_i и предшествующей единицей u_{i-1} , представляют собой две функции затрат, которые используются при минимизации затрат для достижения этой основной цели. Целевая стоимость может быть рассчитана следующим образом [6]:

$$C^t(t_i, u_i) = \sum_{j=1}^P w_j^t C_j^t(t_i, u_i) \quad (5)$$

где $\mathbf{w}^t = [w_1^t, w_2^t, \dots, w_P^t]$ – сумма весов внутренних целевых затрат. Стоимость конкатенации $C^c(u_{i-1}, u_i)$ может быть рассчитана следующим образом:

$$C^c(u_{i-1}, u_i) = \sum_{j=1}^Q w_j^c C_j^c(u_{i-1}, u_i) \quad (6)$$

где $\mathbf{w}^c = [w_1^c, w_2^c, \dots, w_P^c]$ – сумма весов внутренних затрат на конкатенацию.

Статистический параметрический синтез речи. Применяя статистические модели речи, а не завися от предварительно записанных единиц, подход статистического параметрического синтеза речи преодолевает основные недостатки предыдущих систем. Основная идея состоит в том, чтобы сгенерировать акустические параметры [7], необходимые для формирования речи, а затем применить различные методы [8] для восстановления речи из сгенерированных акустических параметров. В основном для построения этих статистических моделей из набора речевых данных используются методы машинного обучения. Таким образом, системы статистического параметрического синтеза речи похожи на системы автоматического распознавания речи: в то время как системы распознавания речи используют модели машинного обучения для преобразования речи в строку, а системы синтеза речи используют те же модели для преобразования строки в речь.

В стандартной статистической параметрической системе синтеза речи параметрические представления речи получаются из речевого корпуса. Эти представления включают спектральные характеристики и характеристики возбуждения. После этого модель будет построена с использованием набора генеративных моделей. Критерий максимального правдоподобия, используемый для расчета параметров модели, может быть рассчитан следующим образом [9]:

$$\hat{\lambda} = \arg \max_{\lambda} \{p(O | W, \lambda)\}, \quad (7)$$

где λ - набор параметров модели, O - набор обучающих данных, W - набор последовательностей слов, соответствующих O . Затем мы создаем параметры речи из набора оценочных моделей, чтобы максимизировать их выходные вероятности для сгенерированного входного текста:

$$\hat{o} = \arg \max_o \{p(o | w, \hat{\lambda})\}, \quad (8)$$

где λ - набор расчетных моделей, o - параметры речи, w - последовательности слов.

В конце, речевой сигнал создается из параметрических речевых представлений. Можно использовать любую генеративную модель, как НММ. Статистический параметрический подход состоит из трех компонентов: модуля анализа текста, акустической модели и вокодера (рис. 4). Традиционный метод использования этих методов основан на сочетании вокодера для синтеза

сигналов и архитектуры смешанной гауссовой модели со скрытой марковской моделью (HMM-GMM) для генерации признаков.



Рисунок 4. Статистический параметрический синтез речи

Цель генерации признаков состоит в том, чтобы перевести лингвистические признаки из данного текста в сопоставимое описание акустического сигнала. Стандартный подход к вероятностному отображению заключался в использовании HMM-GMM в качестве статистической параметрической модели. Подобно системе автоматического распознавания речи на основе HMM-GMM, состояния HMM соответствуют частям единиц подслов. Вероятности перехода между состояниями описывают, как речь развивается через каждую единицу подслова и от одной единицы к другой. Акустические характеристики, связанные с каждым состоянием, моделируются с помощью GMM, где GMM описывает распределение вероятностей по возможным векторам акустических признаков в этом состоянии (рис.5).

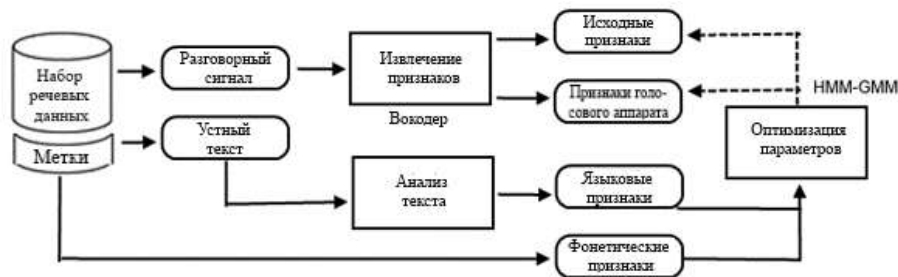


Рисунок 5. Обучение системы статистического параметрического синтеза речи

Обычный сигнал для надежной речи состоит из «непрерывных» значений амплитуды. Кроме того, на форму сигнала влияет ряд переменных, таких как усиление сигнала и амплитудные характеристики цепочки записи и передачи. Представление сигнала формы волны имеет значительную степень размерности, непредсказуемости и избыточности. В небольших окнах речевой сигнал можно рассматривать как квазистационарный. Набор спектральных свойств и свойств источника может использоваться для определения речевого содержимого сигнала в пределах этих коротких окон. Общая структура сигнала может быть представлена в значительно более низком размерном и менее изменчивом представлении, чем реальная форма волны, путем выделения признаков в скользящем окне с небольшими шагами окна. Следовательно, вокодер – это алгоритм, который может:

- преобразовать речевой сигнал в более сжатый набор функций,
- реконструировать речь по признакам,
- использовать функции для анализа и обработки речевых сигналов.

Развитие подходов к синтезу речи с течением времени значительно повысило естественность синтезированной речи. В последние годы область искусственного интеллекта приобрела новое направление исследований, называемое глубоким обучением. По сравнению с предыдущими подходами этот метод обладает более сильными возможностями моделирования и может эффективно получать скрытую информацию в данных [10, 11]. Основная цель глубокой нейронной сети (DNN) в статистическом параметрическом подходе состоит в том, чтобы смоделировать функцию отображения, которая переводит языковые характеристики в звуковые характеристики. Сложные отношения между языком и акустическими характеристиками могут быть эффективно распределены с использованием модели DNN. Тем не менее, у этой модели есть недостаток, заключающийся в игнорировании непрерывности речи. Рекуррентная нейронная сеть (RNN) предлагает эффективный способ моделирования корреляции между последующими речевыми рамками. В результате некоторые исследователи используют RNN, а не DNN, чтобы зафиксировать долгосрочную надежность речевых рамок [12-14].

Интегральный синтез речи. Типичный статистический параметрический синтез речи или синтез речи на основе глубокого обучения представляет собой сложный конвейер, состоящий из нескольких модулей, включая сеть преобразования текста в фонему, сеть сегментации звука, сеть прогнозирования длительности фонемы, сеть прогнозирования основной частоты и вокодер [15]. Создание этих модулей требует большого профессионального опыта и значительного времени. Кроме того, возможные ошибки в каждом модуле могут затруднить обучение модели. Необходимость упростить системы синтеза речи и устранить потребность в ручном вмешательстве и лингвистическом опыте стимулирует интегральные (end-to-end) подходы. Интегральная модель может напрямую синтезировать сигнал из заданного текста после обучения достаточного набора данных.

Самые современные интегральные модели TTS, основанные на глубоком обучении, продемонстрировали способность синтезировать речь, почти человеческую [16, 17]. Он в основном состоит из трех компонентов: анализа текста, акустической модели и вокодера. Первый компонент преобразует заданный текст в стандартную структуру. Промежуточные акустические характеристики, созданные вторым компонентом на выходе предыдущего этапа, затем используются для моделирования долговременной структуры речи. Затем третий компонент используется для создания образцов формы волны из акустических характеристик. Все эти компоненты обычно тренируются индивидуально, и в качестве альтернативы они могут быть отрегулированы совместно. Методы синтеза речи на основе глубокого обучения, включая WaveNet [18], Tacotron [17] и SampleRNN [19], имеют ряд недостатков. Обучение этих моделей требует много времени. Синтезированная речь обычно лишена эмоциональности и ритмичности. Кроме того, размер набора обучающих речевых данных оказывает значительное влияние на обучение таких моделей.

Результаты и их обсуждение

Разработана интеллектуальная система «Ахметтану», включающая в себя оцифрованные материалы, составленные из новой системы знаний со всеми структурными слоями на основе научного наследия Ахмета Байтурсынулы и его исследований. Собираются аудиотекстовые материалы произведений А. Байтурсынулы. Всего было собрано 50 часов данных. Всего из произведений Байтурсынулы было отобрано шесть книг, из которых были отобраны наиболее распространенные произведения и собраны в аудиотекстовые материалы. Один профессиональный диктор-мужчина озвучивал собранные текстовые данные. Диктору и оператору был дан набор инструкций, которым необходимо следовать, чтобы создать высококачественный набор данных. Записи были сохранены с использованием 16 bit/sample и дискретизированы на частоте 48 кГц. Модели E2E-TTS на основе архитектур Tacotron2 и ParalleWavegan были построены с использованием инструмента coqui-tts [20]. Рецепт LJ Speech, предоставляемый этим инструментом, был адаптирован для обучения модели с такими изменениями, как список символов. На рисунке 6 показаны графики, сгенерированные в процессе обучения.

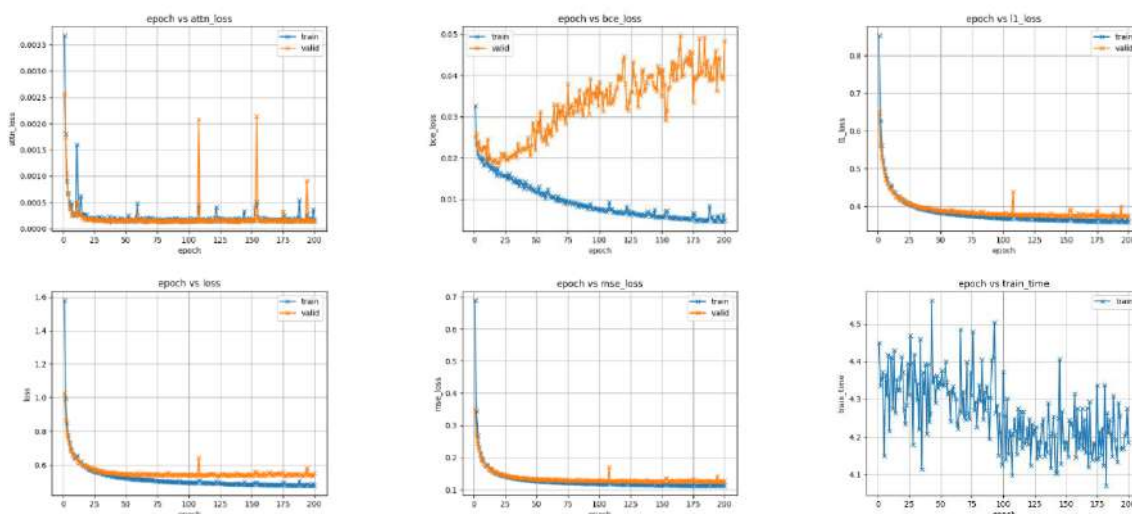


Рисунок 6. Графики, сгенерированные в процессе обучения

На рисунке 7 показано сравнение оригинальной речи и синтезированной речи.

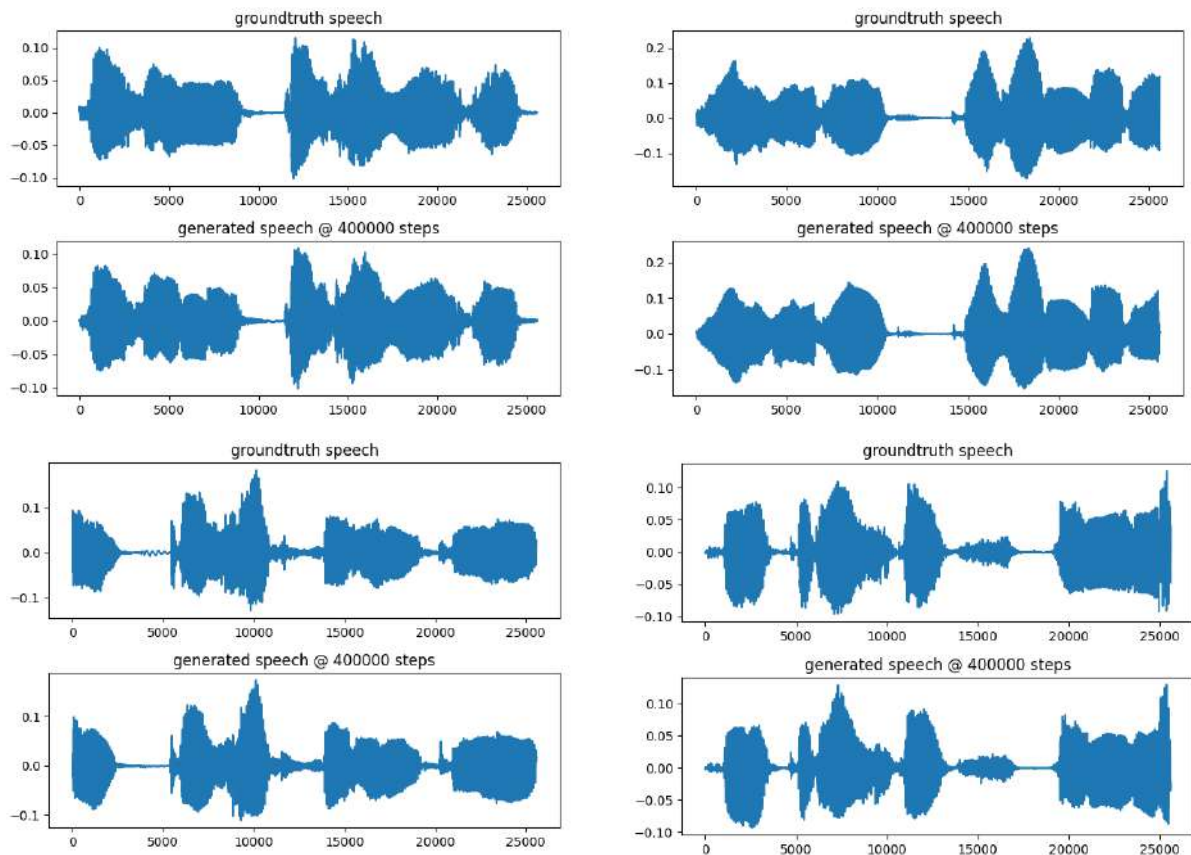


Рисунок 7. Сравнение оригинальной речи и синтезированной речи

Мы синтезируем четыре предложения для логического вывода, чтобы показать качество синтезированной речи. Мы выбираем четыре аудиозаписи случайным образом в качестве тестовых данных. Мы сравнили такие случайно выбранные аудиофайлы с эталонными аудиофайлами, чтобы получить достоверные сведения.

Заключение

В данной работе мы провели обучение моделям E2E-TTS на базе архитектур Tacotron2 и ParalleWavegan. Был проведен анализ типов синтеза речи с целью выбора наилучшего варианта. Одним из самых значительных поворотных моментов в истории синтеза речи, несомненно, стало появление нейронной сети. Существует огромное количество общедоступных наборов инструментов E2E-TTS, и соqui-tts был выбран из-за его простоты. Как показали результаты эксперимента, размер параллельного набора данных и гиперпараметров играет существенную роль в обучении модели и ее производительности. В частности, в будущем могут быть проведены эксперименты по добавлению дополнительных наборов данных.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования проектов Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (гранты № BR11765535, № AP13068635 и № AP08053085).

References:

- 1 Allen, Jonathan, Sharon Hunnicutt, Rolf Carlson, and Bjorn Granstrom. "MITalk-79: The 1979 MIT text-to-speech system." *The Journal of the Acoustical Society of America* 65, no. S1 (1979): 57–63.
- 2 Klatt, Dennis H. "Software for a cascade/parallel formant synthesizer." *the Journal of the Acoustical Society of America* 67, no. 3 (1980): 971-995.

- 3 Allen, Jonathan, M. Sharon Hunnicutt, Dennis H. Klatt, Robert C. Armstrong, and David B. Pisoni. *From text to speech: The MITalk system*. Cambridge University Press, 1987: 397
- 4 Olive, Joseph. "Rule synthesis of speech from dyadic units." In *ICASSP'77. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 2, pp. 568-570. IEEE, 1977.
- 5 Hunt, Andrew J., and Alan W. Black. "Unit selection in a concatenative speech synthesis system using a large speech database." In *1996 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Conference Proceedings*, vol. 1, pp. 373-376. IEEE, 1996.
- 6 Schwarz, Diemo. "Concatenative sound synthesis: The early years." *Journal of New Music Research* 35, no. 1 (2006): 3-22.
- 7 Kawahara, Hideki, Ikuyo Masuda-Katsuse, and Alain De Cheveigne. "Restructuring speech representations using a pitch-adaptive time-frequency smoothing and an instantaneous-frequency-based F0 extraction: Possible role of a repetitive structure in sounds." *Speech communication* 27, no. 3-4 (1999): 187-207.
- 8 Kawahara, Hideki. "STRAIGHT, exploitation of the other aspect of VOCODER: Perceptually isomorphic decomposition of speech sounds." *Acoustical science and technology* 27, no. 6 (2006): 349-353.
- 9 Zen, Heiga, Keiichi Tokuda, and Alan W. Black. "Statistical parametric speech synthesis." *speech communication* 51, no. 11 (2009): 1039-1064.
- 10 Fernandez, Raul, Asaf Rendel, Bhuvana Ramabhadran, and Ron Hoory. "F0 contour prediction with a deep belief network-Gaussian process hybrid model." In *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 6885-6889. IEEE, 2013.
- 11 Lu, Heng, Simon King, and Oliver Watts. "Combining a vector space representation of linguistic context with a deep neural network for text-to-speech synthesis." In *Eighth ISCA workshop on speech synthesis*. 2013.
- 12 Liu, Zhijun, Kuan Chen, and Kai Yu. "Neural Homomorphic Vocoder." In *INTERSPEECH*, pp. 240-244. 2020.
- 13 Zen, Heiga, and Haşim Sak. "Unidirectional long short-term memory recurrent neural network with recurrent output layer for low-latency speech synthesis." In *2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 4470-4474. IEEE, 2015.
- 14 Zen, H., H. Sak, A. Graves, and A. Senior. "Statistical parametric speech synthesis based on recurrent neural networks." In *Poster presentation given at UKSpeech Conference*. 2014.
- 15 Gibiansky, Andrew, Sercan Arik, Gregory Diamos, John Miller, Kainan Peng, Wei Ping, Jonathan Raiman, and Yanqi Zhou. "Deep voice 2: Multi-speaker neural text-to-speech." *Advances in neural information processing systems* 30 (2017).
- 16 Shen, Jonathan, Ruoming Pang, Ron J. Weiss, Mike Schuster, Navdeep Jaitly, Zongheng Yang, Zhifeng Chen et al. "Natural tts synthesis by conditioning wavenet on mel spectrogram predictions." In *2018 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP)*, pp. 4779-4783. IEEE, 2018.
- 17 Wang, Yuxuan, R. J. Skerry-Ryan, Daisy Stanton, Yonghui Wu, Ron J. Weiss, Navdeep Jaitly, Zongheng Yang et al. "Tacotron: Towards End-to-End Speech Synthesis." *Proc. Interspeech 2017* (2017): 4006-4010.
- 18 Oord, Aaron van den, Sander Dieleman, Heiga Zen, Karen Simonyan, Oriol Vinyals, Alex Graves, Nal Kalchbrenner, Andrew Senior, and Koray Kavukcuoglu. "Wavenet: A generative model for raw audio." In *9th ISCA Speech Synthesis Workshop*, pp. 125-145. 2016.
- 19 Mehri, Soroush, Kundan Kumar, Ishaan Gulrajani, Rithesh Kumar, Shubham Jain, Jose Sotelo, Aaron Courville, and Yoshua Bengio. "SampleRNN: An unconditional end-to-end neural audio generation model." In *Proceedings of ICLR*, pp. 4006-4010. 2017.
- 20 Casanova, Edresson, Julian Weber, Christopher D. Shulby, Arnaldo Candido Junior, Eren Gölge, and Moacir A. Ponti. "Yourtts: Towards zero-shot multi-speaker tts and zero-shot voice conversion for everyone." In *International Conference on Machine Learning*, pp. 2709-2720. PMLR, 2022.

Б.С. Омаров¹, И.Е. Базаркулова^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: inkarbaza@gmail.com

ТЕРЕҢ ОҚЫТУ КӨМЕГІМЕН ПНЕВМОНИЯНЫ АНЫҚТАУ МОДЕЛІН ҚҰРУ

Аңдатпа

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының бағалауы бойынша жыл сайын төрт миллионнан астам өлім пневмония мен ауаның ластануымен байланысты басқа аурулардың салдарынан болады және соңғы Covid-19 вирусы пневмония ауруының таралу пайызын күрт өсірді. Сондай-ақ, дамушы елдерде де, дамыған елдерде де радиологтардың жетіспеушілігі байқалады. Қазіргі уақытта жасанды интеллект және машиналық оқыту технологияларын дамыту, сондай-ақ медициналық кескіндердің үлкен көлемін жинақтау медициналық кескіндерді автоматты талдау жүйелерін құруға мүмкіндік береді. Мақалада терең оқыту әдістеріне (конволюциялық нейрондық желілер) негізделген, пневмонияны анықтауға көмектесетін қарапайым модель ұсынылған. Модель үшін Гуанчжоудағы әйелдер мен балалар медициналық орталығының рентгендік суреттері пайдаланылды. Нейрондық желіні оқыту 26 мин уақытты қажет етті. Тесттік деректерде алынған нәтижелер: recall – 96%, precision – 92%, accuracy – 92%, f1 – 94%. Бұл көптеген танымал жұмыстардағы көрсеткіштерден кем емес. Модель рентгенологтарға жүктемені едәуір азайтады, шешім қабылдауға және уақыт үнемдеуге көмектеседі, олардың жұмысының сапасын бағалауға және медициналық қателіктердің ықтималдығын азайтуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: нейрондық желі, терең оқыту, пневмония, медицина, рентгендік суреттер, машиналық оқыту.

Аннотация

Б.С. Омаров¹, И.Е. Базаркулова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПНЕВМОНИИ С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения, более четырех миллионов смертей ежегодно происходят из-за пневмонии и других заболеваний, связанных с загрязнением воздуха, и последний вирус Covid-19 резко увеличил процент распространения пневмонии. Также отмечается нехватка радиологов как в развивающихся, так и в развитых странах. В настоящее время развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, а также накопление большого объема медицинских изображений позволяют создавать системы автоматического анализа медицинских изображений. В статье представлена простая модель, основанная на методах глубокого обучения (сверточные нейронные сети), помогающая выявить пневмонию. Для модели были использованы рентгеновские снимки женского и детского медицинского центра в Гуанчжоу. Обучение нейронной сети заняло 26 минут. Результаты, полученные в тестовых данных: recall – 96%, precision – 92%, accuracy – 92%, f1 – 94%. Модель значительно снижает нагрузку на рентгенологов, помогает принимать решения и экономить время, позволяет оценить качество их работы и снизить вероятность врачебных ошибок.

Ключевые слова: нейронная сеть, глубокое обучение, пневмония, медицина, рентгеновские снимки.

Abstract

BUILDING A MODEL FOR DETECTING PNEUMONIA USING DEEP LEARNING

Omarov B.S.¹, Bazarkulova I.E.¹

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The World Health Organization estimates that more than four million deaths occur annually due to pneumonia and other diseases associated with air pollution, and the latest Covid-19 virus has dramatically increased the percentage of pneumonia cases. There's also a global shortage of radiologists. Currently, the development of artificial intelligence and machine learning technologies, as well as the accumulation of large volumes of medical images, make it possible to create automated systems for analyzing medical images. The article presents a simple model based on deep learning methods (convolutional neural networks) that helps detect pneumonia. X-ray images of the women's and children's Medical Center in Guangzhou were used for the model. Training the neural network took 26 minutes. The results obtained in the test data are: recall – 96%, precision – 92%, accuracy – 92%, f1 – 94%. This is no less than the results in many popular works.

The model significantly reduces the burden on radiologists, helps them make decisions and save time, allows to evaluate the quality of their work and reduce the likelihood of medical errors.

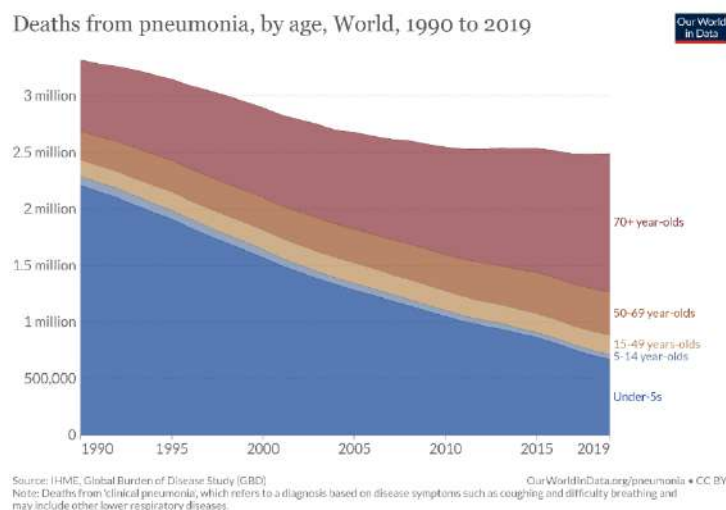
Keywords: neural network, deep learning, pneumonia, medicine, X-ray images.

Кіріспе

Пневмония – төменгі тыныс жолдарының өткір инфекциялы ауруы, өкпенің қабынуы. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (WHO) бағалауы бойынша жыл сайын төрт миллионнан астам өлім пневмония мен ауаның ластануымен байланысты басқа аурулардың салдарынан болады. Ошибка! Источник ссылки не найден.. Дәл диагноз қою үшін немесе ерте кезеңдерде аурулардың барын тексеру үшін науқасқа рентген суреті, компьютерлік томография, т.б. сәулелік және функционалдық сынақтар тағайындалады.

Жылына бір рентгенологқа мыңдаған рентгендік суреттен келеді. Халық аз қоныстанған жерлерде (дамушы елдерде де, дамыған елдерде де) радиолог мамандардың тапшылығы байқалады. 2015 жылы Руандада 12 миллион адамға бар болғаны 11 радиолог қызмет көрсетті, ал төрт миллион халқы бар Либерия елінде тек екі радиолог болды. Ошибка! Источник ссылки не найден.. Сонымен қатар, пневмония - бұл жоғары қауіпті ауру, әсіресе дамушы елдерде миллиондаған адамдар кедейленіп, медициналық мекемелерге қол жеткізе алмайды. Ірі қалалардағы ауруханаларда дәрігерлерге үлкен жүктеме түседі, соның салдарынан кездейсоқ қателіктер талдау сапасын төмендетуі мүмкін. Тіпті өте кәсіби және тәжірибелі дәрігерлер үшін де, рентгендік суреттер арқылы пневмонияны диагностикалау әлі де үлкен міндет болып табылады, өйткені рентгендік кескіндер әртүрлі аурулар, мысалы, өкпе обыры үшін ұқсас аймақ ақпаратына ие. Сондықтан пневмонияны дәстүрлі әдістер арқылы диагностикалау өте көп уақытты және энергияны қажет етеді және стандартталған процесс арқылы пациенттің пневмониямен ауыратынын анықтау мүмкін емес.

Пневмония қарт адамдарға, стационардағы вентиляторға жатқызылған науқастарға және астмамен ауыратын науқастардың өміріне үлкен қауіп төндіреді. Пневмониямен ауырғандардың көп бөлігін (45%) бес жасқа дейінгі балалар құрайды. Пневмониядан жылына бес жасқа дейінгі 800 000-нан астам баланы өлтіреді, күн сайын 2200-ге жуық бала қайтыс болады. 100 000 балаға шаққанда пневмониямен ауыратын 1400-ден астам бала бар. Жалпы әлем бойынша өлім санын көрсетілген статистика [3] (1-суретте берілген).



Сурет 1. 1990-2019 жылдар аралығында әлем бойынша пневмония салдарынан өлім саны динамикасы және жас топтары бойынша қатынасы [3].

Сондай-ақ негізгі белгісі өкпе пневмониясы болып табылатын COVID-19 ауруының кенеттен өршуі және бақылаусыз таралуы бүгінгі күннің ең маңызды жаһандық проблемаларының бірі болған еді. COVID-19 – бұл коронавирус тобындағы SARS-CoV-2 вирусы тудыратын өте жұқпалы сипаттағы тез таралатын ауру. 2020 жылдың қаңтар айының соңында Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы (WHO) жаһандық денсаулық сақтау саласындағы төтенше жағдайды және бір жарым айдан кейін пандемия деп жариялады. 2020 жылдың 25 қыркүйегіне дейін 32 110 656 расталған жағдай және 980 031 өлім құжатталды. Қоғамдық денсаулық сақтау тұрғысынан, тиісті дәрі-дәрмектердің болмауына

байланысты COVID-19-ны ерте анықтау және пациенттерді оқшаулау өте маңызды болды. Қол жетімді ресурстар шектеулі болғандықтан, ауруханалар пациенттердің экспоненциалды түрде өсуі байқалған болатын. Жұмыста ұсынылған 22 қабатты конволюциялық нейронды желілерге негізделген модель кіріске кеуде қуысының рентгендік суретін алып, аз уақытта өкпеде пневмония бар-жоғын анықтап береді. Тестілік деректерде жіктеу дәлдігі – 92,3%, recall – 96% болды. Бұл берілген зерттеу облысында ұсынған басқа авторлардың дәстүрлі машиналық оқыту әдістерімен алған нәтижелерінен анағұрлым жоғары. Болашақта осы модель арқылы пневмонияны медициналық кескіндерден автоматты түрде анықтау радиологтарға шешім қабылдауға және уақыт үнемдеуге көмектесетін болады, қызмет көрсету сапасын анағұрлым арттырады. Сондай-ақ диагностикалық бейнелеу мамандарына қол жетімділігі төмен халыққа медициналық көмек көрсету үшін баға жетпес маңызға ие.

1 Материал және Әдістер

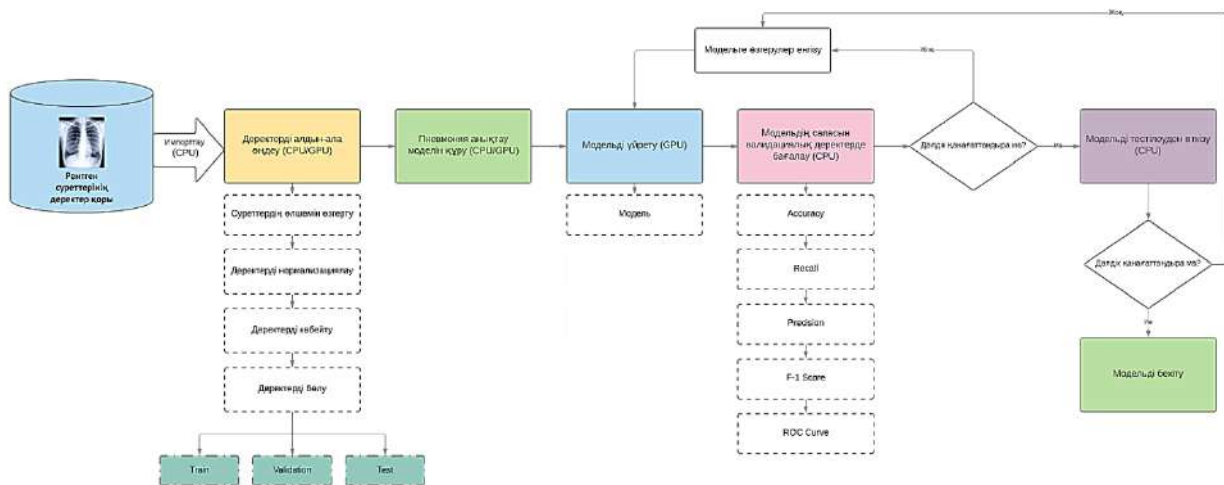
Жасанды интеллект және машиналық оқыту технологияларын дамыту, сондай-ақ медициналық кескіндердің үлкен көлемін жинақтау медицина саласында автоматты талдау жүйелерін құруға мүмкіндік береді. CNN (конволюциялық нейрондық желілерге) негізделген терең оқыту алгоритмдері медициналық кескіндерді жіктеу үшін стандартты таңдау болып табылады, дегенмен заманауи әдістер сынақ және қателік жүйесіндей бекітілген желілік архитектураны құрайды. U-Net, SegNet және CardiacNet кескінді медициналық тексеруге арналған көрнекті архитектуралардың бірі болып табылады. Соңғы жылдары кеуде қуысының рентгендік суреттерін пайдалана отырып, пневмонияны анықтаудың қысқаша процесін сипаттайтын бірнеше әдістер, әсіресе терең оқыту әдістері енгізілді. Deep Learning әсіресе медициналық бейнелеу [4], кескінді сегментациялау [5, 6] және кескінді қайта құру [7, 8] саласында компьютерлік диагностика технологиясының (CAD) өнімділігін жақсарту үшін сәтті қолданылды. 2017 жылы Раджпуркар және т.б. [9] пневмония диагностикасын жеделдету үшін 121 қабатты CNN моделі болған DenseNet-121 [10] деп аталатын классикалық терең оқыту желісін ұсынды. Тәжірибелі дәрігерлерден айырмашылығы, жоғарырақ F1 ұпайын алды.

Оқыту кезінде оңтайлы желі гиперпараметрлерін табу үшін эволюциялық негізделген алгоритмдер және күшейтілген оқыту (RL) сияқты модельдер енгізілген. Дегенмен, бұл әдістер есептеу тұрғысынан қымбат және көп қуат жұмсайды. Балама ретінде бұл зерттеу пневмонияны анықтау мәселесін шешу үшін концептуалды қарапайым, бірақ тиімді желілік модельді ұсынады.

Модель құру процессінің негізгі қадамдары:

1. Деректерді импорттау;
2. Деректерді алдын-ала өңдеу (data preprocessing);
3. Модель архитектурасын құру;
4. Модельді жаттығу деректерінде оқыту;
5. Сапасын валидациялық деректерді бағалау;
6. Модельді тестілеуден өткізу.

Модель құру процесі 2-суреттегі диаграммада көрсетілген. Алдымен jpeg форматтағы жалпы өлшемі 1.16 ГБ рентгендік суреттер локальді компьютерге жүктеліп алынды.



Сурет 2. Модель құру процессінің диаграммасы

Берілген деректер жоғары деңгейде теңгерімсіз болғандықтан алдын ала өңдеуден өтті. Бұл қадам суреттердің өлшемін бірыңғай 150x150 өлшеміне келтіру, пиксель мәндерін нормализациялау (яғни 0-1 аралығына келтіру), деректерді бұру, жақындату алыстату арқылы көбейту, соңында train, test, validation жиындарына бөлуді қамтыды. Keras Sequential API көмегімен convolution, batch normalization, flatten, dropout, max pooling қабаттарынан құрылған тізбекті желі құрылды. Кейіннен алдын-ала өңделген деректер желі арқылы өткізіліп, валидациялық деректерде сапалық көрсеткіштері есептелді. Қойған мақсатымыз 90% дәлдіктен аспайынша модельге бірқатар өзгертулер енгізілді, соңғы нұсқасы төмендегі 1.2.2 бөлімінде ашып көрсетілген желі болды. Соңында ең жақсы нәтиже беретін желі салмақтары .h5 форматындағы файлға жазылып сақталды.

Сондай-ақ, 2-суретте әрбір негізгі кезеңдердің астында орталық не графикалық процессорда орындалуы және құрамдас процестер жайлы ақпарат берілген. Нейрондық желілер параллельдеуге қолайлы болғандықтан графикалық процессордағы есептеулер уақытты тиімді пайдалануға көп көмектеседі.

1.1 Қолданылған деректер

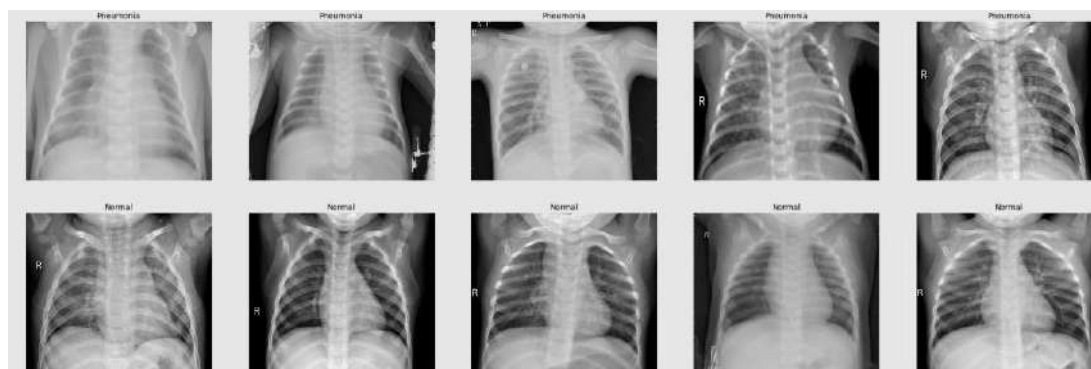
Модель үшін Гуанчжоудағы әйелдер мен балалар медициналық орталығының jpeg форматтағы 5863 рентгендік суреттен тұратын Kaggle сайысының деректер жинағы Ошибка! Источник ссылки не найден. пайдаланылды. Кеуде қуысының барлық рентгендік суреттері (алдыңғы-артқы) бір жастан бес жасқа дейінгі науқастардан алынды. Деректер жинағы 3 қалтаға (train, test, val) ұйымдастырылған және әрбір екі санатқа жіктелген (қалыпты/пневмония). Кеуде қуысының барлық рентгенографиясы пациенттердің күнделікті клиникалық күтімінің бөлігі ретінде орындалды. Кеуде қуысының рентгендік суреттерін талдау үшін барлық кеуде рентгенограммалары бастапқыда барлық төмен сапалы немесе оқылмайтын сканерлеулерді жою арқылы сапаны бақылау үшін скринингтен өтілген. Кескіндерге арналған диагноздарды үш сарапшы дәрігер бағалады.

Деректер теңгерімсіз болып келеді, себебі сау және пневмония жағдайындағы мысалдар қатынасы үлкен. Ол 3-суреттегі гистограммаларда көрсетілген.



Сурет 3. Әртүрлі деректер жинағындағы класс үлестірімдері.

Деректер жинағынан алынған таңдамалар мен белгілер 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. Класс үлгілерінен рандомды таңдамалар

1.2 Әдістер

1.2.1 Деректерді алдын-ала өңдеу

Кескінді тану мәселесі үшін оқу үлгісін қалыптастыру және реттеу процесі келесі қадамдарды қамтуы мүмкін: үлгіні құру әдісі, кескінді қажетті өлшемге дейін қысу, нормализациялау, фильтрлерді қолдану және т.б. Барлық қадамдарды орындау міндетті емес, керісінше, кейбір қадамдар мүлдем пайдаланылмауы мүмкін, ал басқалары бірнеше рет қайталануы мүмкін.

Масштабтау - кескіннің тік және көлденең өлшемін өзгерту. Масштабтаудың екі түрі бар:

- Пропорционалды - бұл жағдайда суреттің биіктігі мен ені арасындағы қатынас өзгермейді, бірақ жалпы өлшем өзгереді.

- Пропорционалды емес - бұл жағдайда екі өлшем де әртүрлі өзгереді.

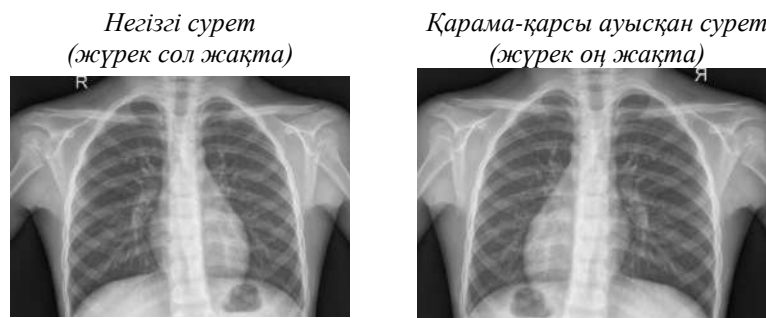
Бұл жұмыста масштабтау кескіннің тік және көлденең өлшемін 150x150 пиксельге өзгертуден тұрды.

Деректерді аугментациялау. Оқытуға арналған деректер аз болғанда, шамадан тыс оқыту орын алады. Дерек жетіспеушілікті шешудің бір жолы – берілген өлшемге және өзгергіштікке дейін деректерді көбейту. Көбейту бастапқы деректерге түрлі трансформацияларды қолданумен тікелей байланысты. Бұл әдіс модель ендіден бастап көрмейтін уникалды кіріс экземплярлардың санын арттыруға көмектеседі. Бұл өз кезегінде тексерілетін деректерде жоғары дәлдікті алуға септігін тигізеді. Tensorflow.keras көмегімен берілген өзгертулер мен жана суреттерді генерациялауды ImageDataGenerator класы арқылы жүзеге асыра аламыз. Бұл үшін кескіндерге қолданғымыз келетін трансформацияларды параметр ретінде беру жеткілікті. Кескіндерді аугментациялау параметрлері 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Деректерді алдын-ала өңдеу параметрлері

Параметр	Мәні
<i>Resize</i>	150x150
<i>Normalization</i>	(0, 255) → (0, 1)
<i>Rotation Range</i>	0, 30
<i>Zoom Range</i>	0.2
<i>Width_Shift_Range</i>	0.1
<i>Height_Shift_Range</i>	0.1
<i>Horizontal_Flip</i>	False
<i>Vertical_Flip</i>	False

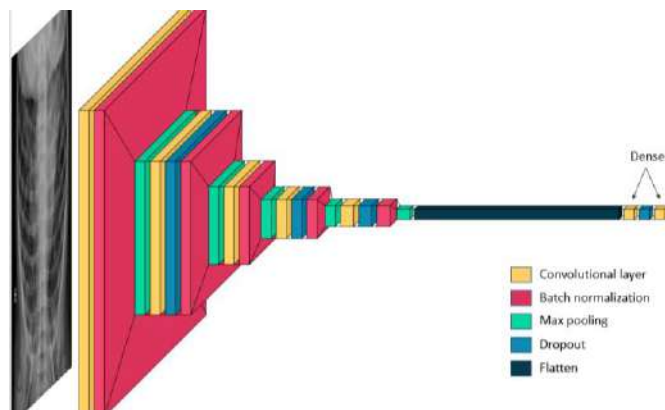
Мұнда горизонталь және вертикаль ауыстыруларға жалған мәнін (1-кестедегі соңғы екі жол) қоюдың себебі бар. Деректерді аугментация шынайы өмірге жақын болуы керек және зерттеліп отырған объектінің табиғатын өзгертпеуі қажет. Егерде кескіндерді толығымен қарама қарсыға ауыстырсақ ол рентгендік кескіндегі басқа органдардың орнының ауысуына алып келеді (5-сурет). Атап айтқанда, жүректің. Басқа ауруларды қоса зерттегенде бұл қате нәтиже беретін еді, себебі жүректің оң жақта орналасуы ауру болып табылады. Бұл әсіресе әртүрлі ауруды классификациялау мәселесінде қателіктер тудыруы мүмкін.



Сурет 5. Рентгендік суретті қарама-қарсы ауыстыру нәтижесі

1.2.2 Ұсынылған желі

Бұл жұмыста ұсынылған нейрондық желі моделінің архитектурасы 6-суретте келтірілген.



Сурет 6. Нейрондық желі архитектурасы

Жалпы параметрлер саны: 1 246 401

Жаттықтырылатын параметрлер саны: 1 245 313

Жаттықтырылмайтын параметрлер саны: 1 088

Keras Sequential API қолданылды. Біріншісі - *конволюциондық (Conv2D) қабат*. Бұл үйренуге болатын сүзгілер жиынтығы десе де болады. Бірінші conv2D қабаты үшін 32 фильтрді, келесі ек қабат үшін 64, және соңғы екі қабат үшін 128, 256 фильтрі орнатылды. Әрбір фильтр ядро фильтрі арқылы кескіннің (ядро өлшемімен анықталған) бір бөлігін түрлендіреді.

CNN осы түрлендірілген кескіндерден барлық кезде пайдалы қасиеттерді бөліп алады. CNN-дегі екінші маңызды деңгей - *біріктіру (MaxPool2D) қабаты*. Бұл қабат жай ғана кішірейту фильтрі ретінде әрекет етеді. Ол көрші 2 пиксельге қарап, максималды мәнді таңдайды. Олар есептеу шығындарын азайту үшін қолданылады және белгілі бір дәрежеде артық орнатуды азайтады. Конволюциялық және біріктіру қабатын біріктіре отырып, CNN жергілікті қасиеттерді біріктіріп, кескіннің көбірек глобальді қасиеттерін біле алады.

Dropout - әр жаттығу үлгісі үшін қабаттағы түйіндердің үлесі кездейсоқ еленбейтін (салмақтарын нөлге теңестіру арқылы) реттелетін әдіс. Бұл желі үлесін кездейсоқ түрде төмендетеді және желіні мүмкіндіктерді үлестірілген түрде үйренуге мәжбүр етеді. Бұл әдіс сонымен қатар жалпылауды жақсартады және шамадан тыс оқытуды азайтады. '*relu*' түзеткіш желіге сызықтық еместікті қосу үшін пайдаланылады.

Flatten қабаты соңғы қасиеттер карталарын бір 1D векторына түрлендіру үшін қолданылады. Бұл тегістеу қадамы кейбір конволюциялық/макспул қабатынан кейін толық қосылған қабатын пайдалану үшін қажет. Ол алдыңғы конволюциондық қабатының барлық табылған жергілікті ерекшеліктерін біріктіреді. Соңында *екі толық қосылған (Dense) қабатындағы* функциялар қолданылды, бұл жасанды нейрондық желілер (ANN) классификаторы. Активациясы - "*sigmoid*".

Ұсынылған модельде глобальді минимумға аз да болса жақындау үшін платоға кезіккен кезде оқыту жылдамдығын азайту үшін `keras.callbacks.ReduceLROnPlateau` әдісі қолданылды. Параметрлері 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2. *ReduceLROnPlateau* әдісі параметрлері

Параметр	Мағынасы	Мәні
<i>monitor</i>	бақыланатын көрсеткіш	'val_accuracy'
<i>patience</i>	жақсармаған дәуірлер саны, одан кейін оқу қарқыны төмендейді	2
<i>factor</i>	оқу қарқынын төмендететін фактор. $new_lr = lr * \text{фактор}$.	0.3
<i>min_lr</i>	оқу жылдамдығының төменгі шегі	0.000001

1.2.3 Классификацияны бағалау метрикалары

Ұсынылған модельді екі пневмония деректер жинағында бағалау үшін төрт стандартты бағалау метрикасы пайдаланылды: Accuracy (дәлдік), Precision, Recall және F1 [12]. Бұл бағалау көрсеткіштерін анықтау үшін алдымен «шын оң», «жалған оң», «шын теріс» және «жалған теріс» терминдерін анықтайық. Бинарлы классификация тапсырмасы үшін деректер жиынындағы екі класс «оң» және «теріс» класс деп аталады делік. Жоғарыда аталған терминдерді келесідей анықтауға болады.

- True Positive (TP) үлгі бойынша дұрыс жіктелген оң класқа жататын үлгіні білдіреді.
 - False Positive (FP) теріс класқа жататын, оң класқа жататын ретінде қате жіктелген үлгіні білдіреді.
 - True Negative (TN) үлгі бойынша дұрыс жіктелген теріс класқа жататын үлгіні білдіреді.
 - False Negative (FN) теріс класқа жататын ретінде қате жіктелген оң класқа жататын үлгіні білдіреді.
- Енді төрт бағалау көрсеткішін келесідей анықтауға болады:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall (Sensitivity) = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 = \frac{2}{\frac{1}{Precision} + \frac{1}{Recall}}$$

Дәлдік көрсеткіші (accuracy) модельдің дұрыс болжау санының жалпы өлшемін береді. Дегенмен, модельдің жоғары дәлдік жылдамдығы деректер жинағы теңгерімсіз болса, оның әртүрлі класстарды бірдей ажырату мүмкіндігін қамтамасыз етпейді. Атап айтқанда, медициналық кескін классификациясында барлық сыныптарға жалпылануға болатын модель қажет. Мұндай жағдайларда Precision және Recall мәндері модельдің өнімділігі туралы түсінік береді. Precision модельдің оң класс болжамының дәлдігін көрсетеді. Бұл дұрыс болжамдардың модель берген жалпы болжамдарға қатынасын қамтамасыз етеді. Керісінше, Recall модель дұрыс болжаған ақиқат теріс класс болжамының дәлдігін өлшейді. Бұл екі бағалау көрсеткіші үлгінің FP және FN болжамдарының санын азайта алатынын бағалайды. F1 FP және FN екеуін де ескере отырып, Precision және Recall арасындағы теңгерімді қамтамасыз етеді.

Аталған бағалауларды біріктіріп, жалпы көріністі беретін маңызды көрсеткіш – *confusion matrix* (қателер матрицасы). Бинарлы классификация жағдайында ол келесі түрде болады:

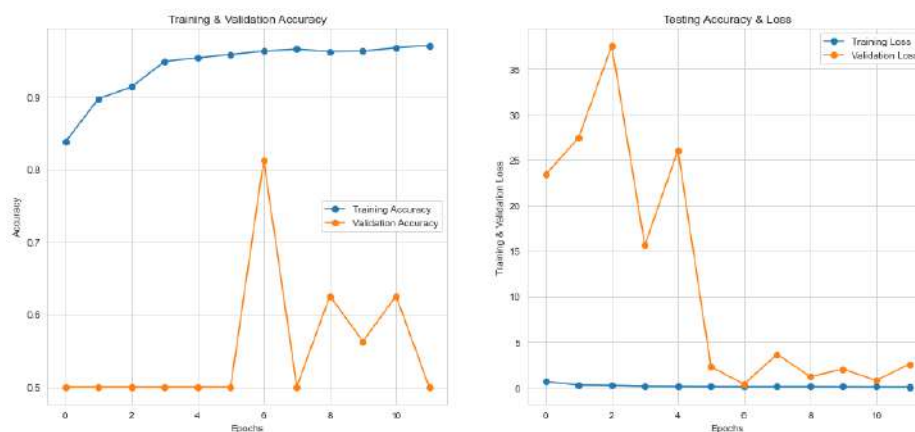
Ақиқат мәндер	Қалыпты	TN	FP
	Пневмония	FN	TP
		Қалыпты	Пневмония

Болжанған мәндер

Сурет 7. Confusion matrix

2 Оқыту процесі мен нәтижелер

Оқыту процесі 12 дәуірге созылды және 26 минут уақыт алды. Процесс барысындағы оқыту деректері мен валидациялық деректердегі accuracy (дәлдік) мен loss келесідей өзгерісте болды.



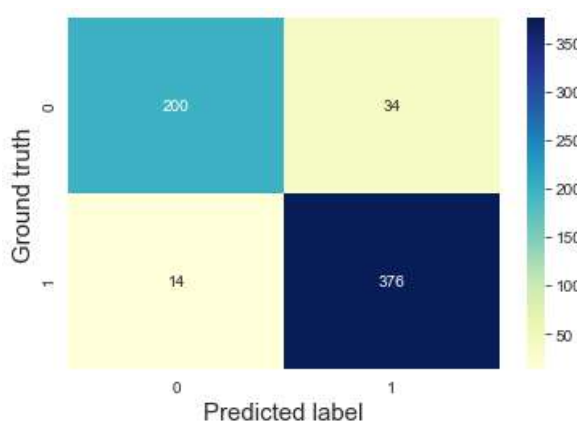
Сурет 8. Оқыту процесі

Тесттік деректердегі модельдің сапа көрсеткіштері 3-кестеде көрсетілген. Тесттік деректерде модель 92.3% дәлдік көрсетті. Пневмония анықтауда $precision = 91,7\%$, $recall = 96,4\%$, $F1 = 94\%$ мәндері айтарлықтай жақсы көрсеткіштер болып тұр. Мұндағы ең маңызды көрсеткіш recall, себебі пневмонияны анықтау бізге сау өкпе пневмония бар деген жалған нәтиже беруден қымбатырақ.

Кесте 3. Модель нәтижесінің есебі

	Қалыпты	Пневмония	Accuracy	Macro avg	Weighted avg
Precision	0.935	0.917	0.923	0.925	0.924
Recall	0.855	0.964	0.923	0.909	0.923
F1-score	0.893	0.94	0.923	0.916	0.922
Support	234	390	0.923	624	624

9-суретте confusion matrix көрсетілген. 624 рентгендік суреттен 234 сау өкпенің 200-ін модель дұрыс анықтады, 34-інде пневмония бар деп дұрыс анықталмады. 390 пневмония мысалдарының 376-ы дұрыс анықталып, 14-і сау өкпе деген жалған белгіге ие болды, яғни TP=376, FP=34, TN=200, FN=14 деген мәндерге тең.



Сурет 9. Confusion matrix

Модель анықтаған дұрыс, дұрыс емес мысалдар 10-суретте берілген. а және ә суреттері дұрыс анықталған, ал б – модель қате анықтаған рентгенограмма. Бұл мысалда көрініп тұрған пневмонияны сау өкпеден ажыраттаын ақ инфильтранттар модельді шатастырып тұр. Мұндай жағдайлар тіпті тәжірибесі мол радиологқа диагноз қоюды қиындатуы мүмкін, сондай-ақ пневмонияны анықтау үшін кеуде қуысының рентгендік зерттеулері субъективті өзгергіштікке бейім келеді [13].



Сурет 10. Модельдің классификация нәтижелері

Қорытынды

Бұл уақытқа дейін зерттеу аймағында айтарлықтай ауқымды жұмыстар ұсынылған болатын. Өзге авторлар алған дәлдік көрсеткіштерінің біздің желінің дәлдігімен салыстырмалы талдауы 4-кестеде көрсетілген. Байқап отырғанымыздай, дәстүрлі машиналық оқыту алгоритмдері SVM, KNN, k-орташа кластеризациясы, т.б. салыстырғанда нейрондық желілерге негізделген алгоритмдерінің көрсеткіштері жоғары болып тұр. Осы жұмыста көрсетілген желінің артықшылығы:

- уақыттың үнемділігі (оқыту процесіне бар болғаны 26 мин кетті);
- пневмонияны анықтаудың салыстырмалы жоғары дәлдігі (accuracy – 92,3%, recall – 96,4%);
- көп есептеу қуатын талап етпейтін қарапайым модель.

Кесте 4. Алынған нәтижені басқа жұмыстардың нәтижелерімен салыстыру

Зерттеу	Қолданылған әдістер	Деректер қоры	Нәтижелер
Жұмыста ұсынылған модель	CNN	Pediatric chest X-rays	92,3%
Keude қуысының рентгенографиясын қолдана отырып, балалар пневмониясын анықтауда машиналық оқыту классификаторларының тиімділігін салыстырмалы талдау Ошибка! Источник ссылки не найден..	SVM (Support Vector Machine), KNN, NB (Naive Bayes)	PneumoCAD	сәйкесінше 77%, 70%, 68%
Keude қуысының рентгенографиясындағы пневмонияны оқытушымен үйрету арқылы анықтау Ошибка! Источник ссылки не найден..	k-орташа кластеризациясы	Chest X-ray14	60%
Жапсырмалар арасындағы тәуелділікті пайдалану арқылы басынан бастап диагноз қоюды үйрену Ошибка! Источник ссылки не найден..	LSTM (Long Short-Term Memory)	Chest X-ray14	76%
Классификация үшін таңбаланған оптикалық когеренттік томография және кеуде қуысының рентгендік суреттері Ошибка! Источник ссылки не найден..	Ауыспалы оқыту	Pediatric chest X-rays	90.7%
Keude қуысының ауруларын анықтауға арналған терең конвульсиялық нейрондық желілер Ошибка! Источник ссылки не найден..	CNN, SpNN (Competitive probabilistic neural network - Бәсекеге қабілетті ықтимал нейрондық желі), VpNN (Back Propagation Neural Network - Кері таралу нейрондық желісі)	Chest X-ray14	92%
Pneumonia Classification Using Deep Learning from Chest X-ray Images During COVID-19 [18].	Ауыспалы оқыту	Әртүрлі дерекқорлардан	91,43%

Ұсынылған жұмыстар шағын мәліметтер базасында бағаланады және оларды коммерциялық масштабта қолдануға болмайды. Осы орайда, көлемі үлкен бірнеше жоғары маманданған тәуелсіз рентгенологтармен расталған сапалы деректерді қолдану қазіргі қарқынды ескергенде үлкен жетістіктерге алып келуі мүмкін.

Терең оқытудағы көшірмелі оқыту (transfer learning) сияқты тенденциялар көмегімен жинақталатын оқыту процесін құру және деректер қорын кеңейту болашақта жоспарға қойылды. Себебі алынған дәлдік салыстырмалы жоғары болғанымен, зерттеліп отырған аймақ адам өмірімен байланысты болғандықтан 99% дәлдіктің өзі жеткіліксіз болуы мүмкін.

Болашақта рентгенограммаларды дәл автоматтандырылған талдау радиологтың жұмыс процесінің тиімділігін арттырады, медициналық көмектің сапасын арттыру үшін шығындар мен жауап беру уақытын азайту үшін маңызды. Сондай-ақ, тәжірибені қызмет көрсетілмейтін аймақтарға таратуда үлкен мүмкіндіктерге ие.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Household air pollution and health, 2021. Қолжетімді: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- 2 Alistair E. W. Johnson, Tom J. Pollard, Nathaniel R. Greenbaum, Matthew P. Lungren, Chih-ying Deng, Yifan Peng, Zhiyong Lu, Roger G. Mark, Seth J. Berkowitz, Steven Horng, MIMIC-CXR-JPG, a large publicly available database of labeled chest radiographs, 2019. Қолжетімді: <https://arxiv.org/abs/1901.07042>
- 3 Le, W.T.; Maleki, F.; Romero, F.P.; Forghani, R.; Kadoury, S. Overview of machine learning: Part 2 : deep learning for medical image analysis. *Neuroimaging Clin. N. Am.*, vol. 30, pp. 417–431, 2020.
- 4 Our World in Data. Pneumonia by Bernadeta Dadonaite and Max Roser, 2019. Қолжетімді: <https://ourworldindata.org/pneumonia>
- 5 Ronneberger, O.; Fischer, P.; Brox, T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI 2015*, pp. 234–241, 2015.
- 6 Milletari, F.; Navab, N.; Ahmadi, S.A. V-Net: Fully Convolutional Neural Networks for Volumetric Medical Image Segmentation. In *Proceedings of the 2016 Fourth International Conference on 3D Vision (3DV)*, pp. 565–571, 25–28 October 2016
- 7 Jeelani, H.; Martin, J.; Vasquez, F.; Salerno, M.; Weller, D. Image quality affects deep learning reconstruction of MRI. In *Proceedings of the 2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2018)*, pp. 357–360, 4–7 April 2018.
- 8 Chlemper, J.S.; Caballero, J.; Hajnal, J.; Price, A.N.; Rueckert, D. A deep cascade of convolutional neural networks for dynamic MR image reconstruction. *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 37, pp. 491–503, 2017.
- 9 Rajpurkar, P.; Irvin, J.; Zhu, K.; Yang, B.; Mehta, H.; Duan, T.; Ding, D.; Bagul, A.; Langlotz, C.; Shpanskaya, K.; et al. Chexnet: Radiologist-level pneumonia detection on chest x-rays with deep learning. 2017, arXiv:1711.05225.
- 10 Huang, G.; Liu, Z.; Van Der Maaten, L.; Weinberger, K.Q. Densely Connected Convolutional Networks. In *Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, USA, 21–26 July 2017; pp. 2261–2269.
- 11 Dataset Chest X-Ray Images (Pneumonia). Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia?datasetId=17810&sortBy=voteCount&language=Python&tagIds=16580>
- 12 Chollet, F. Deep Learning with Python, 2018, p. 23. Manning Publications Co.
- 13 Sousa R. T., Marques O., Soares F. A. A. M. N., Sene I. I. G., De Oliveira L. L. G., and Spoto E. S., Comparative performance analysis of machine learning classifiers in detection of childhood pneumonia using chest radiographs, *Procedia Computer Science*, vol. 18, pp. 2579–2582, 2013, doi: 10.1016/j.procs.2013.05.444.
- 14 Antin B., Kravitz J., and Martayan E., Detecting Pneumonia in Chest X-Rays with Supervised Learning, *Semanticscholar. Org*. pp. 1–5, 2017. <http://cs229.stanford.edu/proj2017/final-reports/5231221.pdf>
- 15 Yao L., Poblens E., Dagunts D., Covington B., Bernard D., and Lyman K., Learning to diagnose from scratch by exploiting dependencies among labels, Oct. 2017.
- 16 Kermany, Daniel; Zhang, Kang; Goldbaum, Michael (2018), Labeled Optical Coherence Tomography (OCT) and Chest X-Ray Images for Classification, *Mendeley Data*, V2, doi: 10.17632/rscbjbr9sj.2. <https://data.mendeley.com/datasets/rscbjbr9sj/2>
- 17 Rahib H. Abiyev, Mohammad Khaleel Sallam Ma'aitah, Deep Convolutional Neural Networks for Chest Diseases Detection, *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2018, Article ID 4168538, 11 pages, 2018, <https://doi.org/10.1155/2018/4168538>.
- 18 Ibrahim, A.U., Ozsoz, M., Serte, S. et al. Pneumonia Classification Using Deep Learning from Chest X-ray Images During COVID-19. *Cogn Comput* (2021). <https://doi.org/10.1007/s12559-020-09787-5>

- 1 Household air pollution and health, 2021. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- 2 Alistair E. W. Johnson, Tom J. Pollard, Nathaniel R. Greenbaum, Matthew P. Lungren, Chih-ying Deng, Yifan Peng, Zhiyong Lu, Roger G. Mark, Seth J. Berkowitz, Steven Horng, MIMIC-CXR-JPG, a large publicly available database of labeled chest radiographs, 2019. Available at: <https://arxiv.org/abs/1901.07042>
- 3 Le, W.T.; Maleki, F.; Romero, F.P.; Forghani, R.; Kadoury, S. Overview of machine learning: Part 2 : deep learning for medical image analysis. *Neuroimaging Clin. N. Am.*, vol. 30, pp. 417–431, 2020.
- 4 Our World in Data. Pneumonia by Bernadeta Dadonaite and Max Roser, 2019. Available at: <https://ourworldindata.org/pneumonia>
- 5 Ronneberger, O.; Fischer, P.; Brox, T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI 2015*, pp. 234–241, 2015.
- 6 Milletari, F.; Navab, N.; Ahmadi, S.A. V-Net: Fully Convolutional Neural Networks for Volumetric Medical Image Segmentation. In *Proceedings of the 2016 Fourth International Conference on 3D Vision (3DV)*, pp. 565–571, 25–28 October 2016
- 7 Jeelani, H.; Martin, J.; Vasquez, F.; Salerno, M.; Weller, D. Image quality affects deep learning reconstruction of MRI. In *Proceedings of the 2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2018)*, pp. 357–360, 4–7 April 2018.
- 8 Chlemper, J.S.; Caballero, J.; Hajnal, J.; Price, A.N.; Rueckert, D. A deep cascade of convolutional neural networks for dynamic MR image reconstruction. *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 37, pp. 491–503, 2017.
- 9 Rajpurkar, P.; Irvin, J.; Zhu, K.; Yang, B.; Mehta, H.; Duan, T.; Ding, D.; Bagul, A.; Langlotz, C.; Shpanskaya, K.; et al. CheXnet: Radiologist-level pneumonia detection on chest x-rays with deep learning. 2017, arXiv:1711.05225.
- 10 Huang, G.; Liu, Z.; Van Der Maaten, L.; Weinberger, K.Q. Densely Connected Convolutional Networks. In *Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, USA, 21–26 July 2017; pp. 2261–2269.
- 11 Dataset Chest X-Ray Images (Pneumonia). Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia?datasetId=17810&sortBy=voteCount&language=Python&tagIds=16580>
- 12 Chollet, F. *Deep Learning with Python*, 2018, p. 23. Manning Publications Co
- 13 Sousa R. T., Marques O., Soares F. A. A. M. N., Sene I. I. G., De Oliveira L. L. G., and Spoto E. S., Comparative performance analysis of machine learning classifiers in detection of childhood pneumonia using chest radiographs, *Procedia Computer Science*, vol. 18, pp. 2579–2582, 2013, doi: 10.1016/j.procs.2013.05.444.
- 14 Antin B., Kravitz J., and E. Martayan, Detecting Pneumonia in Chest X-Rays with Supervised Learning, *Semanticscholar. Org.* pp. 1–5, 2017. <http://cs229.stanford.edu/proj2017/final-reports/5231221.pdf>
- 15 Yao L., Poblenz E., Dagunts D., Covington B., Bernard D., and Lyman K., Learning to diagnose from scratch by exploiting dependencies among labels, Oct. 2017.
- 16 Kermany, Daniel; Zhang, Kang; Goldbaum, Michael (2018), Labeled Optical Coherence Tomography (OCT) and Chest X-Ray Images for Classification, *Mendeley Data*, V2, doi: 10.17632/rscbjbr9sj.2. <https://data.mendeley.com/datasets/rscbjbr9sj/2>
- 17 Rahib H. Abiyev, Mohammad Khaleel Sallam Ma'aitah, Deep Convolutional Neural Networks for Chest Diseases Detection, *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2018, Article ID 4168538, 11 pages, 2018, <https://doi.org/10.1155/2018/4168538>.
- 18 Ibrahim, A.U., Ozsoz, M., Serte, S. et al. Pneumonia Classification Using Deep Learning from Chest X-ray Images During COVID-19. *Cogn Comput* (2021). <https://doi.org/10.1007/s12559-020-09787-5>

МРНТИ 28.23.15
УДК 004.932

<https://doi.org/10.51889/5259.2022.92.12.025>

Г.С. Омарова^{1*}, В.В. Старовойтов², Ж.Ж. Айтқожа¹, С.К. Серікбаева¹

¹Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
²Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси,
г.Минск, Республика Беларусь
*e-mail: ogs12@mail.ru

КОМБИНАЦИЯ АДАПТИВНОГО ВЫРАВНИВАНИЯ ГИСТОГРАММЫ С ОГРАНИЧЕНИЕМ КонтРАСТНОСТИ И МЕТОДА ГАММА-КОРРЕКЦИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Аннотация

Повышение контрастности изображения имеет важное значение в медицинских приложениях. Это связано с тем, что визуальное изучение медицинских изображений имеет важное значение для диагностики многих заболеваний. Для улучшения контрастности медицинских изображений используются различные методы усиления контрастности, такие как выравнивание гистограммы, методы модификации гистограммы, гамма коррекция и т.д. В статье изучены методы повышения контрастности графических изображений, в частности методы улучшения качества рентгеновских снимков. Исследования проводились в несколько этапов. Были предприняты попытки увеличить контрастность нескольких десятков рентгеновских изображений с целью выбора наилучшей яркости изображения с помощью методов преобразования яркости в системе MATLAB. При выполнении опытов была определена необходимость последовательного выполнения нескольких методов повышения контраста изображений. Для получения лучшего результата перед выполнением гамма-коррекции предложено применение метода выравнивания гистограммы рентгеновского снимка. Рассмотрены возможности метода выравнивания гистограммы изображения. В результате сравнения представляется улучшенный вариант этого алгоритма. Применение алгоритма адаптивного выравнивания гистограммы с ограничением контрастности дает визуальный эффект улучшения контраста рентгеновских изображений. Для объективной количественной оценки результатов преобразования используются функции оценки *niqe* и *brisque*, которые не используют эталонные изображения.

Ключевые слова: цифровые медицинские изображения, качество изображения, улучшение изображения, повышение контраста, преобразование яркости, выравнивание гистограммы изображения, оценка контраста, базы изображений.

Аңдатпа

Г.С. Омарова¹, В.В. Старовойтов², Ж.Ж. Айтқожа¹, С.К. Серікбаева¹
¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан
²Беларусь Ұлттық ғылым академиясының информатика мәселелері біріккен институты,
Минск қ., Беларусь республикасы

МЕДИЦИНАЛЫҚ КЕСКІНДІ ЖАҚСARTУ ҮШІН ГИСТОГРАММАНЫ ШЕКТЕУЛІ КонтРАСТПЕН АДАПТИВТІ ТЕҢЕСТІРУ МЕН ГАММА-ТҮЗЕТУ ӘДІСТЕРІНІҢ КОМБИНАЦИЯСЫ

Медициналық қосымшаларда кескіннің контрастын жоғарылату өте маңызды. Себебі, көптеген ауруларды диагностикалау үшін медициналық кескіндерді визуалды зерттеу қажет. Медициналық суреттердің контрастын жақсарту үшін гистограмманы туралау, гистограмманы модификациялау, гамма түзету әдістері және т.б. сияқты контрастты жақсартудың әртүрлі әдістері қолданылады. Зерттеулер бірнеше кезеңде жүргізілді. MATLAB жүйесіндегі жарықтылықты түрлендіру әдістерін қолдана отырып, кескіннің ең жақсы жарықтығын таңдау үшін бірнеше ондаған рентген суреттерінің контрастын арттыруға әрекет жасалды. Эксперименттерді орындау кезінде суреттердің контрастын арттырудың бірнеше әдістерін дәйекті түрде орындау қажеттілігі анықталды. Жақсы нәтиже алу үшін гамма-түзетуді жасамас бұрын рентгендік кескін гистограммасын туралау әдісін қолдану ұсынылады. Кескін гистограммасын туралау әдісінің мүмкіндіктері қарастырылады. Салыстыру нәтижесінде осы алгоритмнің жетілдірілген нұсқасы ұсынылады. Гистограмманы шектеулі контрастпен адаптивті теңестіру әдісін қолдану рентгендік кескіндердің контрастының жақсаруына әкеледі. Түрлендіру нәтижелерін объективті түрде сандық бағалау үшін эталондық кескіндерді пайдаланбайтын *niqe* және *brisque* бағалау функциялары қолданылады.

Түйін сөздер: Сандық медициналық кескіндер, сурет сапасы, суретті жақсарту, контрастты жақсарту, жарықтылықты түрлендіру, контрастты бағалау, кескіндер базасы.

Abstract

COMBINATION OF CONTRAST-LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION AND GAMMA CORRECTION METHOD TO ENHANCE MEDICAL IMAGE

Omarova G.S.¹, Starovoitov V.V.², Aitkoja Zh.Zh.¹, Serikbayeva S.K.¹

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus

Image contrast enhancement is important in medical applications. This is due to the fact that the visual study of medical images is important for the diagnosis of many diseases. To improve the contrast of medical images, various contrast enhancement methods are used, such as histogram alignment, histogram modification methods, gamma correction, etc. The article studies methods of increasing the contrast of graphic images, in particular methods of improving the quality of X-ray images. The research was carried out in several stages. Attempts have been made to increase the contrast of several dozen X-ray images in order to select the best image brightness using brightness conversion methods in the MATLAB system. During the experiments, the need for sequential implementation of several methods to increase the contrast of images was determined. To obtain the best result before performing gamma correction, it is proposed to use the method of equalizing the histogram of the X-ray image. The possibilities of the method of image histogram alignment are considered. As a result of the comparison, an improved version of this algorithm is presented. The use of an adaptive histogram alignment algorithm with limited contrast gives a visual effect of improving the contrast of X-ray images. To objectively quantify the results of the transformation, the niqe and brisque evaluation functions are used, which do not use reference images.

Keywords: digital medical images, image quality, image enhancement, contrast enhancement, brightness conversion, contrast estimation, image databases.

Введение

По сути, идея методов улучшения заключается в том, чтобы выявить детали, которые скрыты, или просто выделить определенные интересные особенности изображения. Знакомый пример улучшения – это когда мы увеличиваем контрастность изображения, потому что "оно выглядит лучше". Термин "контраст", наблюдаемый на цифровых изображениях, представляет собой разделение темных и светлых областей, присутствующих на изображении [11]. Улучшение изображения зависит от контекста приложения. Метод улучшения, хорошо работающий при улучшении биомедицинских изображений, может быть не столь эффективным при улучшении спутниковых изображений. Медицинские изображения играют важную роль в диагностике заболевания и мониторинге эффекта выбранных методов лечения. Чрезвычайные ситуации, шумы окружающей среды, особые условия пациентов при фотографировании, условия освещения и технические ограничения устройств визуализации являются одними из причин, по которым изображения могут иметь низкое качество. В таких случаях могут быть полезны методы улучшения изображения, особенно когда повторное отображение невозможно. Он используется для восстановления поврежденных изображений, эффективный метод повышения контрастности может улучшить мелкие детали изображения, чтобы рентгенологи могли должным образом контролировать состояние здоровья пациента, и им не нужно идти на повторную визуализацию.

Сущность методов повышения качества рентгеновских изображений состоит в следующем: применить к изображениям малого контраста некоторые математические методы и улучшить качество цифрового медицинского изображения для более точной диагностики проблем здоровья.

Обзор литературы

При ознакомлении с опытом других исследователей в данной предметной области были изучены методы, рассматриваемые в зарубежной литературе. В статье [1] рассматривается повышение контрастности на основе внутренней декомпозиции изображения, используется разделенный алгоритм Брегмана и CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization – адаптивное выравнивание гистограммы с ограничением контрастности*). Авторы показывают улучшение изображений путем оценки уровней освещенности и отражения с помощью внутренней декомпозиции изображения. В результате получено хорошее улучшение контраста, но предлагаемый метод предназначен только для усиления контраста и не может использоваться для таких методов, как изменение текстуры поверхности, вставка объектов и т.д.

В статье [2] Cheolkon Jung рассматривает оптимизированное отображение тона восприятия для повышения контрастности изображений. Предлагаемый метод фокусируется на зрительном внимании человека путем построения гистограммы яркости и выполняет усиление контраста. Преимуществом

метода является то, что он повышает производительность без чрезмерного усиления контраста. Для усиления контраста этим методом требует больше времени по сравнению с методами HE (*Histogram equalization – Выравнивание гистограммы*), CLAHE.

S.S. Haung [3] предложил эффективный метод изменения гистограмм и повышения контраста цифровых изображений. В статье представлен метод автоматического преобразования, который улучшает яркость затемненных изображений с помощью гамма-коррекции и распределения вероятности пикселей яркости. Он использован для улучшения видеоданных. Метод, предложенный в статье, использует различия между кадрами, чтобы уменьшить вычислительную сложность. Экспериментальные результаты показали, что предлагаемый способ позволяет получить улучшенные изображения сопоставимого или более высокого качества, чем те, которые были получены с использованием других методов.

M.Shakeri [4] предложил алгоритм повышения контрастности, основанный на локальном выравнивании гистограммы. Особенностью алгоритма является определение количества субгистограмм и разделение гистограммы на основе насыщенности. Алгоритм работал в три этапа. Первоначально оценка количества кластеров для уровней яркости изображения выполняется с использованием выравнивания гистограммы. На следующем этапе уровни яркости изображения группируются и, наконец, включают усиление контрастности для каждого отдельного кластера отдельно. Алгоритм сравнивается с другими методами, основанными на измерении качества и количества. Применение метода выдает естественный внешний вид изображений и повышенный контраст. Недостатками алгоритма являются потеря деталей при высоких уровнях яркости изображения и присутствие шума в выходном изображении.

В работе [5] авторами предложен новый метод улучшения медицинских изображений. Сначала исходное медицинское изображение разлагается на область NSCT (контурное преобразование без субдискретизации) с низкочастотным поддиапазоном и несколькими высокочастотными поддиапазонами. Затем использовано линейное преобразование для коэффициентов яркости низкочастотного поддиапазона. Для шумоподавления коэффициентов высокочастотных поддиапазонов используется адаптивный пороговый метод. Затем все поддиапазоны были реконструированы в пространственные области с помощью обратного преобразования NSC. Далее применено нерезкое маскирование для повышения четкости деталей реконструируемого изображения. Результаты экспериментов показывают, что предложенный метод превосходит другие методы по таким характеристикам, как энтропия изображения и PSNR (отношение пикового сигнала к шуму).

В [6] статье рассматривается оптимизированный для социальных сетей подход к объединению изображений для повышения контрастности и сохранения яркости. Алгоритм оптимизации социальных сетей создает два качественных изображения, одно с лучшей контрастностью, увеличенной энтропией, а второе изображение с увеличенным пиковым отношением сигнал/шум. Оба изображения объединяются, чтобы позже получить эффективное изображение. Сравнения проводились с помощью применения методов выравнивания гистограммы и линейного контрастного растяжения. Результаты показывают, что предложенный способ обеспечивает лучшее пиковое отношение сигнал/шум, сохраняет яркость, повышает контрастность любого заданного изображения, что приводит к качественному визуальному эффекту. Однако количество краевых пикселей этой техники велико, в то время как значение пригодности меньше.

В работе [7] Se EunKim предлагает метод усиления контраста в вейвлет-области, основанный на энтропии. Первоначально он использует локальное масштабирование энтропии в области вейвлетов для получения желаемого контраста. Были использованы математические методы, а затем был разработан метод улучшения цвета в цветовом пространстве HSI (от англ. hue, saturation, lightness (intensity)). Алгоритм работал в два этапа: модификация низких частот в области вейвлетов и масштабирование цветового пространства HSI за счет увеличения компонента интенсивности таким образом, чтобы изображения при слабом освещении получали подробную информацию о цвете без какой-либо последующей обработки. Особенностью алгоритма является то, что он используется в цветовом пространстве HSI и обеспечивает повышение контрастности изображения.

В работе [8] Huang Lidong предложил комбинацию адаптивного выравнивания гистограммы с ограниченным контрастом и дискретного вейвлет-преобразования для улучшения изображения. Алгоритм работает в три этапа. Сначала исходное изображение распределяется по низкочастотным и высокочастотным компонентам с помощью вейвлет-преобразования. Низкочастотные коэффициенты

улучшаются с помощью метода CLAHE, а высокочастотные коэффициенты остаются неизменными. При обратном вейвлет-преобразовании изображение монтируется успешно. Предлагаемый метод применим для улучшения локальных деталей изображения, хорошо сохраняет детали и подавляет шум. Но высокочастотный компонент, который содержит большую часть шума в исходном изображении, остается неизменным.

Авторы работы [9] для сохранения яркости и повышения контрастности изображения предлагают высокоскоростное выравнивание гистограммы на основе квантилей (HSQHE). Повышение контрастности данным методом подходит для высококонтрастных цифровых изображений. Рекурсивная сегментация гистограммы не выполняется, поэтому для сегментации требуется минимальное время. Для оценки PSNR (Peak signal-to-noise ratio – Пиковое отношение сигнала к шуму) контрастного усиления используются показатели энтропии. Для оценки сохранения яркости используется абсолютная ошибка средней яркости (AMBE - Absolute Mean Brightness Error). HSQHE сохраняет яркость изображения более точно за меньший промежуток времени, но высокое значение PSNR достигается только для определенных изображений.

В работе [10] авторы предлагают схему модификации гистограммы с максимизацией энтропии. Метод модификации гистограммы максимизации энтропии делит глобальное выравнивание гистограммы на два этапа: этап слияния популяций пикселей (PPM - pixel populations mergence), который согласуется с правилом максимизации энтропии, и этап распределения уровней серого (GLD - grey-levels distribution). Применение метода дает хорошее улучшение, позволяет избежать усиленного шума и искажений в изображении, но существует проблема чрезмерного растяжения контраста.

Ознакомление с предложенными методами подтверждает необходимость использования методов нелинейного преобразования яркости изображения для улучшения контраста, но требует детального исследования для получения более информативного изображения после обработки.

Методы улучшения изображений

Методы улучшения изображения подразумевают выполнение таких преобразований над исходным изображением, которые приводят к результату, более подходящему для конкретного применения [11]. Визуальная оценка качества изображения – это крайне субъективный процесс, а автоматическое вычисление количественного значения такой оценки очень сложная задача. Для выбора того или иного метода для повышения контраста медицинского изображения, необходима оценка результата. Алгоритмы объективной оценки качества подразделяются на эталонные и безэталонные. Разные эталонные критерии используют сравнительную оценку качества, когда обычно известно как выглядит эталонное изображение, и известны его характеристики [13]. При работе с низкоконтрастными медицинскими изображениями отсутствуют эталоны для сравнения. Поэтому необходимо подбирать те возможности оценки, которые не требуют эталонного изображения.

Подходы к улучшению изображения делятся на две категории: методы обработки в пространственной области и методы обработки в частотной области. Термин пространственная область относится к плоскости изображения как таковой, и данная категория объединяет подходы, основанные на прямом преобразовании значений пикселей изображения. Частотные методы предполагают изменения изображений после преобразования Фурье.

Рассмотрим некоторые методы, относящиеся к методам обработки в пространственной области. Пространственные методы описываются уравнением [12]:

$$g(x,y) = T[f(x,y)], \quad (1)$$

где $f(x,y)$ – функция, описывающая исходное изображение, $g(x,y)$ – преобразованное изображение, T – оператор над f , определенный в некоторой окрестности пиксела с координатами (x,y) . Под окрестностью пиксела понимается квадратная или прямоугольная область, являющаяся подмножеством изображения и центрированная относительно данного пиксела. Простейший вариант оператора T имеет место в случае, когда окрестность состоит из одного пиксела, в этом случае значение g является функцией от $f(x,y)$ и T называется преобразованием точечного типа.

Градации преобразования делятся на следующие группы: линейные логарифмические и степенные преобразования. Выравнивание гистограммы цифрового изображения – это преобразование исходного изображения, при котором гистограмма преобразованного изображения имеет более горизонтальную форму, чем гистограмма исходного изображения.

Для повышения качества изображения необходимо увеличить такие параметры, как яркостный диапазон, контрастность, резкость, четкость. В совокупности эти параметры можно улучшить выравниванием гистограммы изображения. Алгоритмы выравнивания гистограммы широко используются для улучшения обрабатываемого цифрового полутонового изображения. В целом, такие алгоритмы просты в реализации, имеют сравнительно невысокую вычислительную стоимость и при этом показывают высокую эффективность. Суть работы таких алгоритмов заключается в регулировании уровней полутонового изображения в соответствии с функцией распределения вероятности данного изображения (2) и, в результате, увеличивается динамический диапазон распределения яркости. Это приводит к улучшению визуальных эффектов, таких как: яркостный контраст, резкость, четкость.

$$P(i) = \frac{n_i}{n}, i = 0, 1, \dots, 255;$$

$$H(j) = 255 \sum_{i=0}^j P(i) \quad (2)$$

где $P(i)$ – вероятность появления пикселя яркостью i , нормализованная функция гистограммы исходного изображения, j – координаты пикселя обрабатываемого изображения, $H(j)$ – преобразованное изображение [12]. Алгоритмы выравнивания гистограммы разделяют на следующие два типа: локальное (адаптивное) выравнивание гистограммы и глобальное выравнивание гистограммы. В глобальном методе строится одна диаграмма и производится выравнивание гистограммы всего изображения целиком. В локальном методе производится построение большого количества гистограмм, где каждая гистограмма соответствует лишь части обрабатываемого изображения. При таком методе улучшается локальный контраст изображения, что позволяет в целом получить лучшие результаты обработки.

Улучшенным вариантом вышерассмотренного алгоритма является алгоритм адаптивного выравнивания гистограммы с ограничением контрастности (Contrast limited adaptive histogram equalization – CLAHE). Главной особенностью данного алгоритма является ограничение диапазона гистограммы на основе анализа значений яркости пикселей в обрабатываемом блоке (3), тем самым получаемое изображение выглядит более естественным и менее зашумленным [14].

$$da = \frac{n_c}{n} \quad (3)$$

где da – коэффициент приращения значения функции гистограммы, n_c – количество пикселей, превышающих пороговое значение.

Стоит отметить, что в классическом алгоритме CLAHE используется билинейная интерполяция для устранения границ между обрабатываемыми блоками.

Выравнивание гистограммы в среде Matlab реализовано функцией `histeq`, которая имеет синтаксис:

$$J = \text{histeq}(I, n) \quad (4)$$

где I – входное изображение, n – число уровней интенсивности, установленное для выходного изображения J . Если n равно общему числу возможных уровней входного изображения, то `histeq` просто реализует функцию преобразования. Если это число меньше общего числа возможных уровней входного изображения, то `histeq` выполнит перераспределение уровней, для того, чтобы они приближали плоскую диаграмму. Для истинной реализации данного метода для n используется максимально возможное число уровней, то есть 256. Алгоритм CLAHE реализован функцией `adapthisteq`, которая имеет следующий синтаксис:

$$J = \text{adapthisteq}(I, \text{Name}, \text{Value}) \quad (5)$$

Входными параметрами `Name` могут быть:

- `Number of tiles` – количество прямоугольных контекстных областей (плиток), на которые `adapthisteq` делит изображение, заданное как 2-элементный вектор положительных целых чисел;
- `Contrast enhancement limit` – предел увеличения контрастности, заданный как действительный скаляр в диапазоне $[0, 1]$;

- Number of histogram bins used to build a contrast enhancing transformation – количество интервалов гистограммы, используемых для построения преобразования, повышающего контраст (по умолчанию - 256);
- Desired histogram shape - Желаемая форма гистограммы;
- Distribution parameter - Параметр распределения.

CLANE работает с небольшими областями изображения, называемыми плитками, а не со всем изображением. `adapthisteq` вычисляет функцию преобразования контраста для каждой плитки в отдельности. Контрастность каждой плитки повышается, так что гистограмма выходной области приблизительно соответствует гистограмме, заданной значением "Распределение". Затем соседние плитки объединяются с использованием билинейной интерполяции для устранения искусственно созданных границ. Контраст, особенно в однородных областях, может быть ограничен, чтобы избежать усиления любого шума, который может присутствовать в изображении.

Исходные данные и описание экспериментальных исследований

Для проведения эксперимента по применению методов преобразования яркости изображения используем рентгеновские снимки из базы Kaggle [15]. Целью эксперимента является повышение контраста изображения для получения более информативного для врача-пульмонолога представления изображения легких. Сущность методов повышения качества медицинских изображений состоит в следующем: применить к изображениям малого контраста математические методы и улучшить качество цифрового медицинского изображения для повышения точности диагностики.

Проведен ряд экспериментов применения функции преобразования яркости полутоновых изображений к нескольким рентгеновским снимкам для выбора наиболее подходящих входных параметров. Значения для входных параметров выбирались с шагом 0.1 в диапазоне от 0 до 1 [16].

В процессе экспериментов перебрали ряд диапазонов яркости исходных изображений, для которых попытки повышения контраста рентгеновских снимков давали положительный результат и визуально, и в виде количественных оценок. Для определения насколько повысилась контрастность использовались нерференсные функции оценки `niqe` и `brisque`. Функции оценки NIQE (Naturalness Image Quality Evaluator) и BRISQUE (Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator) используются в случаях, когда эталон изображения отсутствует. Функция NIQE (A) сравнивает качество изображения A относительно абстрактного модельного изображения, построенного на базе изображений естественных сцен. Функция BRISQUE (A) сравнивает качество изображения A относительно другого модельного изображения, построенного по ряду изображений естественных сцен с определенными искажениями. Чем меньше значения этих функций, тем выше качество изображений.

При выборе необходимых параметров с выбранными значениями можно визуально отобразить результат преобразования и сравнить с исходным изображением (рис.1).

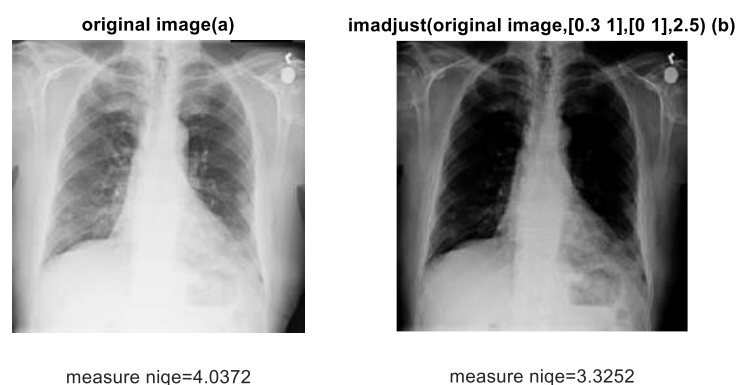


Рисунок 1. Сравнение `imadjust('1.png',[0.3, 1],[0, 1],2.5) (b)` с исходным изображением (a)

Рисунок 1 показывает исходное изображение (a) и результат применения функции `imadjust` с выбранными параметрами (b). Здесь оценка `Niqe` для исходного изображения равна 4.0372, а для преобразованного изображения оценка равна 3.3252. Можно отметить более высокий контраст преобразованного изображения, и количественная оценка `Niqe` показывает меньшее значение, чем у исходного изображения.

При выборе значения параметра γ , в большинстве случаев выполнения функции, результат преобразования не давал улучшения и визуального восприятия и в количественной оценке результата. Например, рисунок 2 показывает результаты преобразования исходного изображения 4.png.

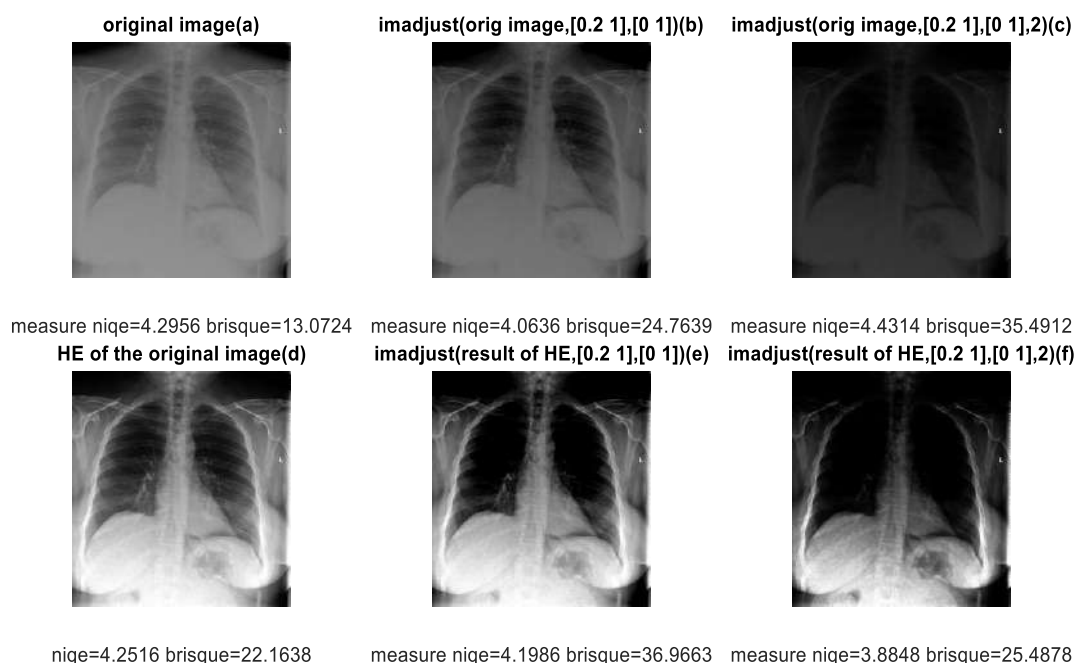


Рисунок 2. Исходное изображение(a) и его преобразованные варианты с оценками (b)(c)(d)(e)(f)

Применение выравнивания гистограммы (4) исходного изображения перед тестированием функции `imadjust` с выбором параметра γ , дает результат улучшенного контраста изображений. В следующем эксперименте применены методы выравнивания гистограммы нескольких изображений со сравнением их результатов с качеством исходного изображения. Например, для вышерассмотренного изображения 4.png (a) применение выравнивания гистограммы (b) и адаптивного выравнивания гистограммы с ограничением контрастности (c) показано на рисунке 3.

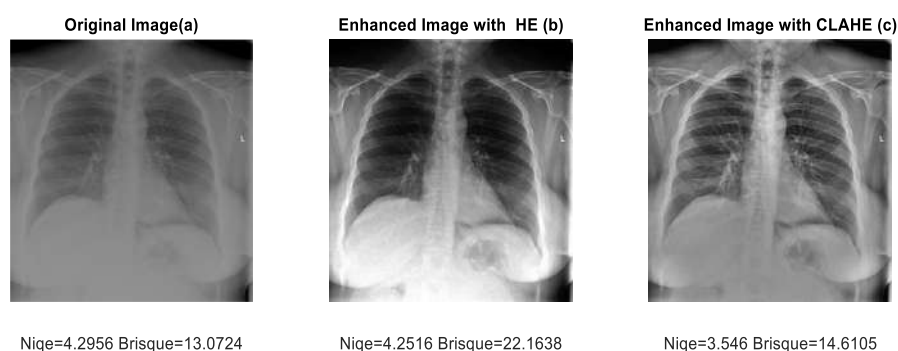


Рисунок 3. Сравнение исходного изображения с результатами применения методов выравнивания гистограммы изображения 4.png

Рисунок 4 показывает результаты аналогичных действий для другого изображения `person9_bacteria_39.jpeg` [15], что применение метода адаптивного выравнивания гистограммы изображения с ограничением контраста (c) по сравнению с результатом выравнивания гистограммы изображения (b) визуально дает лучший результат, но оценки `niqe` и `brisque` не всегда соответствуют им.

В таблице 1 показаны оценки 15 тестовых изображений после применения методов выравнивания гистограммы. В большинстве случаев результаты применения метода CLAHE показывают визуальное улучшение контраста изображений и уменьшение нерелевантных оценок одновременно. В некоторых

случаях оценки результатов применения адаптивного выравнивания с ограничением контраста не уменьшаются в значении по сравнению с оценками исходного изображения.

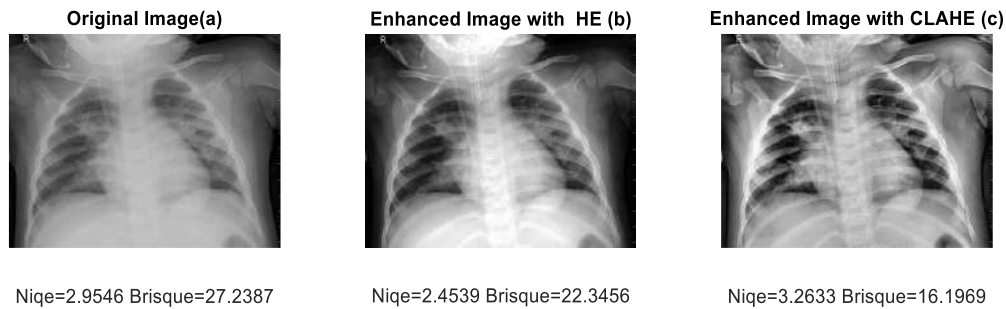


Рисунок 4. Сравнение результатов применения методов выравнивания гистограммы изображения с нереперенсными оценками для изображения person9_bacteria_39.jpeg(a)

Таблица 1. Оценки изображений после применения методов выравнивания гистограммы

Название изображения	Исходное изображение		Результат выравнивания гистограммы		Результат CLAHE	
	Niqe	Brisque	Niqe	Brisque	Niqe	Brisque
1.png	4.0372	16.1975	3.8041	18.5971	3.2715	10.6472
2.png	4.2881	18.7059	4.0796	25.8175	3.3852	6.6687
3.png	4.1413	10.4101	4.8412	29.7437	3.4034	8.2951
4.png	4.2956	13.0724	4.2516	22.1638	3.5460	14.6105
5.png	4.3203	25.7744	3.8508	27.6071	3.8508	27.6071
6.png	4.8023	29.9513	5.4088	40.3179	4.2207	28.3585
person1_bacteria_2.jpeg	3.0889	28.7698	2.5252	26.2216	3.3720	12.7819
person2_bacteria_4.jpeg	3.3458	19.7843	3.0630	20.6180	3.8828	24.8727
person3_bacteria_10.jpeg	2.8316	21.7251	2.9140	22.7425	3.1578	21.8798
person5_bacteria_15.jpeg	2.4308	34.7898	2.3427	32.8920	2.9593	28.5670
person6_bacteria_22.jpeg	2.6389	29.0688	2.3890	19.8988	3.3271	17.6235
person7_bacteria_24.jpeg	2.8125	28.8672	2.5647	28.1311	3.0936	2.2356
person8_bacteria_37.jpeg	2.7626	31.0623	2.3359	29.3576	2.3359	29.3576
person9_bacteria_39.jpeg	2.9546	27.2387	2.4539	22.3456	3.2633	16.1969
person17_bacteria_56.jpeg	2.6956	38.5977	2.6956	38.5977	2.6956	38.5977

В результате анализа данных таблицы 1 было решено, что для улучшения результатов повышения контраста изображения, целесообразно будет заменить метод выравнивания гистограммы адаптивным выравниванием гистограммы с ограничением контрастности. В следующем эксперименте использована функция (5) для повышения контрастности изображения I в градациях серого путем преобразования значений с помощью адаптивного выравнивания гистограммы с ограничением контраста. Применение данного метода было акцентировано на параметры Distribution и ClipLimit. Параметр Distribution принимает значения 'uniform', 'rayleigh', 'exponential', которые задают желаемую форму гистограммы. Этот параметр определяет распределение, которое adapthisteq использует в качестве основы для создания функции преобразования контраста. По определению выбранное распределение должно зависеть от типа входного изображения. Например, подводные изображения кажутся более естественными при использовании распределения 'rayleigh'.

Параметр ClipLimit – это коэффициент контрастности, который предотвращает перенасыщение изображения, особенно в однородных областях. Эти области характеризуются высоким пиком на гистограмме конкретного фрагмента изображения из-за того, что многие пиксели попадают в один и тот же диапазон уровней серого. Без ограничения клипа метод адаптивного выравнивания гистограммы может дать результаты, которые в некоторых случаях хуже, чем исходное изображение. Его значение по умолчанию равно 0.01.

Для нескольких тестовых рентгеновских изображений были выполнены следующие действия:

- Применение метода адаптивного выравнивания гистограммы с выбором следующих значений для параметров:
 - Распределение Distribution = 'rayleigh', 'exponential';
 - Для определения оптимального значения параметра 'clipLimit' выполнялся выбор его значений из интервала [0, 1] с шагом 0.01;
- Вычисление объективных оценок для всех преобразованных изображений;
- Построение графиков объективных оценок для всех вариантов изображений;
- Определение минимальных оценок niqe и brisque;
- Выбор оптимального визуального отображения изображения с минимальными объективными оценками.

Построение графиков объективных оценок (рис.5) для нескольких рентгеновских снимков показали, что значения параметра clipLimit можно ограничить с [0,1] на [0,0.2], так как следующие значения были не информативны. Минимальные меры оценок niqe и brisque позволяют нам выбрать изображения с улучшенным контрастом. Такой выбор связан с утверждением того, что чем меньше значение нерелевантной оценки, тем визуально улучшается изображение. Данное утверждение было доказано при выполнении предыдущих исследований, когда минимальное значение оценки Niqe чаще совпадало с улучшением визуального восприятия изображения.

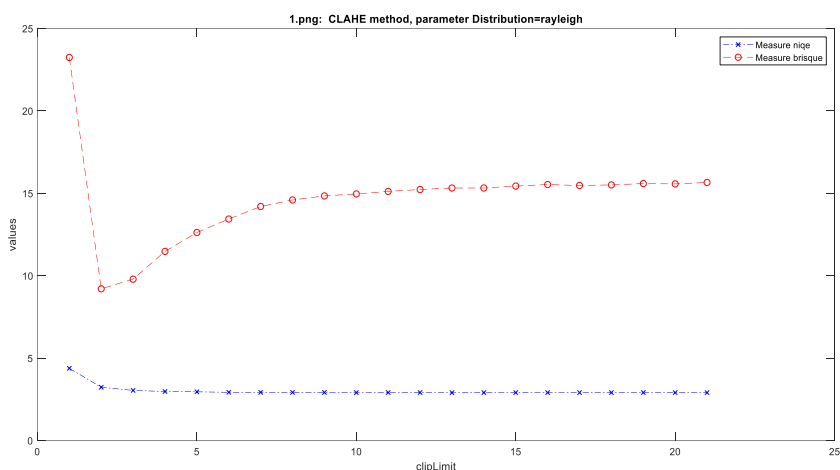


Рисунок 5. Графики объективных оценок для преобразованных изображений оригинала '1.png' со значениями distribution='rayleigh'; и 'clipLimit'=[0,0.2] с шагом 0.01 (красным цветом отмечены оценки Brisque, синим цветом оценки Niqe).

На рисунке 6 показано визуальное сравнение исходного изображения (а) с преобразованным(б), где применен метод CLAHE с выбранными параметрами и с минимальной оценкой niqe.

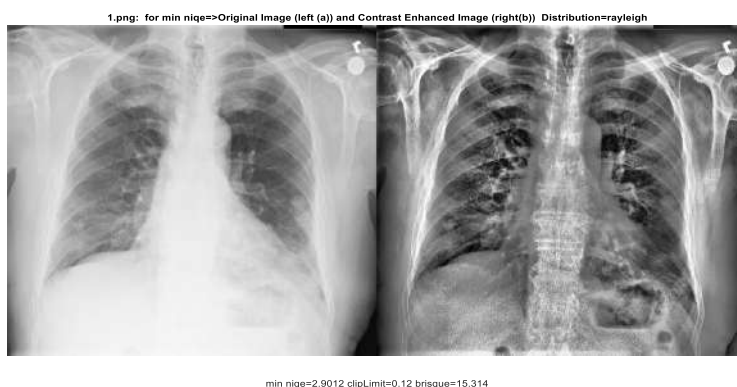


Рисунок 6. Сравнение результата преобразования исходного изображения (а) методом CLAHE (distribution='rayleigh', clipLimit=0.12) (б) с минимальной оценкой Niqe

Здесь значение параметра `distribution` равно `'rayleigh'` и выбраны те полученные изображения, при которых нерелативные оценки имели минимальные значения. Например, для изображения `1.png` получена минимальная оценка `Niqe=2.9012` при `clipLimit=0.12`, и ей соответствует оценка `Brisque=15.314`. Для изображения с минимальной оценкой `Brisque` равным `9.1993` при значении параметра `clipLimit=0.01` определена оценка `Niqe=3.2265`. Здесь можно отметить, уменьшение оценки `Brisque` во многих случаях не соответствует уменьшению значения оценки `Niqe`, при котором наблюдались визуальные улучшения.

Визуальное сравнение исходного изображения (а) с преобразованным изображением методом CLAHE (b) с минимальной оценкой `Brisque` показано на рисунке 7.

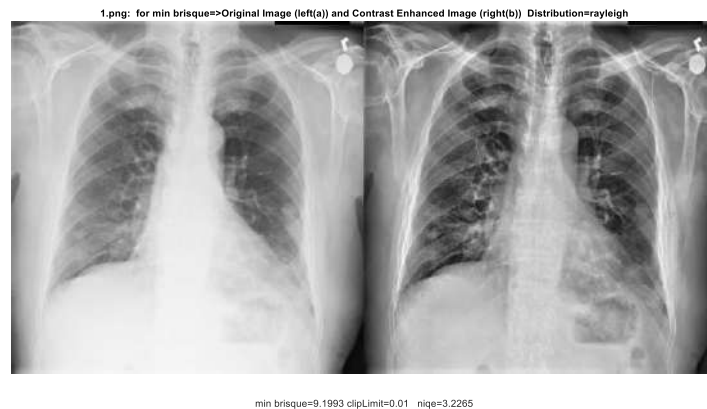


Рисунок 7. Визуальное сравнение исходного изображения (а) с преобразованным методом CLAHE (`distribution='rayleigh'`, `clipLimit=0.01`) (b) и с минимальной оценкой `brisque`

Здесь параметр `distribution` при значении `'rayleigh'` принимает минимальное значение оценки `Brisque` равное `9.1993`, которому соответствует значение оценки `Niqe=3.2365` при значении параметра `clipLimit=0.01`.

Построенные графики объективных оценок для преобразованных изображений оригинала `'1.png'` методом адаптивного выравнивания гистограммы с ограничением контраста показаны на рисунке 8. Здесь параметр `distribution` принимает значение `'exponential'`; а параметр `'clipLimit'` получает значения из интервала `[0,0.2]` с шагом `0.01`.

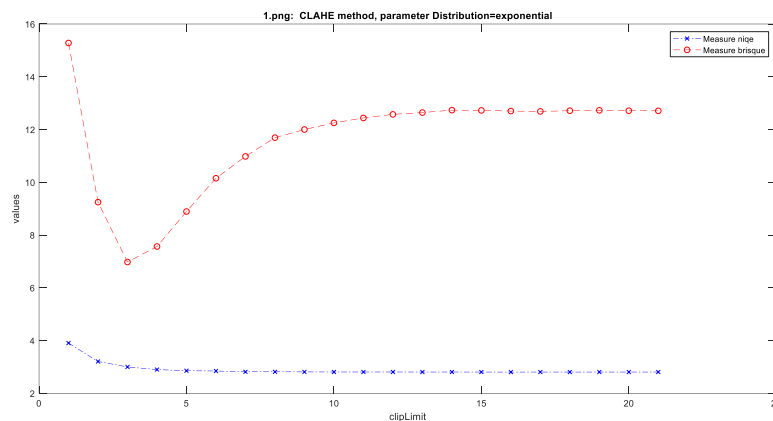


Рисунок 8. Графики объективных оценок для преобразованных изображений оригинала `'1.png'` со значениями `distribution='exponential'`; и `'clipLimit'=[0,0.2]` с шагом `0.01` (красным цветом отмечены оценки `Brisque`, синим цветом оценки `Niqe`)

Визуальное сравнение исходного изображения (а) с преобразованным изображением методом CLAHE (b) с минимальной оценкой `Brisque` показано на рисунке 9. Здесь параметр `distribution` при значении `'exponential'` принимает минимальное значение оценки `Niqe` равное `2.8036`, которому соответствует значение оценки `Brisque=12.6992` при значении параметра `clipLimit=0.15`.

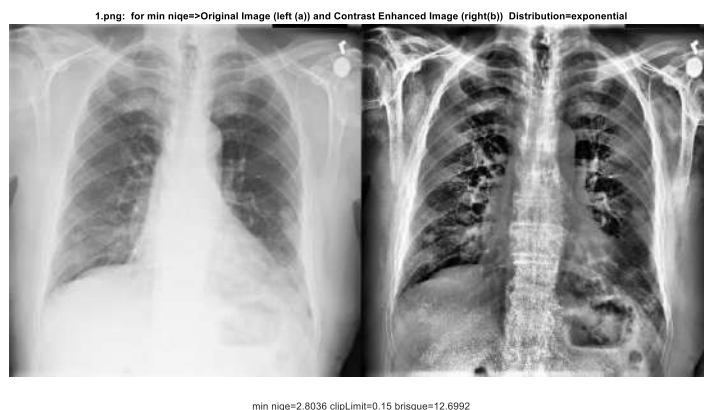


Рисунок 9. Визуальное сравнение исходного изображения(а) с преобразованным методом CLAHE ($distribution='exponential'$, $cliplimit=0.15$)(b) и с минимальной оценкой $niqe$

Визуальное сравнение исходного изображения (а) с преобразованным изображением методом CLAHE (b) с минимальной оценкой $Brisque$ показано на рисунке 10. Здесь параметр $distribution$ при значении 'exponential' принимает минимальное значение оценки $Brisque$ равное 6.9796, которому соответствует значение оценки $Niqe=3.0005$ при значении параметра $cliplimit=0.02$.

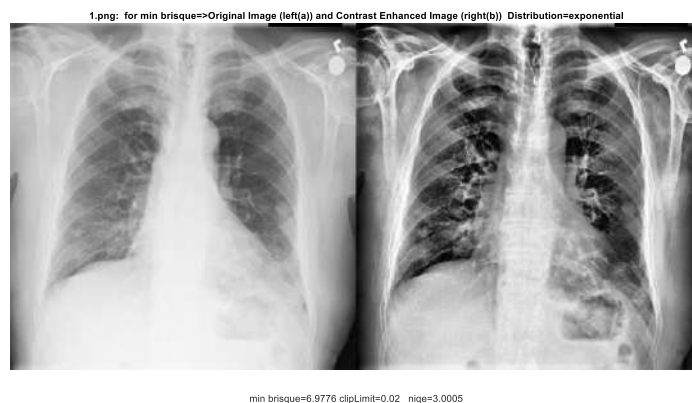


Рисунок 10. Визуальное сравнение исходного изображения(а) с преобразованным методом CLAHE ($distribution='exponential'$, $cliplimit=0.02$)(b) с минимальной оценкой $Brisque$.

Результаты выполненных аналогичных действий над остальными тестовыми изображениями отражены в таблице 2. Здесь указаны нерезеренсные оценки исходного изображения и результатов преобразования методом CLAHE с выбранными значениями параметра $distribution$. Для каждого из значений данного параметра определены минимальные оценки $niqe$ и $brisque$, и соответствующие для них значения параметра $cliplimit$ и оценки.

В таблице 2 показаны значения полученных нерезеренсных оценок исходного изображения и преобразованных изображений методом CLAHE. Можно заметить, что изменение значений параметров $distribution$ и $cliplimit$, при выполнении метода адаптивного выравнивания с ограничением контраста, дает положительные результаты. Анализ значений таблицы 2 дает предпочтение значению параметра $distribution \equiv 'exponential'$ при определенных значениях параметра $cliplimit$. Этому свидетельствуют значения нерезеренсных оценок $Niqe$ и $Brisque$, которые уменьшаются в значении при улучшении контраста медицинских изображений. Как показали выполненные лабораторные исследования, во многих случаях оценка $Niqe$ больше соответствовала улучшению изображения.

В результате выполненных исследований считается целесообразным использование комбинации метода гамма коррекции и метода адаптивного выравнивания гистограммы, в котором усиление контрастности ограничено во избежание возникновения или усиления шумов на изображении.

Таблица 2. Сравнение значений нереперенсных оценок исходного изображения и преобразованных изображений методом CLAHE при изменении значений параметров *distribution* и *cliplimit*

Image	Niqe (оригинал)	Brisque (оригинал)	<i>distribution</i>	<i>min niqe</i>	<i>for min niqe, cliplimit</i>	<i>for min niqe brisque</i>	<i>min brisque</i>	<i>for min brisque, cliplimit</i>	<i>for min brisque, niqe</i>
1	4.0372	16.1975	'rayleigh'	2.9012	0.1200	15.314	9.1993	0.0100	3.2265
			'exponential'	2.8036	0.1500	12.6992	6.9776	0.0200	3.0005
2	4.2881	18.7059	'rayleigh'	3.0420	0.0800	15.7290	8.9939	0.0100	3.3514
			'exponential'	3.0024	0.0800	14.7401	7.2666	0.0100	3.3447
3	4.1413	10.4101	'rayleigh'	3.1609	0.0700	14.4351	6.6493	0.0100	3.4322
			'exponential'	3.0930	0.0700	15.6488	9.0976	0.0100	3.3438
4	4.2956	13.0724	'rayleigh'	3.2971	0.1700	17.8653	13.0724	0.0100	3.5975
			'exponential'	3.2193	0.1700	19.9392	13.0724	0.0100	3.5217
5	4.3203	25.7744	'rayleigh'	2.9495	0.0500	27.6091	25.7744	0.0100	3.3356
			'exponential'	2.9055	0.0600	26.7410	22.3760	0	4.2776
6	4.8023	29.9513	'rayleigh'	3.9037	0.1300	17.1803	16.9361	0.2300	3.9085
			'exponential'	3.9655	0.1600	19.0927	18.9781	0.2100	3.9714
7	3.0889	28.7698	'rayleigh'	3.0759	0	33.8095	4.9285	0.0100	3.1913
			'exponential'	3.0337	0	29.4685	10.0346	0.0100	3.3622
8	3.3458	19.7843	'rayleigh'	3.2490	0	19.1865	19.1865	0	3.2490
			'exponential'	3.3083	0	13.8267	13.8267	0	3.3083
9	2.8316	21.7251	'rayleigh'	2.6969	0	28.6374	11.0289	0.0100	3.0216
			'exponential'	2.7980	0	21.5236	18.7296	0.0100	3.1852

Заклучение

Во время эксперимента были использованы рентгеновские снимки, некоторые из которых при преобразовании яркости без затруднений визуально улучшались, а некоторые после преобразования принимали более темный оттенок, и качество изображения оставалось низким. При работе с такими изображениями возникали трудности в улучшении контраста методом гамма коррекции. С целью достижения лучшего контраста перед применением гамма коррекции было выполнено выравнивание гистограммы изображения. В результате чего были получены более лучшие результаты. Эксперименты с методами выравнивания гистограммы медицинских изображений дали возможность сравнить их возможности. С целью улучшения полученных результатов применения выравнивания гистограммы было решено заменить его адаптивным выравниванием гистограммы с ограничением контрастности.

В результате применения данного метода было определено, что при задании значения параметру *distribution* дается предпочтение значению 'exponential' при определенных значениях параметра *cliplimit*. Выполненные эксперименты показали, что комбинация адаптивного выравнивания гистограммы с ограниченным контрастом и метода гамма-коррекции дает положительный результат при увеличении контраста медицинского изображения. Также при выполнении исследований было определено, что в большинстве случаев при оценке качества изображения количественная мера *niqe* больше соответствует улучшению изображения, чем оценка *brisque*.

Список использованных источников:

- 1 Huanjing Yue, Jingyu Yang, Xiaoyan Sun, Feng Wu. Contrast Enhancement Based on Intrinsic Image Decomposition, *IEEE Transactions on image processing* 2017, 26(8), P.3981-3994.
- 2 Cheolkon Jung, Tingting Sun. Optimized Perceptual Tone Mapping for Contrast Enhancement of Images, *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology* 2017, 27(6), P. 1161-1170.
- 3 S.S. Haung, F.S. Cheng, Y.C. Chiu. Efficient contrast enhancement Using Adaptive Gama Correction with Weighting Distribution. *IEEE Transactions on Image Processing* 2013; 22 (3): P.1032-1041.
- 4 M.Shakeri, M.H.Dezfoulian, H.Khotanlou, A.H.Barati, Y.Masoumi. Image contrast enhancement using fuzzy clustering with adaptive cluster parameter and sub-histogram equalization", *Elsevier Digital signal Processing* 2017, P. 224-237.
- 5 L.Liu, Z. Jia, J. Yang, N. Kasabov. A Medical Image Enhancement Method Using Adaptive Thresholding in NSCT Domain Combined Unsharp Masking. *Wiley Periodicals, Inc.* 2015, 25: P.199-205.

- 6 Lalit Maurya, Prasant Kumar Mahapatra, Amod Kumar. A social spider optimized image fusion approach for contrast enhancement and brightness preservation, Elsevier Applied soft computing 2017, P.575–592.
- 7 Se EunKim, JongJuJeon, IlKyuEom. Image contrast enhancement using entropy scaling in wavelet domain, Elsevier signal Processing 2016, P. 1-11.
- 8 Huang Lidong, Zhao Wei ✉, Wang Jun, Sun Zebin, Combination of contrast limited adaptive histogram equalisation and discrete wavelet transform for image enhancement, IET Image Processing Journals 2015, Vol. 9, Iss. 10, P. 908–915.
- 9 Mayank Tiwari, Bhupendra Gupta, Manish Shrivastava, Highspeed quantile-based histogram equalisation for brightness preservation and contrast enhancement, IET Image Process 2015, 9(1), P. 80–89.
- 10 Zhao Wei, Huang Lidong, Wang Jun, Sun Zebin, Entropy maximisation histogram modification scheme for image enhancement, IET Image Process 2015, 9(3), P. 226–235.
- 11 Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - Издание 3-е, исправленное и дополненное. –М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
- 12 Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. – М.: Техносфера, 2006. -616 с.
- 13 Старовойтов Ф.В., Параметры кривой распределения локальных оценок как меры качества изображений / Ф. В. Старовойтов, В. В. Старовойтов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2018. – №3. – С. 26–41.
- 14 Ma J., Fan X., Yang S.X., Zhang X.J, Zhu X. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based Fusion for Underwater Image Enhancement // Preprints [Электронный ресурс] 2017, URL: <https://www.preprints.org/manuscript/201703.0086/v1>
- 15 <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>.
- 16 Омарова Г., Старовойтов В. Увеличение контраста рентгеновских изображений на основе гамма-коррекции. «Физико-математические науки». 77, 1 (апр. 2022). DOI:<https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.32> .

References:

- 1 Huanjing Yue, Jingyu Yang, Xiaoyan Sun, Feng Wu. Contrast Enhancement Based on Intrinsic Image Decomposition, IEEE Transactions on image processing 2017, 26(8), P.3981-3994.
- 2 Cheolkon Jung, Tingting Sun. Optimized Perceptual Tone Mapping for Contrast Enhancement of Images, IEEE Transactions on circuits and systems for video technology 2017, 27(6), P. 1161-1170.
- 3 S.S.Haung, F.S. Cheng, Y.C. Chiu. Efficient contrast enhancement Using Adaptive Gama Correction with Weighting Distribution. IEEE Transactions on Image Processing 2013; 22 (3): P.1032-1041.
- 4 M.Shakeri, M.H.Dezfoulian, H.Khotanlou, A.H.Barati, Y.Masoumi. Image contrast enhancement using fuzzy clustering with adaptive cluster parameter and sub-histogram equalization”, Elsevier Digital signal Processing 2017, P. 224-237,.
- 5 L.Liu, Z. Jia, J. Yang, N. Kasabov. A Medical Image Enhancement Method Using Adaptive Thresholding in NSCT Domain Combined Unsharp Masking. Wiley Periodicals, Inc. 2015, 25: P.199–205.
- 6 Lalit Maurya, Prasant Kumar Mahapatra, Amod Kumar. A social spider optimized image fusion approach for contrast enhancement and brightness preservation, Elsevier Applied soft computing 2017, P.575–592.
- 7 Se EunKim, JongJuJeon, IlKyuEom. Image contrast enhancement using entropy scaling in wavelet domain, Elsevier signal Processing 2016, P. 1-11.
- 8 Huang Lidong, Zhao Wei ✉, Wang Jun, Sun Zebin, Combination of contrast limited adaptive histogram equalisation and discrete wavelet transform for image enhancement, IET Image Processing Journals 2015, Vol. 9, Iss. 10, P. 908–915.
- 9 Mayank Tiwari, Bhupendra Gupta, Manish Shrivastava, Highspeed quantile-based histogram equalisation for brightness preservation and contrast enhancement, IET Image Process 2015, 9(1), P. 80–89.
- 10 Zhao Wei, Huang Lidong, Wang Jun, Sun Zebin, Entropy maximisation histogram modification scheme for image enhancement, IET Image Process 2015, 9(3), P. 226–235.
- 11 Gonzalez R., Woods R. Digital image processing.- 3rd edition, revised and supplemented. - Moscow: Technosphere, 2012. - 1104 p.
- 12 Gonzalez R., Woods R., Eddins S. Digital image processing in the Matlab environment. - Moscow: Technosphere, 2006. - 616с.
- 13 Starovoitov F.V., Parameters of the distribution curve of local estimates as a measure of image quality / F. V. Starovoitov, V. V. Starovoitov // System analysis and applied Informatics. – 2018. – No. 3. – pp. 26-41.
- 14 Ma J., Fan X., Yang S.X., Zhang X.J, Zhu X. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based Fusion for Underwater Image Enhancement // Preprints [Электронный ресурс] 2017, URL: <https://www.preprints.org/manuscript/201703.0086/v1>
- 15 <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>.
- 16 Omarova G., Starovoitov V. Contrast enhancement of X-ray images based on gamma correction. "Physical and mathematical sciences". 77, 1 (Apr. 2022). DOI:<https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.32> .

МРНТИ 004.852
УДК 28.23.25

<https://doi.org/10.51889/2981.2022.83.29.026>

С.З. Сапакова¹

¹Халықаралық Ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: sapakovasz@gmail.com

АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ ЖЫЛЖЫМАЙТЫН МҮЛІК НАРЫҒЫНДА МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Бұл жұмыста Алматы қаласының Әуезов және Бостандық аудандары бойынша жылжымайтын мүлік нарығы қарастырылды. Бұл нарық әлемдік экономиканың маңызды саласы екені белгілі. Қазақстанда тұрғын үй жылжымайтын мүлік нарығы көптеген ерекшеліктерімен сипатталатын жүз мыңдаған пәтерлерден тұратын күрделі құрылым болып табылады. Бұл ретте нарықтағы кез келген өзгерістер алыпсатарлыққа және жылжымайтын мүлік бағасының әдейі көтерілуіне себеп болуы мүмкін. Сондықтан пәтердің нақты құны қандай және қай жерде қымбаттырақ екенін түсіну маңызды. Зерттеу барысында машиналық оқыту әдістерін пайдалана отырып, жылжымайтын мүліктің құнын болжау моделін құру қарастырылды. Жұмыста машиналық оқытудың бірнеше алгоритмі: Linear Regression, Lasso, Ridge, Decision Tree Regression, Random Forest Regression, SVM (Gaussian kernel) қолданылды, олардың жұмыс нәтижелері мен дәлдіктері көрсетілді.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, жылжымайтын мүлік, мәліметтерді өңдеу, регрессиялық талдау, алгоритм.

Аннотация

С.З. Сапакова¹

¹Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА РЫНКЕ НЕДВИЖИМОСТИ АЛМАТЫ

В данной работе был рассмотрен рынок недвижимости в Ауэзовском и Бостандыкском районах города Алматы. Известно, что этот рынок является важным сектором мировой экономики. Рынок жилой недвижимости Казахстана представляет собой сложную структуру, состоящую из сотен тысяч квартир, характеризующихся многими особенностями. В то же время любые изменения на рынке могут стать причиной спекуляций и преднамеренного повышения цен на недвижимость. Поэтому важно понимать, какова реальная стоимость квартиры и где она дороже. В ходе исследования было рассмотрено создание модели прогнозирования стоимости недвижимости с использованием методов машинного обучения. В работе использовались несколько алгоритмов машинного обучения: Linear Regression, Lasso, Ridge, Decision Tree Regression, Random Forest Regression, SVM (Gaussian kernel), показаны результаты их работы и точность.

Ключевые слова: машинное обучение, недвижимость, обработка данных, регрессионный анализ, алгоритм.

Abstract

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN THE ALMATY REAL ESTATE MARKET

Sapakova S.Z.¹

¹International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan

In this work, the real estate market in Auezov and Bostandyk districts of Almaty city was considered. It is known that this market is an important sector of the world economy. The residential real estate market in Kazakhstan is a complex structure consisting of hundreds of thousands of apartments characterized by many features. At the same time, any changes in the market can cause speculation and deliberate increase in real estate prices. Therefore, it is important to understand what the real cost of the apartment is and where it is more expensive. In the course of the study, the creation of a real estate value prediction model was considered using machine learning methods. Several algorithms of machine learning: Linear Regression, Lasso, Ridge, Decision Tree Regression, Random Forest Regression, SVM (Gaussian kernel) were used in the work, their work results and accuracy were shown.

Keywords: machine learning, real estate, data processing, regression analysis, algorithm.

Кіріспе

Қазіргі уақыттағы дүниежүзіндегі саяси және экономикалық жағдайларды ескере отырып, көптеген әлеуметтік маңызы бар салалардың қай бағытта дамидыны болжау оңай емес. Қазақстанның көптеген маңызды секторлары мұнай бағасынан тәуелді және еліміздің батыс аймағында сол саланың ірі өндіру компаниялары шоғырланған. Бұл компаниялардағы көптеген жұмысшылар вахталық әдіспен қызмет атқарып, Қазақстанның түкпір-түкпірінен келеді. Соған байланысты, көптеген ірі өнеркәсіптік кәсіпорындарда жұмысшыларды жұмысқа қабылдаудың, сондай-ақ оларды көтермелеудің мотивациялық ынталандыруларының бірі тұрғын жылжымайтын мүлікті уақытша немесе тұрақты пайдалануға беру болып табылады. Бұл нарықтағы әртүрлі ұсыныстардың ішінен жылжымайтын мүліктің ең жақсы нұсқасын таңдау мәселесін тудырады. Көп жағдайда өзіндік құнын бағалау мүмкін емес, сырттан мамандар тартылады, бұл ақша мен уақыттың шығынына әкеледі. Жылжымайтын мүліктің құнына әсер ететін әртүрлі параметрлері бар. Баға белгілеу процесінің өзі күрделі, сондықтан пәтердің оңтайлы құнын түсіну әрқашан мүмкін емес. Пәтердің шамамен алынған құнын білу сатуды тездетеді және тұрғын үйді сатып алу кезінде шығындарды азайтады. Қазіргі уақытта пәтер құнын бағалаудың бірнеше әдістері ұсынылған. Мысалы, [1] мақалада авторлар жасанды нейрондық желіні пайдалана отырып, гедоникалық модельді болжау дәлдігін салыстыру мақсатын қойды. Авторлар Жаңа Зеландиядағы Крайстчерч қаласындағы 200 үйді кездейсоқ таңдаған. Құрылыс үлгілері үшін үйдің өлшемі, үйдің жылы, үй түрі, жатын бөлмелердің саны, ванна бөлмесінің саны, гараждар саны, үй айналасындағы қолайлы орналасуы және географиялық орны ескерілген. Гедоникалық модель болжам бойынша сұралатын баға үшін шешуші болатын үйдің атрибуттарымен байқалатын оның бағасының регрессиясын қамтиды. Бұл келесі мақалада авторлар жартылай журнал моделін пайдаланды, өйткені баға өте сезімтал және тұрақсыз компонент [2-4] болып табылады. Нейрондық желінің моделі гедоникалық модельді құруда қолданылатын процеске ұқсас [5-8]. Жасанды нейрондық желінің оңтайлы моделін анықтау үшін сынақ және қателік әдісі қолданылады [9-11]. Нәтижесінде нейрондық желі моделі гедонистік модельге қарағанда жақсырақ болды. Дегенмен, екі модель де айнымалы орындардың тұрғын үй бағасының маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Қарастырылған [1] пен [3] айырмашылығы, мақала [3] орналасу мен жалға алу арасындағы сызықтық қатынасты зерттеді. Авторлар Орегон штатындағы Портленд қаласының пәтерлерін зерттей отырып, өз зерттеулерін жүргізді. Модельді құрастырмас бұрын авторлар 600 астам пәтерлерге бақылау жүргізген. Нәтижелер көрсеткендей, қала орталығынан 10 км қашықтықта орналасқан сайын жалға алу құны төмендейді. Алайда, содан кейін 7 км жалға алу бағасы көтеріледі. Бұл қала маңындағы тұрғындарды, қала орталығын айналып өтетін айналма жолға көшірумен байланысты. Содан кейін пәтерлер айналма жолдан және қала орталығынан алыстаған сайын жалдау құны тағы да өседі. Пәтерлер бойынша жиналған деректерге сәйкес зерттеушілер үлгіні құрастырды:

$$R_i = \beta X_i + \gamma_1 DCC_i + \gamma_2 DCC_i^2 + \gamma_3 DCC_i^3 + \gamma_4 DH_i + \gamma_5 DH_i^2 + \gamma_6 DI_i + \gamma_7 DI_i^2 \quad (1)$$

мұндағы R_i – ай сайынғы пәтерді жалдау, X_i – пәтер атрибуттарының векторы, β – осы пәтер атрибуттары үшін жасырын баға шектеулерінің векторы, DC_i – қала орталығынан пәтерге дейінгі қашықтық, DH_i – жақын маңдағы тас жолдан пәтерге дейінгі қашықтық, DI_i – екі тас жолдың ең жақын қиылысынан пәтерге дейінгі қашықтық, e – стохастикалық қате. Алынған модель (1) орталықтан қашықтығы мен Портленд қаласындағы пәтердің жалдау құны арасындағы байланысты жақсы сипаттады. Сондай-ақ болжамның әртүрлі әдістерін қолдана отырып, жылжымайтын мүлік құнының бағасын болжауға болады. Мысалы, [8-15] мақалаларында авторлар логистикалық регрессия, SVM, Lasso регрессиясы, шешім ағашының регрессиясы, кездейсоқ орман регрессиясы және нейрондық желілер сияқты алгоритмдерді пайдаланады. Осы зерттеулер үшін жылжымайтын мүлікті сату бағасы үйдің орналасқан жері, үйдің материалы, пәтердің ауданы, үйдің жылы (жасы), бөлмелер саны және т.б. сияқты факторлармен анықталды. Осылайша, пәтер құнына оның ауданы немесе бөлмелер саны сияқты ішкі параметрлері ғана емес, сонымен қатар пәтердің орналасуын сипаттайтын сыртқы параметрлер де әсер етеді.

Мәліметтер мен әдістер. Қарастырылатын мәселе

Жұмыстың мақсаты Алматы қаласындағы жылжымайтын мүліктердің сатылым бағасына болжамдық үлгі алу. Үлгілерге қажетті мәліметтер krisha.kz веб-сайтындағы пәтерді сату туралы хабарландырулар болып табылады. Қарастырылған жұмыста Әуезов және Бостандық аудандары

бойынша пәтерлер туралы мәліметтер толық талданып, жинақталды. Сатылымдағы пәтерлердің артық бағаланбағанын анықтау мақсатында олардың сметалық құнын үлгі арқылы құрастыру қажет. Бұл баға көптеген компанияларға пәтерлердің нарықтағы анық бағасын көрсетеді.

Деректер

Зерттеу барысындағы деректер жоғарыда айтылғандай krisha.kz және olx.kz сайттарынан қолданылды (1-суретте көрсетілгендей). Алынған мәліметтердің сапасын арттыру үшін жылжымайтын мүлік құнына шектеу енгізілді - 100 миллион тенгеден аспайды. Ең минимальді баға 1 млн және максимальді баға 100 млн. Бұл шектеу қымбатырақ пәтерлердің бағасы сәл өзгеше ережелер мен тәуелділіктерге бағынады деген болжамға негізделген.

	title	price	Город	Дом	Этаж	Площадь	Состояние	Санузел	Балкон	балкон остеклён	...	Интернет	M
0	1-комнатная квартира, 32...	23000000	Алматы, Бостандықский р-н	кирпичный, 1982 г.п.	4 из 5	32 м²	хорошее	совмещенный	балкон	да	...	ADSL	меблир
1	3-комнатная квартира, 93...	71000000	Алматы, Бостандықский р-н	монолитный, 2021 г.п.	11 из 19	93 м²	требуется ремонта	2 с/у и более	NaN	NaN	...	NaN	
2	3-комнатная квартира, 12...	65000000	Алматы, Бостандықский р-н	кирпичный, 2009 г.п.	8 из 12	123 м², кухня — 15.6 м²	хорошее	2 с/у и более	NaN	NaN	...	NaN	
3	5-комнатная квартира, 28...	181097631	Алматы, Бостандықский р-н	монолитный, 2016 г.п.	NaN	289.9 м²	NaN	2 с/у и более	NaN	NaN	...	NaN	
4	3-комнатная квартира, 88...	75000000	Алматы, Бостандықский р-н	монолитный, 2015 г.п.	14 из 14	88 м²	хорошее	2 с/у и более	несколько балконов или лоджий	NaN	...	оптика	

Сурет 1. Өңделмеген мәліметтер жиыны

Қарастырылатын параметрлер: бөлмелер саны, студия, жалпы алаңы, қабаты, үйдегі қабаттар саны, тұрақ, жөндеу түрі, балкондар саны, ванна түрі, лифттер саны, салынған жылы, үйдің апаттылығы, едендердің түрі, қабырға материалы, шаршысы, бөлмелер саны. Алынған деректер қорының жалпы көлемі 3882 жазбаны құрайды және 23 бағаннан тұрады.

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	title	3645 non-null	object
1	price	3645 non-null	int32
2	Состояние	3645 non-null	int32
3	Санузел	3645 non-null	int32
4	Балкон	3645 non-null	int32
5	Балкон остеклён	3645 non-null	int32
6	Дверь	3645 non-null	int32
7	Телефон	3645 non-null	int32
8	Интернет	3645 non-null	int32
9	Мебель	3645 non-null	int32
10	Пол	3645 non-null	int32
11	Безопасность	3645 non-null	int32
12	В прив. общжитии	3645 non-null	int32
13	description	3645 non-null	int32
14	Жилой комплекс	3645 non-null	int32
15	Парковка	3645 non-null	int32
16	Возможен обмен	3645 non-null	int32
17	district	3645 non-null	int32
18	year	3645 non-null	int32
19	type	3645 non-null	int32
20	real_floor	3645 non-null	int32
21	from_floor	3645 non-null	int32
22	area	3645 non-null	float64
23	ceiling	3645 non-null	float64

dtypes: float64(2), int32(21), object(1)
memory usage: 412.9+ KB

Сурет 2. Жылжымайтын мүлік бағасына әсер ететін факторлар

Жалпы нәтижеге елеусіз мәндерді қосатын факторлар моделдеу барысында алынып тасталады және қабылданбайды. Деректер жинағы екі бөлікке бөлінеді - оқу жинағы және сынақ жинағы. Машинамен оқытудың әртүрлі үлгілері оқу жинағының көмегімен оқытылады. Содан кейін сынақ жинағы машиналық оқытудың барлық үлгілерінің өнімділігін тексеру үшін пайдаланылады. Дәлдігі есептеледі және барлық үлгілердің орташа квадраттық қатесі есептеледі. Соңғы қадамда үй бағасын болжау үшін ең жоғары дәлдік ұпайы және ең аз RMSE (Root Mean Square Error) мәні бар модель пайдаланылады.

Алматы қаласы бойынша пәтерлер бағасының өзгеру динамикасын зерттеуде, сайттан тікелей алынған мәліметтерден байқайтынымыз, хабарландыруларда жылжымайтын мүлікке қатысты көптеген параметрлер көрсетілген. Көріп отырғанымыздай бұл мәліметтер сандық және сапалық категориялардан болып келеді. Ары қарай мәліметтерді өңдеу кезеңінде барлық сипаттамалардың мәні сандық форматқа келтіріледі. Жалпы бағаның құраушылар саны -23, енді осылардың ішінен бағаға ықпал ететін маңызды факторларды анықтауда корреляциялық матрица есептеледі, оның нәтижесі 3-суретте көрсетілді.

	price	Состояние	Санузел	Балкон	Балкон остеклён	Дверь	Телефон	Интернет	Мебель	Пол	...	Жилой комплекс	Парковка
price	1.000000	0.221730	-0.527768	0.141388	0.035776	-0.071543	0.051320	0.036315	-0.037936	0.031784	...	-0.448827	-0.331374
Состояние	0.221730	1.000000	0.028789	0.223104	0.179126	0.088353	0.177957	0.180292	0.111717	0.143500	...	-0.136608	0.062555
Санузел	-0.527768	0.028789	1.000000	0.087313	0.124311	0.192776	0.085908	0.131490	0.168507	0.124857	...	0.196075	0.223865
Балкон	0.141388	0.223104	0.087313	1.000000	0.632696	0.260000	0.152759	0.264745	0.217277	0.387116	...	-0.091127	0.119352
Балкон остеклён	0.035776	0.179126	0.124311	0.632696	1.000000	0.363932	0.186267	0.336133	0.161314	0.381137	...	-0.062165	0.182100
Дверь	-0.071543	0.088353	0.192776	0.260000	0.363932	1.000000	0.275215	0.380632	0.240325	0.394572	...	0.018578	0.325904
Телефон	0.051320	0.177957	0.085908	0.152759	0.186267	0.275215	1.000000	0.519618	0.181616	0.224823	...	-0.093277	0.184395
Интернет	0.036315	0.180292	0.131490	0.264745	0.336133	0.380632	0.519618	1.000000	0.220425	0.383341	...	-0.099818	0.242926
Мебель	-0.037936	0.111717	0.168507	0.217277	0.161314	0.240325	0.181616	0.220425	1.000000	0.346258	...	-0.047757	0.148675
Пол	0.031784	0.143500	0.124857	0.387116	0.381137	0.394572	0.224823	0.383341	0.346258	1.000000	...	-0.154616	0.230483
Безопасность	0.129415	0.218839	0.076493	0.306994	0.342046	0.356496	0.349977	0.355760	0.154075	0.283388	...	-0.102048	0.204185
В прив. общежитии	0.278996	0.250998	-0.176580	0.095095	0.077782	0.130853	0.087719	0.116741	0.072741	0.152006	...	-0.252591	0.093263
description	-0.059592	-0.091501	-0.033302	-0.176581	-0.148953	-0.077597	-0.002695	-0.088878	-0.055144	-0.161407	...	0.016985	-0.058972
Жилой комплекс	-0.448827	-0.136608	0.196075	-0.091127	-0.062165	0.018578	-0.093277	-0.099818	-0.047757	-0.154616	...	1.000000	0.355036
Парковка	-0.331374	0.062555	0.223865	0.119352	0.182100	0.325904	0.184395	0.242926	0.148675	0.230483	...	0.355036	1.000000
Возможен обмен	0.039875	-0.002999	-0.019874	0.073073	0.156365	0.125613	0.026036	0.086413	-0.220808	0.137885	...	-0.044134	0.076179
district	0.406669	0.101709	-0.148933	0.159318	0.106620	0.030509	0.069806	0.110590	0.035183	0.151419	...	-0.367713	-0.137784
year	0.568147	0.210257	-0.280240	0.177562	0.087062	-0.035297	0.091769	0.112013	0.030303	0.145499	...	-0.643684	-0.373098
type	-0.233529	-0.074786	0.137121	-0.049098	-0.034738	0.010021	-0.048325	-0.050040	0.032070	-0.025996	...	0.199689	0.141589
real_floor	0.302367	0.013765	-0.170055	0.020461	-0.040141	-0.085797	0.003843	0.002293	-0.054502	-0.003496	...	-0.237945	-0.340651
from_floor	0.433502	0.005194	-0.196822	0.048186	-0.032661	-0.129228	0.001407	-0.006768	-0.073769	-0.005395	...	-0.379726	-0.460278
area	0.846378	0.157910	-0.535190	0.088792	0.008066	-0.040140	0.047107	0.010173	-0.013351	0.023618	...	-0.242113	-0.232077
ceiling	0.288372	0.079969	-0.193381	-0.054010	-0.085816	-0.139607	-0.068041	-0.066438	-0.051515	-0.118096	...	-0.398736	-0.335056

Сурет 3. Пирсон әдісімен есептелген корреляциялық матрица

Нәтижені талдап артық факторларды алып тастап, машиналық оқыту алгоритмдерін қолданамыз. Сонымен 4-суретте баға тәуелді факторымен ең жоғары корреляциялық коэффициентке ие сипаттамалар тізіміне шолу жасалған.

```
high_corr_var
[('price', 'Санузел'),
 ('price', 'Жилой комплекс'),
 ('price', 'district'),
 ('price', 'year'),
 ('price', 'from_floor'),
 ('price', 'area'),
 ('Санузел', 'area'),
 ('Балкон', 'Балкон остеклён'),
 ('Телефон', 'Интернет'),
 ('Жилой комплекс', 'year'),
 ('Парковка', 'from_floor'),
 ('year', 'from_floor'),
 ('year', 'area'),
 ('real_floor', 'from_floor')]
```

Сурет 4. Баға тәуелді факторымен ең жоғары корреляциялық коэффициентке ие сипаттамалар

Сонымен, бізде келесі

```
x = data.loc[:, ['Санузел', 'жилой комплекс', 'district', 'year', 'from_floor', 'area']]
y = data.iloc[:, 1]
print(x.shape)
print(y.shape)

(3645, 6)
(3645,)
```

Сурет 5. Корреляциялық талдаудан кейін қалған факторлар

Жылжымайтын мүлік бағасына болжамдар алу барысында осы 5-суреттегі факторларды ғана қолданамыз, байқағанымыздай 23 сипаттаушы хабарландыру сайтында сатып алушыларға толық ақпарат беру мақсатында қолданылғанымен, белгілі бір алгоритмдер кезінде ықпалы жоқ болғандықтан оларды датафреймнен алып тастаймыз.

Әдістер

Функцияларды таңдау мүмкіндіктерді рекурсивті жою әдісі арқылы орындалды, мұнда регрессия мәселесін шешу кездейсоқ орман машинасын оқыту алгоритмі арқылы жүзеге асырылды және жоталық және сызықтық регрессия әдістері. Үздік үлгіні анықтау критерийі RMSE (орташа квадрат қатесінің түбірі) формуламен анықталатын кросс-валидация болды:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2}{n}} \quad (2)$$

мұндағы y_{ij} - i -ші үлгінің валидация жиынының j -ші нүктесіндегі жауаптың мәні; \hat{y}_{ij} - j -ші нүктедегі i -ші үлгінің шығуы; k - қарсы тексеру блоктарының саны (10 блок); m - элементтер саны валидация үлгісінің; n - бастапқы үлгінің өлшемі. Тордағы іздеу арқылы оңтайлы гиперпараметрлерді таңдағаннан кейін элементтік қарсы тексерудің MAE (орташа абсолютті қате) мәні қатені анықтау үшін есептелді, өлшем бірлік теңгемен.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (3)$$

мұнда y_i - i -ші модель үшін басқару деректер жиынының жауап мәні; \hat{y}_i - i -ші үлгінің шығысы бақылау сынама нүктесі; n - бастапқы үлгінің өлшемі.

1. Қарапайым сызықтық регрессия

Қарапайым сызықтық регрессияда біз бір айнымалының бағалауын екінші айнымалының бағалауы арқылы болжаймыз. Регрессия сызығының формуласы

$$Y' = bX + A,$$

мұндағы, Y' - болжамды бағалау, яғни тәуелді айнымалы, x - тәуелсіз айнымалы, b - түзудің еңісі және A - Y -пен қиылысу нүктесі. Бір ғана x предикторлы айнымалысы болғанда болжау әдісі қарапайым сызықтық регрессия деп аталады.

Ең кіші квадраттар (OLS) регрессиясы жиі тұрақсыз болуы мүмкін, яғни жаттығу деректеріне қатты тәуелді болады, бұл әдетте шамадан қайта оқуға деген тенденцияны көрсетеді. Регуляризация мұндай артық орнатуды болдырмауға көмектеседі - қалаған параметрлерге қосымша шектеулер енгізуден тұратын жалпы әдіс, бұл модельдің шамадан тыс күрделілігіне жол бермейді. Процедурамың мағынасы b коэффициенттерінің векторын баптау барысында олар абсолютті мәнде ең кіші квадраттарды оңтайландыруға қарағанда біршама кішірек болатындай етіп «келтіру» болып табылады.

2. Жоталық регрессия (Ridge Regression)

Жотаның регрессиясы немесе жоталық регрессия өлшемділікті тексеру әдістерінің бірі болып табылады. Оны тәуелсіз айнымалылар бір-бірімен корреляциялану нәтижесінде көп айнымалы

сызықтық регрессия коэффициенттерінің бағалауларын тұрақсыз ететін артық деректерді азайтуда қолданылады (яғни мультиколлинеарлық орын алғанда).

$$\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^M \left(y_i - \sum_{j=0}^p w_j \times x_{ij} \right)^2 + \lambda \sum_{j=0}^p w_j^2. \quad (4)$$

Қарапайым тілмен айтқанда,

$$\text{Ridge R} = \text{loss} + \lambda \|w\|^2,$$

мұнда λ тұрақты,

$$\|w\|^2 = w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 \dots,$$

мұнда w – коэффициент векторы. Сонымен, ридж-регрессиясы коэффициенттерге (w) шектеулер қояды. Айыппұл термині (лямбда) коэффициенттерді реттейді, егер коэффициенттер үлкен мән қабылдаса, айыппұл салынады. Осы сызықтар бойымен жотаның қайталануы коэффициенттерді қысқартады және бұл модельдің болжаусыздығы мен көп коллинеарлылығына ықпал етеді.

3. Лассо регрессия әдісі (LASSO, ең аз абсолютті қысқарту және таңдау операторы) модельді оңтайландыру функционалдығына қосымша реттеу қосылғышын енгізуден тұрады, бұл көбінесе орнықты шешім алуға мүмкіндік береді. Предикторлардың параметрлерін бағалаудағы квадраттық катені азайту шарты келесі формуламен өрнектеледі:

$$\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^M \left(y_i - \sum_{j=0}^p w_j \times x_{ij} \right)^2 + \lambda \sum_{j=0}^p |w_j|. \quad (5)$$

Қарапайым тілмен айтқанда,

$$\text{Lasso} = \text{loss} + \lambda \|w\|.$$

Көріп отырғанымыздай Лассо регрессия коэффициенттері Ridge сияқты шектеулерге бағынады.

Бұл жағдайда регрессия қатесі мен $|w|$ коэффициенттерінің абсолютті мәндерінің қосындысы ретінде көрсетілген пайдаланылатын мүмкіндіктер кеңістігінің өлшемі арасында белгілі бір ымыраға қол жеткізіледі. Минимизациялау барысында кейбір коэффициенттер нөлге тең болады, бұл шын мәніндегі ақпараттық белгілердің таңдалғандығын көрсетеді. Регуляризация параметрінің мәні $\lambda=0$ болғанда, лассо регрессиясы кәдімгі ең кіші квадраттар әдісіне келтіріледі, ал λ өскен сайын генерацияланған модель нөлдік модельге айналғанша көбірек «ықшамдала» береді. λ оңтайлы мәні кросс-валидация көмегімен табылады, яғни ол модельдің \hat{y}_i өзін құруға қатыспаған бақылаулар бойынша минималды болжам қатесіне сәйкес келеді.

4. SVM векторлық регрессияны қолдау

SVM – классификациялау алгоритмдері үшін кеңінен қолданылатын бақыланатын оқыту алгоритмі. SVM сызықты түрде бөлінетін деректер үшін ғана қолданылады. Сызықты емес деректерде ядроның функциялары қолданылады. SVM мәліметтерді екі классқа «гипержазықтық» көмегімен жіктейді. Гипержазықтық берілген деректерді класқа бөлу үшін жоғары өлшемді кеңістіктегі ең үлкен мәнге ие болуы керек. Екі класс арасындағы айырмашылық олардағы ең жақын деректер нүктелері арасындағы ең үлкен қашықтықты білдіреді. Алгоритм осы параллель гипержазықтықтар арасындағы айырмашылық немесе қашықтық неғұрлым көп болса, классификатордың орташа қателігі соғұрлым аз болады деген болжамға негізделген. (1) теңдеу келесідей көрсетілген (SVR туралы егжей-тегжейлі талқылау үшін Basak et al., 2007; Mu et al., 2014).

$$\min \frac{1}{2} w^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*).$$

$$\begin{cases} y_i - f(x_i, w) \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ f(x_i, w) - y_i \leq \varepsilon + \xi_i \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (6)$$

мұндағы w^2 – модель күрделілігі; ε – сезімтал емес жоғалту функциясы; ξ_i – i деректер нүктесінің қате жіктелу дәрежесін өлшейтін бос айнымалы; C – мақсат функциясындағы шығын параметрі. ξ_i – нөл емес және ол C шығын параметріне көбейтіледі.

Оңтайландыруды қосарлы есептерге айналдыруға болады және шешімдер (2) теңдеу ретінде көрсетіледі.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n_{SV}} (\alpha_i + \alpha_i^*) K(x_i, x) s. t. \begin{cases} 0 \leq \alpha_i^* \leq C \\ 0 \leq \alpha_i \leq C \end{cases} \quad (7)$$

мұндағы n_{SV} – тірек векторларының саны; $K(x_i, x)$ – (3) теңдеуде көрсетілгендей ядро функциясы.

$$K(x_i, x) = \sum_{j=1}^m g_j(x) g_j(x_i) \quad (8)$$

Біз SVM-ді бағалағанда, біздің деректер жинағымыз $k=5$ тең ішкі жиындарға бөлінеді, мұнда әрбір қатпар белгілі бір уақытта сынақ жинағы ретінде пайдаланылады. Әрбір итерация R^2 бағасын береді, содан кейін біз моделіміздің жалпы дәлдігін анықтау үшін өтінімде олардың орташа мәнін есептей аламыз.

5. Decision tree (Шешім ағашы) – адамның болжау есептерін шешуіне ұқсастыра отырып негізделген бақыланатын оқу мәселесінің алгоритмі. Жалпы жағдайда, бұл жапырақты емес шыңдардағы (түйіндер) шешім ережелері және жапырақ төбелеріндегі мақсаттық функция туралы кейбір қорытынды (болжау) бар k -өлшемді ағаш. Шешім ережесі – қарастырылып отырған нысанды еншілес шыңдардың қайсысына орналастыру керектігін анықтауға мүмкіндік беретін нысанның қандайда бір функциясы. Жапырақ төбелерінде әртүрлі объектілерді орналастыруға болады: сол жерге жеткен объектіге тағайындалуы керек класс (жіктеу мәселесінде), класс ықтималдықтары (жіктеу мәселесінде), мақсат функциясының тікелей мәні (регрессия мәселесі). Кездейсоқ орман регрессиясы айнымалыларды кездейсоқ таңдау негізінде көптеген шешімдер ағашын дамытады. Ол көптеген ағаштарға негізделген тәуелді айнымалылар класын береді.

1. Деректерді кездейсоқ таңдау:- original data= subset 1+subset 2+subset 3+.....

Ағаштар деректерді, сондай-ақ айнымалыларды кездейсоқ таңдауға негізделгендіктен, бұл кездейсоқ ағашты құрайды. Осындай көптеген кездейсоқ ағаштар кездейсоқ орманға әкеледі.

Модельдер және нәтижелер

Регрессиялық модельдер үшін біз келесі мәселені шешуге тырысамыз: үйді сипаттайтын факторлардың өңделген тізімін ескере отырып, біз оның ықтимал сатылу бағасын болжағымыз келеді. Сызықтық регрессия – регрессия есептері негізгі модельдің табиғи таңдауы болып келеді. Сондықтан біз алдымен 23 факторы (сипаттамасы) және 3882 жаттығу үлгілерін пайдаланып, барлық мүмкіндіктерді қамтитын сызықтық регрессияны іске қосамыз. Одан кейін моделді біздің сынақ деректеріміздегі мүмкіндіктер бойынша үйлердің сатылу бағасын болжауда пайдаланып және оның нәтижесін сынақ деректер жинағында берілген үйлердің нақты сату бағасымен салыстырамыз.

Модель өнімділігі болжамды нәтижелер мен нақты нәтижелердің дәлдік ұпайымен өлшенді. Біздің базалық үлгіміз детерминация коэффициенті 83,72 % құрады.

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression, Ridge, BayesianRidge

model = DecisionTreeRegressor(random_state=1)
model.fit(X_train, y_train)
prediction = model.predict(X_test)

print('Train accuracy: ', model.score(X_train, y_train))
print('Test accuracy: ', model.score(X_test, y_test))

Train accuracy: 0.9984660574563022
Test accuracy: 0.8546135389248579
```

Сурет 6. Decision Tree Regression алгоритмінің дәлдігі

```
test_pred = lin_reg.predict(X_test)
train_pred = lin_reg.predict(X_train)

print('Test set evaluation:\n_____')
print_evaluate(y_test, test_pred)
print('Train set evaluation:\n_____')
print_evaluate(y_train, train_pred)

results_df = pd.DataFrame(data=[["Linear Regression", *evaluate(y_test, test_pred), cross_val(LinReg(), y_train, X_train)],
                                columns=['Model', 'MAE', 'MSE', 'RMSE', 'R2 Square', "Cross Validation"]])
```

Сурет 7. Сызықты регрессияның метрикаларын есептеу

```
Test set evaluation:
-----
MAE: 5295765.736173671
MSE: 58752946753314.62
RMSE: 7665047.080958773
R2 Square 0.8372620206452704

Train set evaluation:
-----
MAE: 5349868.883522503
MSE: 62854764054601.945
RMSE: 7928099.649638742
R2 Square 0.8081434416634332
```

Сурет 8. Сызықты регрессияның метрикаларының берілген мәліметтер бойынша нәтижесі

Базалық үлгі ретінде сызықтық регрессия үлгісін пайдаланғаннан кейін, артық сәйкестікті азайту үшін сызықтық регрессия үлгілеріне қосымша реттеу параметрлерін қостық.

	true	prediction
0	98310000	99744400.0
1	95000000	80000000.0
2	92000000	91500000.0
3	92000000	91500000.0
4	91989990	91854917.0
...
724	10700000	10700000.0
725	10000000	11100000.0
726	9500000	10500000.0
727	9500000	11300000.0
728	9300000	10300000.0

729 rows × 2 columns

Сурет 9. Бағаның болжамды және эмпирикалық мәндері

Жалпы жоғарыдағы 8-суреттен R^2 детерминация коэффициенттерінің мәні мақсатты айнымалыдағы дисперсияның қаншалықты біздің үлгімен түсіндірілетінін көрсетеді. Lasso алгоритмінің детерминация коэффициенті 82,34 % құрады, бұл біздің базалық үлгімізден төмен. Лассо реттегішінен басқа Ridge-де 83,68 дәлдік алынды. Ал, сызықты регрессия мен Elastic net регрессияларының детерминация коэффициенттері шамалас болып тұр. Гаусс ядросы бар қолдау векторлық регрессия (SVM) да қарастырылып отырған факторларға бағытталды, бірақ өте төменгі нәтижелерді көрсетті.

	Model	MAE	MSE	RMSE	R2 Square
0	Linear Regression	5.295766e+06	5.875295e+13	7.665047e+06	0.837262
1	Lasso Regression	5.568230e+06	6.375224e+13	7.984500e+06	0.823415
2	Elastic Net Regression	5.282822e+06	5.874988e+13	7.664847e+06	0.837271
3	Random Forest Regressor	3.356879e+06	3.084995e+13	5.554273e+06	0.914550
4	SVM Regressor	1.291767e+07	3.387686e+14	1.840567e+07	0.061655
5	Ridge Regression	5.261640e+06	5.888893e+13	7.673912e+06	0.836885
6	Decision Tree	3.970189e+06	5.248856e+13	7.244899e+06	0.854614

Сурет 10. Қолданылған алгоритмдер бойынша қорытынды нәтижелер

Біздің кездейсоқ орман регрессия моделінің коэффициенті 91,45 % дәлдікке ие, бұл біздің базалық үлгіден де жақсырақ екенін көреміз. Соңында біз 85,46 дәлдік ұпайын берген деректер жиынына шешім ағашының жіктеуішін қолдандық. Тұтастай алғанда, кездейсоқ орман классификаторы мен шешімдер ағашы модельдері негізгі сызықтық регрессия үлгісінен жақсырақ жұмыс істеді. Ең жоғары дәлдік көрсеткішін кездейсоқ орман классификаторы көрсетті. Сонымен, таңдалған факторлар негізінде құрылған тұрғын үй бағасын болжауға арналған үлгі алынған нәтижелер бойынша толықтай тәуелді және болашақта басқа аудандар немесе қалалар үшін қолдана аламыз.

Қорытынды

Ұсынылған жұмыс барысында құрастырылған модельдер жылжымайтын мүліктің ұсыныс бағасының аталған факторларға тәуелділігі Алматы қаласының Әуезов және Бостандық аудандарындағы пәтер нарығының ағымдағы жағдайын сипаттайды. Пәтер бағасын болжауға арналған модельдер оның параметрлеріне байланысты жақсы статистикалық сипаттамаларға ие және алдағы уақытта кез келген аудан немесе Қазақстан қалалары үшін тұрғын үй құнының болжамды бағалауында пайдаланыла алады. Қолданылған моделдерің ерекшелігі болжамның дәлдігін әртүрлі алгоритмдерді қолдана отырып арттыру болып табылады, сонымен қатар сатушының пәтер құнын асыра бағалау кезінде және жарияланған хабарландырулардағы басқа да анық емес ақпараттар кездескенде мәліметтерді алдын-ала өңдеу кезінде ыңғайлы реттеп алуға болады. Бұл жұмыс барысында жылжымайтын мүлік нарығындағы тек пәтерге құнына қатысты ішкі факторларды қарастырдық, ал алдағы уақытта бағаға байланысты жергілікті жердің сыртқы факторларында ескере отырып жаңа моделдер құруға болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 De Aquino Afonso, B. K., Melo, L. C., de Oliveira, W. D. G., Da Silva Sousa, S. B., & Berton, L., (2020). *Housing prices prediction with a deep learning and random forest ensemble [Unpublished manuscript]*. *Anais do Encontro Nacional de Inteligencia Artificial e Computacion*.
- 2 Baldominos, A., Blanco, I., Moreno, A. J., Iturrarte, R., Bernárdez, Ó., & Afonso, C. (2018). *Identifying real estate opportunities using machine learning*. *Applied Sciences*, 8(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/app8112321>
- 3 Ahmad, M. W., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2017). *Trees vs Neurons: Comparison between random forest and ANN for high-resolution prediction of building energy consumption*. *Energy and Buildings*, 147(2386), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.038>
- 4 Einav, L., & Levin, J. (2014). *Economics in the age of big data*. *Science*, 346(6210), 715–721. <https://doi.org/10.1126/science.1243089>
- 5 Furey, T. S., Cristianini, N., Duffy, N., Bednarski, D. W., Schummer, M., & Haussler, D. (2000). *Support vector machine classification and validation of cancer tissue samples using microarray expression data*. *Bioinformatics*, 16(10), 906–914. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/16.10.906>
- 6 Golub, T. R., Slonim, D. K., Tamayo, P., Huard, C., Gaasenbeek, M., Mesirov, J. P., Coller, H., Loh, M. L., Downing, J. R., Caligiuri, M. A., Bloomfield, C. D., & Lander, E. S. (1999). *Molecular classification of cancer: Class discovery and class prediction by gene expression monitoring*. *Science*, 286(5439), 531–537. <https://doi.org/10.1126/science.286.5439.531>
- 7 Mukhlisshin, M. F., Saputra, R., & Wibowo, A., (2017) *Predicting house sale price using fuzzy logic, Artificial Neural Network and K-Nearest Neighbor*. *2017 1st International Conference on Informatics and Computational Sciences*, 171–176.

- 8 Muralidharan, S., Phiri, K., Sinha, S. K., & Kim, B. (2018). Analysis and prediction of real estate prices: A case of the Boston housing market. *Issues in Information Systems*, 19(2), 109–118. http://www.iaicis.org/iis/2018/2_iis_2018_109-118.pdf
- 9 Limsombunchai, V., Gan, C., & Lee, M. (2004). House price prediction: Hedonic price model vs. artificial neural network. *American Journal of Applied Sciences*, 1(3), 193–201. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2004.193.201>
- 10 Elaine M. Worzala, Margarita Lenk, Ana Silva (1995). An Exploration of Neural Networks and Its Application to Real Estate Valuation // *Journal of Real Estate Research; American Real Estate Society*. Vol. 10(2). P. 185–202.
- 11 Nils Kok, Eija-Leena Koponen, Carmen Adriana Martinez-Barbosa (2017). Big Data in Real Estate From Manual Appraisal to Automated Valuation // *The Journal of Portfolio Management*. 43(6). P. 202–211.
- 12 GeoPhy: [сайт]. URL: <https://geophy.com/> (дата обращения: 24 мая 2019 года).
- 13 Ясницкий В. Л. Нейросетевое моделирование в задаче массовой оценки жилой недвижимости города Перми // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 10-3. С. 650–653. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39274>.
- 14 Сурков Ф. А., Петкова Н. В., Суховский С. Ф. Нейросетевые методы анализа данных в оценке недвижимости // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2016. № 3. С. 38-45.
- 15 Арефьева Е. А., Костяев Д. С. Использование нейронных сетей для оценки рыночной стоимости недвижимости // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. Вып. 10. С. 177–184

References:

- 1 De Aquino Afonso, B. K., Melo, L. C., de Oliveira, W. D. G., Da Silva Sousa, S. B., & Berton, L., (2020). Housing prices prediction with a deep learning and random forest ensemble [Unpublished manuscript]. *Anais do Encontro Nacional de Inteligencia Artificial e Computacion*.
- 2 Baldominos, A., Blanco, I., Moreno, A. J., Iturrarte, R., Bernárdez, Ó., & Afonso, C. (2018). Identifying real estate opportunities using machine learning. *Applied Sciences*, 8(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/app8112321>
- 3 Ahmad, M. W., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2017). Trees vs Neurons: Comparison between random forest and ANN for high-resolution prediction of building energy consumption, ". *Energy and Buildings*, 147(2386), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.038>
- 4 Einav, L., & Levin, J. (2014). Economics in the age of big data. *Science*, 346(6210), 715–721. <https://doi.org/10.1126/science.1243089>
- 5 Furey, T. S., Cristianini, N., Duffy, N., Bednarski, D. W., Schummer, M., & Haussler, D. (2000). Support vector machine classification and validation of cancer tissue samples using microarray expression data. *Bioinformatics*, 16(10), 906–914. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/16.10.906>
- 6 Golub, T. R., Slonim, D. K., Tamayo, P., Huard, C., Gaasenbeek, M., Mesirov, J. P., Coller, H., Loh, M. L., Downing, J. R., Caligiuri, M. A., Bloomfield, C. D., & Lander, E. S. (1999). Molecular classification of cancer: Class discovery and class prediction by gene expression monitoring. *Science*, 286(5439), 531–537. <https://doi.org/10.1126/science.286.5439.531>
- 16 Mukhlishin, M. F., Saputra, R., & Wibowo, A., (2017) Predicting house sale price using fuzzy logic, *Artificial Neural Network and K-Nearest Neighbor*. 2017 1st International Conference on Informatics and Computational Sciences, 171–176.
- 7 Muralidharan, S., Phiri, K., Sinha, S. K., & Kim, B. (2018). Analysis and prediction of real estate prices: A case of the Boston housing market. *Issues in Information Systems*, 19(2), 109–118. http://www.iaicis.org/iis/2018/2_iis_2018_109-118.pdf
- 8 Limsombunchai, V., Gan, C., & Lee, M. (2004). House price prediction: Hedonic price model vs. artificial neural network. *American Journal of Applied Sciences*, 1(3), 193–201. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2004.193.201>
- 9 Elaine M. Worzala, Margarita Lenk, Ana Silva (1995). An Exploration of Neural Networks and Its Application to Real Estate Valuation // *Journal of Real Estate Research; American Real Estate Society*. Vol. 10(2). P. 185–202.
- 10 Nils Kok, Eija-Leena Koponen, Carmen Adriana Martinez-Barbosa (2017). Big Data in Real Estate From Manual Appraisal to Automated Valuation // *The Journal of Portfolio Management*. 43(6). P. 202–211.
- 11 GeoPhy: [site]. URL: <https://geophy.com/> (accessed 24 May 2019).
- 12 Yasniitsky V. L. Neural network modeling in the problem of mass assessment of residential real estate in the city of Perm // *Fundamental research*. 2015. No. 10-3. pp. 650–653. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39274>.
- 13 Surkov F. A., Petkova N. V., Sukhovskiy S. F. Neural network methods of data analysis in real estate valuation. *Izvestiya vuzov. North Caucasian region. Technical science*. 2016. No. 3. С. 38-45.
- 14 Arefieva E. A., Kostyaev D. S. The use of neural networks to assess the market value of real estate // *News of the Tula State University. Technical science*. 2017. Issue. 10. S. 177–184

МРНТИ 50.47.29
УДК 65.011.56

<https://doi.org/10.51889/5277.2022.55.81.027>

Ж.Е. Сейтбатталов^{1*}, С.К. Атанов¹, А.Е. Қызырқанов¹

¹ Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
*e-mail: sbtl.jeks@gmail.com

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Аннотация

Интеллектуальный промышленный сектор вырос в популярности благодаря широкому применению технологий, основанных на Интернете вещей. Революционный прогресс в технологиях сделал промышленное производство более безопасным, эффективным и надежным. Необходимость прогресса в умной промышленности обусловлена растущими требованиями к качеству продукции, спросом и уровню безопасности, надежности и снижению энергопотребления в процессе производства продукции, уменьшением сетевой нагрузки, трудоемкости вычислений и издержек. Наше исследование направлено на решение этих проблем путем развертывания web-приложения для мониторинга данных датчиков на Raspberry Pi. Raspberry Pi применяется в качестве центрального управляющего устройства, которое функционирует как экономически выгодная платформа для интеграции различных устройств и датчиков на промышленном предприятии с помощью Интернета. Мы предлагаем web-приложение для мониторинга промышленного производства на основе парадигмы граничных вычислений и Интернета вещей. Предлагаемое web-приложение обеспечивает дистанционный и автоматический мониторинг показателей температуры и влажности, обеспечивая безопасность и надежность производства.

Ключевые слова: интернет вещей, граничные вычисления, Raspberry Pi, датчики, температура, влажность.

Аңдатпа

Ж.Е. Сейтбатталов¹, С.К. Атанов¹, А.Е. Қызырқанов¹

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

ШЕКТЕРДІҢ ЕСЕПТІЛЕРІНЕ НЕГІЗГІНДЕГІ ДАТЧИКТЕРДІҢ НӘТИЖЕСІН БАҚЫЛАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІ

Интеллектуалды өнеркәсіп секторы заттардың интернетіне негізделген технологияларды кеңінен қолданудың арқасында танымал болды. Технологиядағы революциялық жетістіктер өнеркәсіптік өндірісті қауіпсіз, тиімдірек және сенімдірек етті. Smart индустриядағы ілгерілеу қажеттілігі сұраныстың өсуіне, өнім сапасына және қауіпсіздік деңгейіне қойылатын талаптарға, сенімділікке және өндіріс процесінде энергияны тұтынудың төмендеуіне, желі жүктемесін, есептеу күрделілігі мен шығындарды азайтуға байланысты. Біздің зерттеу Raspberry Pi құрылғысында сенсор деректерін бақылауға арналған веб-қосымшаны қолдану арқылы осы мәселелерді шешуге бағытталған. Raspberry Pi интернетті пайдаланатын өнеркәсіптік кәсіпорында әртүрлі құрылғылар мен сенсорларды біріктіру үшін үнемді платформа ретінде жұмыс істейтін орталық басқару құрылғысы ретінде пайдаланылады. Біз Internet of Things (IoT) және шеткі есептеу парадигмаларына негізделген өнеркәсіптік өндірісті бақылауға арналған үнемді веб-қосымшаны ұсынамыз. Ұсынылған веб-қосымшасы өндірістің қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін температура мен ылғалдылық көрсеткіштерін қашықтан және автоматты бақылауды қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: заттардың интернеті, жиек есептеулері, Raspberry Pi, сенсорлар, температура, ылғалдылық.

Abstract

AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING SENSOR VALUES BASED ON EDGE COMPUTING

Seitbatalov Z.E.¹, Atanov S.K.¹, Kyzyrkanov A.E.¹

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

The intelligent industrial sector has grown in popularity due to the widespread use of technologies based on the Internet of things. Revolutionary advances in technology have made industrial production safer, more efficient and more reliable. The need for progress in smart industry is due to growing demand, requirements for product quality and the level of security, reliability and reduced energy consumption in the production process, reducing network load, computational complexity and costs. Our research aims to address these issues by deploying a web application for monitoring sensor data on the Raspberry Pi. Raspberry Pi is used as a central control device that functions as a cost-effective platform for

integrating various devices and sensors in an industrial enterprise using the Internet. We offer a cost-effective web application for monitoring industrial production based on the Internet of Things (IoT) and edge computing paradigms. The proposed web application provides remote and automatic monitoring of temperature and humidity indicators, ensuring the safety and reliability of production.

Keywords: Internet of Things, Edge computing, Raspberry Pi, sensors, temperature, humidity.

Введение

В течение последнего десятилетия большинство исследований датчиков и приводов были сосредоточены на подключении их к Интернету для последующего анализа и мониторинга данных. Эта концепция передачи данных через Интернет получила название Интернета вещей (IoT). Датчики часто находят свое применение в промышленном производстве, сельском хозяйстве и медицине, контролируя критически важные параметры, такие как температура, влажность, сердцебиение, плотность, давление, сила, габариты и т. д. [1-3].

Довольно часто для работы IoT-устройств применяют облачные технологии, что предоставляет им безграничные возможности хранения больших данных и мощные вычислительные ресурсы. Однако есть некоторые проблемы, касающиеся применения облачных технологий. Облачные технологии отличаются низкой пропускной способностью, высокими энергопотреблением и задержкой. При этом стоит отметить, что количество IoT-устройств продолжает расти из года в год и к 2030 году их численность достигнет более 25,4 миллиарда [4]. Другими словами, в следующем десятилетии облачные технологии столкнутся с огромным объемом данных, поступающих с IoT-устройств. Более того, современные системы требуют быстрого отзыва для принятия решения в условиях неопределенности, чего не могут обеспечить облачные технологии.

Контроль температуры и влажности является основой любого технического процесса, и эти значения должны находиться в пределах допустимых значений для любого производственного процесса. Любое отклонение от допустимых значений снижает качество продукции и требует быстрого принятия решения в процессе производства, чтобы избежать неблагоприятных ситуаций.

Целью данной статьи является разработка алгоритма предварительной обработки данных для мониторинга значений датчиков температуры и влажности в промышленной сфере на стороне клиента и снижения нагрузки на серверную часть. Эта особенность, основанная на граничных вычислениях, позволит оператору принимать решение в короткие сроки благодаря малой задержке. Результаты мониторинга будут отображаться через удобный графический интерфейс.

Последние исследования показали, что граничные вычисления смогли преодолеть недостатки облачных технологий. Граничные вычисления – это парадигма, которая позволяет реализовать вычисления на платформе, близкой к конечному пользователю, в отличие от облачных технологий. Современный шкаф с овощами, умная ферма и интеллектуальная теплица на базе граничных вычислений дали пользователю возможность контролировать показания температуры, влажности, освещенности, влажности почвы, концентрации углекислого газа и делать фотосъемку, видеосъемку в дистанционном режиме реального времени. Шлюз способствовал распределению частей вычислительной задачи между сервером и платформой, а также уменьшил энергопотребление [5-8]. Предлагаемые граничные вычисления также нашли применение в системе сбора данных об окружающей среде для клинических сред и умного дома. Клинические исследования были сосредоточены на оценке занятости и активности человека, его геолокации, замерами показаний температуры и влажности окружающей среды. Умный дом, в свою очередь, обеспечил дистанционное и автоматическое управление бытовой техникой, обеспечив надежность и безопасность владельцу дому. В результате исследований ученые улучшили степень захвата движений на 5 процентов и обеспечили конфиденциальность данных пациентов [9, 10]. Имеются также некоторые исследования об использовании граничных вычислений в промышленной сфере, поэтому мы также приняли их во внимание. Система предупреждения на сборочной линии и автоматическая система удаленного мониторинга для 3D-принтера помогли улучшить процесс принятия решений за счет сокращения и предотвращения непредвиденных потерь из-за нештатных ситуаций [11, 12].

Для достижения низкой стоимости аппаратного проектирования и более удобного визуального представления результатов исследования мы предлагаем разработать web-приложение для мониторинга показателей датчиков на основе граничных вычислений с использованием одноплатного компьютера Raspberry Pi [13]. Этот одноплатный компьютер нашел свое применение в

кроссплатформенной компиляции и в поддержке сети, что позволило провести сбор и анализ данных с IoT-устройств [14].

Материалы и методы исследования

В исследовании мы использовали Raspberry Pi 4 Model B (4 Гигабайт) с датчиком температуры и влажности DHT11, которые представлены ниже на рисунке 1 как граничное устройство.

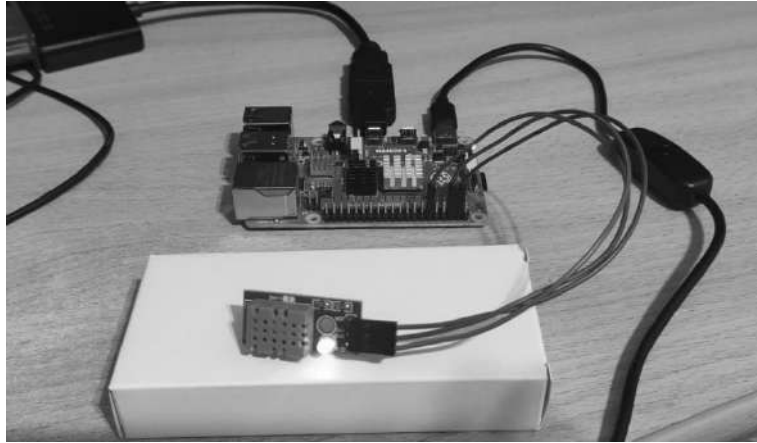


Рисунок 1. Граничное устройство (Raspberry Pi и датчик DHT11)

В качестве операционной системы для Raspberry Pi была выбрана Raspberry Pi OS (Raspbian). Протокол Message Queue Telemetry Transport (MQTT) использовался для обмена сообщениями между издателем и подписчиками. MQTTBox нашел применение на стороне конечного пользователя, а Aedes Broker от Node Red применялся на граничных устройствах. Концептуальное представление уровня брокера показано на рисунке 2, где брокер MQTT использовался для передачи показателей датчиков на устройства конечных пользователей (смартфоны, ноутбуки и персональные компьютеры).

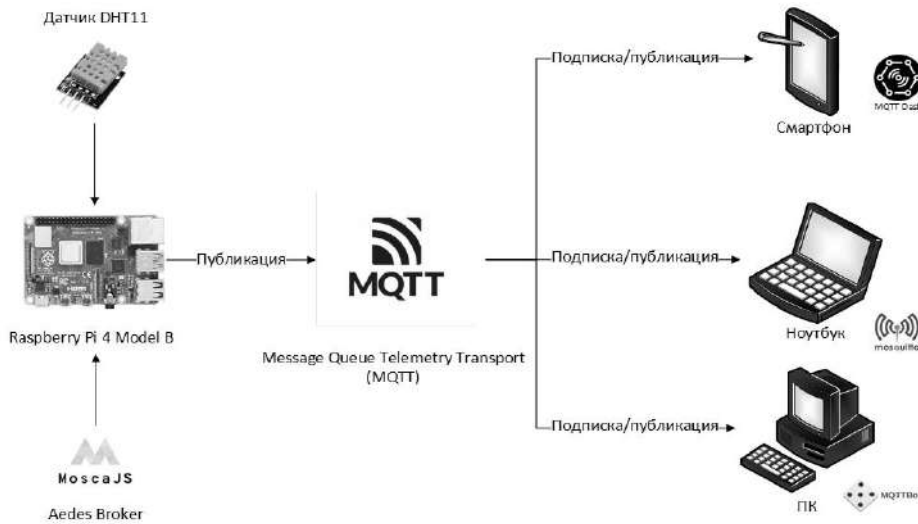


Рисунок 2. Концептуальное представление уровня брокера

Сервисный уровень отвечал за получение данных от брокерского уровня, в котором Raspberry Pi использовался в качестве платформы или сервиса. Мы провели конфигурацию Node Red для реализации алгоритма предварительной обработки данных, поступающих от датчика DHT11, а также создали возможность подписчикам получать сообщения от издателя. В качестве конечного устройства для подписчика мы решили использовать персональный компьютер на базе операционной системы Windows. Схема сервисного слоя представлена на рисунке 3.

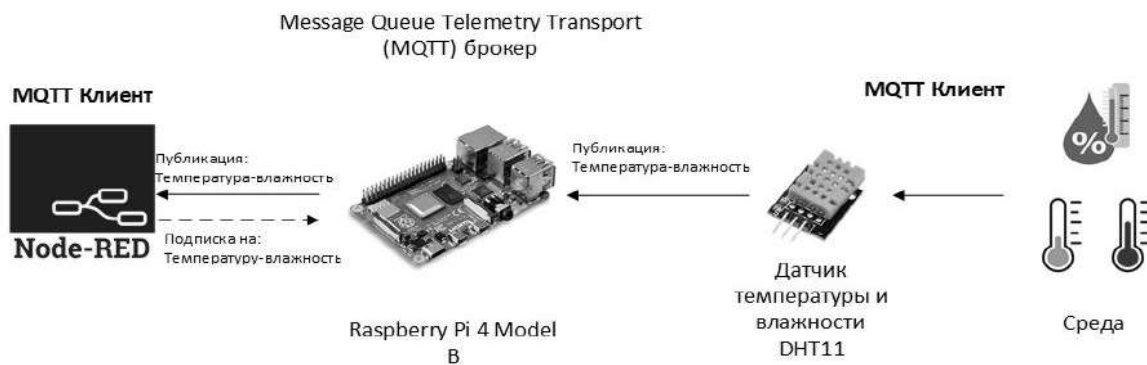


Рисунок 3. Сервисный уровень

Прикладной уровень использовался для back-end и front-end разработки web-приложения с целью комфортного и удобного управления устройством IoT через графический интерфейс. Помимо этого, слой предоставляет оператору панель виджетов для мониторинга значений различных датчиков. Для разработки также использовались библиотеки `bcm2835` и `node-red-contrib-dht-sensor`. На рисунке 4 представлена блок-схема алгоритма для мониторинга показателей температуры и влажности.



Рисунок 4. Блок-схема алгоритма для мониторинга показаний температуры и влажности

На первом этапе инициализуем датчик температуры и влажности DHT11. Датчик начинает считывать значения температуры и влажности окружающей среды. Получив измеренные значения, Raspberry Pi отправляет их в функцию вывода. Затем результат функции поступает в графическую функцию для отображения полученных данных на панели виджетов. И на финальном этапе полученные значения передаются подписчикам.

Узлы `gpi-dht`, `function`, `Gauge`, `Aedes Broker`, `Inject`, `Debug`, `MQTT Out` и `MQTT In` были использованы из меню Node Red для создания потока. На рисунке 5 показана блок-схема потока.

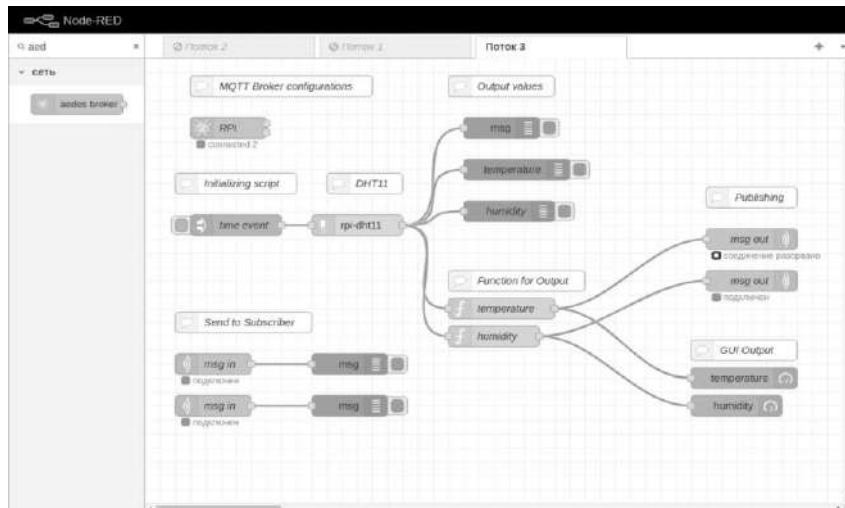


Рисунок 5. Поток в Node Red

На рисунке 6 показан пример отображения полученных значений на диаграмме индикатора прибора в панели виджетов.



Рисунок 6. Показания датчика на панели виджетов

Результаты исследования

На рисунке 7 во вкладке отладки (Debug) окна Node Red показан результат данных, полученный от датчика DHT11, а также в окне MQTTBox показан результат передачи данных издателем.

A screenshot showing two windows side-by-side. The left window is the Node-RED interface with the 'Debug Console' open, displaying a list of messages with their payloads. The right window is 'MQTTBox', showing the MQTT transmission details, including the topic 'msg/humidity' and the payload '42.00'. Below it, another MQTT message is shown with the topic 'msg/temperature' and the payload '26.00'.

Рисунок 7. Результат обработки данных в Node Red и их передача подписчикам

Для замера нагрузки на сетевой трафик для передачи данных брокеру сообщений, мы использовали NetWorx, показанный на рисунке 8.

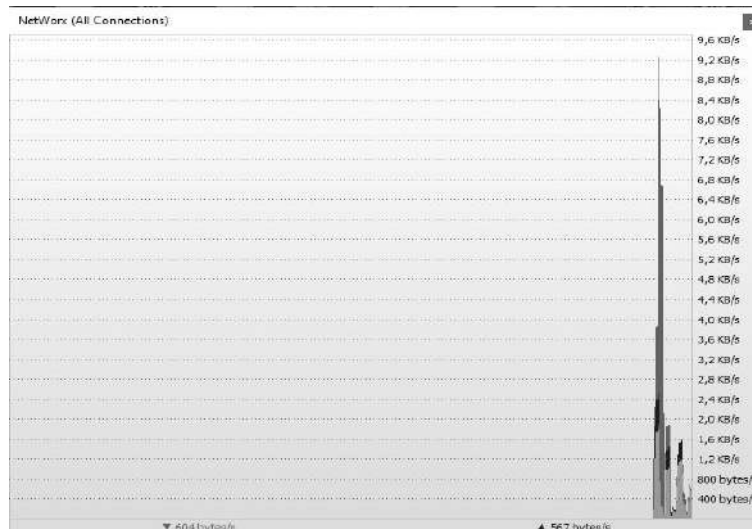


Рисунок 8. Графическая диаграмма сетевого трафика для передачи данных брокеру сообщений

Пиковое значение сетевого трафика составило примерно 9,2 килобит/секунду. Таким образом, можно отметить, что процесс передачи данных с использованием парадигмы граничных вычислений способствует оптимизации сетевого трафика, так как в рамках облачной парадигмы объем передаваемых данных датчиков измеряется в Мегабит/секунду и Гигабит/секунду.

Заключение

В этом исследовании мы представили автоматизированную платформу на основе IoT для интеллектуального промышленного сектора. Она использует преимущества граничных вычислительных устройств для обработки данных. Предлагаемое web-приложение является экономически выгодным решением для вычисления на границе сети IoT и может быть расширена за счет добавления новых датчиков в систему. Это решение не только снизило затраты на вычислительные ресурсы, но и снизило нагрузку на сеть по сравнению с дорогостоящим облачным решением. Помимо этого, мы добавили возможность дистанционного мониторинга за счет MQTT брокера.

Предлагаемая система использует данные, полученные от датчиков температуры и влажности, которые в дальнейшем можно использовать для создания различных типов математических моделей и прогнозов для расширения существующих функций.

В будущем мы планируем добавить новые датчики, систему видеонаблюдения и алгоритм глубокого обучения для моделирования различных сценариев. Предлагаемое решение не только обеспечивает автоматизацию мониторинга показателей различных датчиков, но и обеспечивает конфиденциальность данных клиента.

References:

- 1 Al-Hardanee, O. F., Çankaya, İ., Muhsen, A. A., and Canbolat H. "Design a Control System for Observing Vibration and Temperature of Turbines." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 24, no. 3 (2021): 1437-44. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v24.i3.pp1437-1444>.
- 2 Moldabayeva, Z. S., Schmidt, P., and Seitbattalov, Z. Y., Amankeldinov, T. A. "Simulation of an Intelligent Detection System Virus Sars-Cov-2 in Enclosed Spaces." *Proceedings - 2021 16th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)* (2021).
- 3 Ren, Y., C. Wu, T. Yoshinaga, and Wgdl Bao. "A Fuzzy Logic Controller for Greenhouse Temperature Regulation System Based on Edge Computing." *Proceedings Paper. Mobile Networks and Management, Monami 2021* 418 (2022): 316-32. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94763-7_24.

- 4 Atanov, S. K., Seitbattalov, Z. Y., and Moldabayeva, Z. S. "Development an Intelligent Task Offloading System for Edge-Cloud Computing Paradigm." *Proceedings - 2021 16th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)* (2021).
- 5 Bu, N., Li G., and Liu X. "Intelligent Greenhouse Sensing System Based on Edge Computings." *Proceedings - 2020 International Conference on Robots and Intelligent Systems, (ICRIS)* (2020).
- 6 Chen, X., Wang X., and Shen H. "Design of Greenhouse Environment Monitoring System Based on Nb-Iot and Edge Computing." *IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, 2021.
- 7 Namee K., Kamjumpol C., and Pimsiri W. "Development of Smart Vegetable Growing Cabinet with Iot, Edge Computing and Cloud Computing." *ACM International Conference Proceeding Series*, 2020.
- 8 Namee K., Polpinij J., and Albadrani G. M. "Applying Image Processing and Edge Computing for Plant Growth Monitoring in Smart Farm." *Multidisciplinary Technologies for Industrial Applications*, 2020.
- 9 Suresha P. B., C. Hegde, Z. F. Jiang, and G. D. Clifford. "An Edge Computing and Ambient Data Capture System for Clinical and Home Environments." *Article. Sensors* 22, no. 7 (Apr 2022): 25 2511. <https://doi.org/10.3390/s22072511>.
- 10 Yar, H., A. S. Imran, Z. A. Khan, M. Sajjad, and Z. Kastrati. "Towards Smart Home Automation Using Iot-Enabled Edge-Computing Paradigm." *Article. Sensors* 21, no. 14 (Jul 2021): 23 4932. <https://doi.org/10.3390/s21144932>.
- 11 Kwon, S., S. Lee, Y. Kim, Y. Oh, J. Kim, and J. Kwon. "A Filament Supply System Capable of Remote Monitoring and Automatic Humidity Control for 3d Printer." *Article. Journal of Sensors* 2020 (Jun 2020): 10 8846466. <https://doi.org/10.1155/2020/8846466>.
- 12 Syafrudin, M., N. L. Fitriyani, G. Alfian, and J. Rhee. "An Affordable Fast Early Warning System for Edge Computing in Assembly Line." *Article. Applied Sciences-Basel* 9, no. 1 (Jan 2019): 18 84. <https://doi.org/10.3390/app9010084>.
- 13 Kasapbaşı, A. and Canbolat H. "Design of a Smart Control System for the Management of Sustainable Energy Supplies in Remote Areas: A Case Study." *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* 44, no. 1 (2022): 321-39. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2044939>.
- 14 Brimzhanova, S. S. and Atanov S. K. and Khuralay M. and Kobelev K. S. and Gagarina L. G. "Cross-Platform Compilation of Programming Language Golang for Raspberry Pi." *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019.

МРНТИ 50.47.02
УДК 65.011.56

<https://doi.org/10.51889/7032.2022.73.24.028>

Ж.Е. Сейтбатталов^{1*}, С.К. Атанов¹, Х. Молдамурат¹

¹ Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
*e-mail: sbtl.jeks@gmail.com

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НОМЕРОВ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Аннотация

Существующая система мониторинга транспортного движения аккумулирует большое количество данных и применяет алгоритмы для обработки полученных фото и видеоизображений через камеры. Эти данные используются для регулирования транспортных потоков, распознавания государственных номеров автомобилей и фиксации дорожно-транспортных происшествий. Собранные данные традиционно отправляются в центр обработки данных (ЦОД) для проведения углубленного анализа и после отправляются оператору. Таким образом, большое количество поступающих данных в ЦОД и центр мониторинга транспортного движения понижают пропускную способность сети, оказывая негативное воздействие на скорость принятия решения оператором. Для решения проблемы предлагается использовать парадигму граничных вычислений посредством размещения вычислительных узлов в близости от камер и проведения предобработки данных на граничных устройствах. В качестве граничного устройства, в статье рассматривается Raspberry Pi, а также алгоритмы компьютерного зрения для предварительной обработки данных на граничных узлах и процесс передачи данных в ЦОД с последующим оперативным принятием решения оператором. Полагаем, что применение парадигмы граничных вычислений будет способствовать оптимизации трафика сети и разгрузке вычислительных мощностей ЦОД.

Ключевые слова: интернет вещи, граничные вычисления, видео аналитика, цифровая обработка изображений, Raspberry pi, сетевые технологий.

Аңдатпа

Ж.Е. Сейтбатталов¹, С.К. Атанов¹, Х. Молдамурат¹

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

ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕПТЕР НЕГІЗІНДЕГІ АВТОМОБИЛЬДІҢ МЕМЛЕКЕТТІК НӨМЕРІН ТАНУДЫҢ ЗИЯЛДЫ ЖҮЙЕСІ

Қазіргі трафикті бақылау жүйесі деректердің үлкен көлемін жинақтайды және камералар арқылы алынған фото және бейне кескіндерді өңдеу алгоритмдерін қолданады. Бұл деректер көлік ағындарын реттеу, нөмірлерді тану және жол-көлік оқиғаларын тіркеу үшін пайдаланылады. Жиналған деректер дәстүрлі түрде өңдеу, терең талдау үшін деректер орталықтарына жіберіледі, содан кейін операторға жіберіледі. Осылайша, дата орталықтары мен трафикті бақылау орталығына түсетін деректердің үлкен көлемі желі өткізу қабілетін төмендетеді және оператордың шешім қабылдау жылдамдығына кері әсерін тигізеді. Бұл мәселені шешу үшін есептеуіш түйіндерді камералардың тікелей маңайында орналастыру және шеткі құрылғыларда деректерді алдын ала өңдеуді жүргізу арқылы шеттік есептеу парадигмасын пайдалану ұсынылады. Шеттік құрылғы ретінде мақалада Raspberry Pi, сондай-ақ шеткі түйіндердегі деректерді алдын ала өңдеуге арналған компьютерлік көру алгоритмдері және оператордың кейіннен операциялық шешімдер қабылдауымен деректерді деректер орталықтарына беру процесі қарастырылады. Біз шеттік есептеу парадигмасын пайдалану желілік трафикті оңтайландыруға және деректер орталығының есептеу қуатын түсіруге көмектеседі деп сенеміз.

Түйін сөздер: заттар интернеті, шеттік есептеулер, бейне аналитика, сандық бейнелеу, Raspberry pi, желілік технологиялар.

Abstract

INTELLIGENT RECOGNITION SYSTEM OF NUMBER PLATE BASED ON EDGE COMPUTING

Z.E. Seitbattalov¹, S.K. Atanov¹, Kh. Moldamurat¹

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

The present traffic monitoring system gathers a lot of data and uses algorithms to interpret images captured by cameras. These information are used to control traffic flow, identify license plates, and keep track of traffic accidents. Traditionally, the collected data are routed to data centers for processing and analysis before being delivered back to the

operator. As a result, a lot of data going into the data center and traffic monitoring center limits network capacity and slows down the operator's ability to make decisions quickly. We suggested using the edge computing paradigm to address this issue by positioning edge nodes close to the cameras and doing data preprocessing on edge devices. As an edge device, the article considers the Raspberry Pi, as well as computer vision algorithms for pre-processing data at edge nodes and the process of transferring data to data centers with subsequent operational decision making by the operator. We believe that the use of the edge computing paradigm will help optimize network traffic and offload the computing power of the data center.

Keywords: Internet of Things, edge computing, video analytic, Raspberry Pi, image processing, network technologies.

Введение

По мере увеличения количества Internet of Things (IoT) устройств в мире было сгенерировано огромное количество данных за последнее десятилетие [1]. Тенденция роста количества IoT устройств будет сохраняться и дальше. В соответствии с прогнозом от Statista к 2030 году количество IoT устройств достигнет более 25.4 миллиарда [2]. В связи с этим вырастет объем, генерируемых и передаваемых данных по интернет сети, что формирует предпосылку в необходимости быстрой обработки данных для систем чувствительных к временным задержкам. Из всех имеющихся типов данных, передаваемых по интернет сети, наиболее емкими по объему являются видео и фотоизображения.

Одной из подобных систем чувствительных к задержкам сети является система мониторинга транспортного движения. Подобные системы занимаются следующими трудоемкими задачами: расчетом скорости движения транспортного средства, фиксирование государственных номеров автомобилей и нарушений правил дорожного движения (ПДД), обнаружение дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и плотного автомобильного движения, регулирование транспортного потока, принятие решения о вызове пожарной бригады и скорой помощи при ДТП [3-5]. Также надо отметить, что из перечисленных функции системы, процесс распознавания государственного номера средства передвижения является наиболее простым на первый взгляд, но все же может иметь длительный процесс распознавания и передачи данных по сети.

Целью этой статьи является реализация процесса распознавания государственного номера автомобиля на основе компьютерного зрения и способов повышения скорости передачи полученных данных в ЦОД и Центр мониторинга транспортного движения (ЦМТД) без искажения на базе граничных вычислений. На вычислительных узлах, размещённых в непосредственной близости от камер, проводится обработка изображений компьютерным зрением и граничными вычислениями, которые выделяют важную информацию из полученных видео и фотоизображений. Затем переводят их в удобный текстовый формат. Такой формат данных исключает возможность искажения информации в виду ее простоты и способствует высокой скорости передаче данных в сети.

В рассмотренных работах в качестве основных этапов распознавания государственного номера автомобиля выделяют следующие: локализация автомобильного номера (Number Plate Localization), сегментация символов (Character Segmentation) и оптическое распознавание символов (Optical Character Recognition) [4]. На первом этапе при неблагоприятных погодных условиях или слабой освещенности используются техники бинаризации изображения (binarization) или оттенки серого цвета (grayscale). После этого осуществляется локализация автомобильного номера и его сегментация с помощью Connected Component Analysis (CCA) и анализа соотношения (ratio analysis). И наконец, идет распознавание символов через Support Vector Classifier (линейный, полигональный, rbf), k Nearest Neighbor (KNN), Extra Tree Classifier, Logistic Regression (LR), Random forest (RF), Support Vector Classifier (SVC) и KNN [5]. Несмотря на высокую скорость обработки данных, реализация подобных систем на базе программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) обходится дорого.

В качестве альтернативного технического решения мы предлагаем использовать одноплатный компьютер Raspberry Pi, что снизит расходы на разработку системы и позволит легко отслеживать пакет отправляемых данных по сети. Для решения проблемы длительной передачи данных предлагается применить парадигму граничных вычислений. Ряд статей показал успешное осуществление перехода от традиционной облачной архитектуры к парадигме граничных вычислений с итоговым результатом повышения скорости передачи данных по сети [3, 6, 7, 8, 9]. Этот подход нашел свой успех применения в Smart House, Smart Traffic Monitoring System, Smart City, распознавании эмоций человека, мониторинга показателей состояния пациента, то есть в тех системах, где критически

важна скорость обработки и передачи данных. Однако стоит отметить, что при выполнении трудоемких задач и ситуации, когда интернет соединение стабильно, целесообразно использовать гибридную парадигму, позволяющую применять как облачные, так и граничные вычисления посредством выбора оптимальной сети через интеллектуальную систему разгрузки задач на базе нечеткой логики [10, 11]. Одноплатный компьютер Raspberry Pi легко может применяться в обеих парадигмах. Одним из преимуществ Raspberry Pi является наличие процессора средней скорости и обеспечение поддержки периферийного интерфейса и сети, что позволяет осуществлять сбор и анализ данных с IoT устройств [12]. Что касается протокольного решения на Raspberry Pi, существует протокол связи Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Он считается одним из наиболее применяемых в IoT индустрии из-за низкого уровня энергопотребления [13].

Материалы и методы исследования

Как было отмечено в предыдущем разделе, в качестве граничного устройства будет использоваться одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 Model B (4GB) с камерой OmniVision OV5647 для распознавания государственных номеров транспорта на базе алгоритмов компьютерного зрения (рисунок 1).

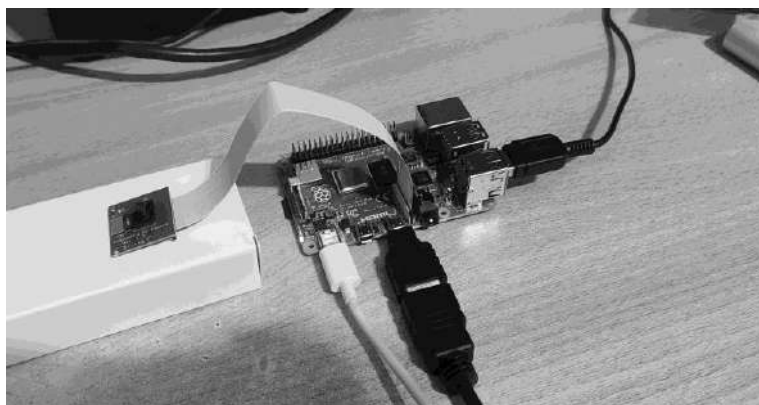


Рисунок 1. Граничный узел (Raspberry Pi и камера OmniVision OV5647)

Для организации сообщения между издателем (Raspberry Pi) и подписчиками (пользователями ЦМТД) будет использован протокол Message Queue Telemetry Transport (MQTT) на базе Node Red и MQTTBox. Схема организации взаимодействия по протоколу MQTT представлена на рисунке 2.

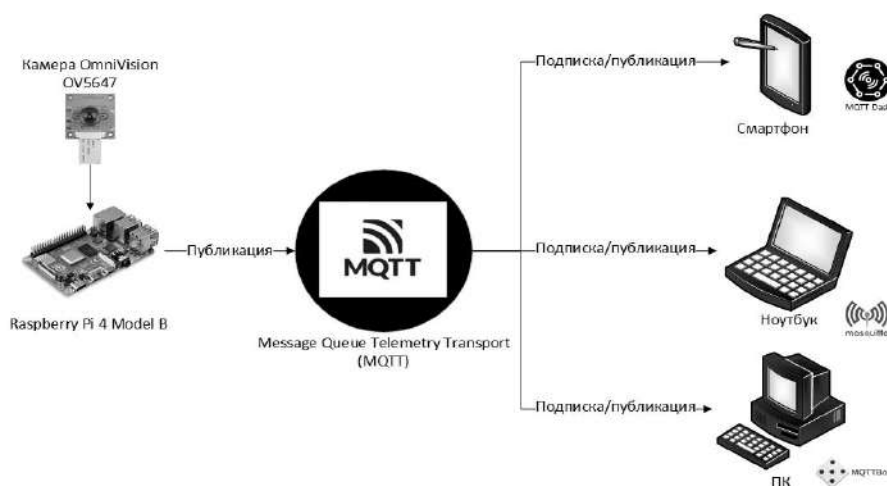


Рисунок 2. Схема взаимодействия MQTT брокера сообщений

Устанавливаем Node Red на одноплатный компьютер Raspberry Pi для организации потока данных и визуального программирования IoT устройства, а также проводим конфигурацию брокера сообщений MQTTBox на стороне дата-центра. Рекомендуемая операционная система для Raspberry Pi

– Raspbian OS, для сервера – любая совместимая операционная система с брокером сообщений на базе ядра Linux или Windows. В нашем случае была выбрана операционная система Windows с брокером сообщений MQTTBox. Схема IoT сети представлена на рисунке 3. Камера OmniVision OV 5647 передает фото и видеоизображения на Raspberry Pi. Одноплатный компьютер посредством алгоритмов компьютерного зрения определяет государственный номер автомобиля и передает его на сторону сервера в текстовом формате через MQTT брокер сообщений на базе Red Note. После оператор ЦМТД получает обработанные данные через MQTTBox и принимает решение о внесении государственного номера транспорта в базу данных номеров, например, при нарушении ПДД.

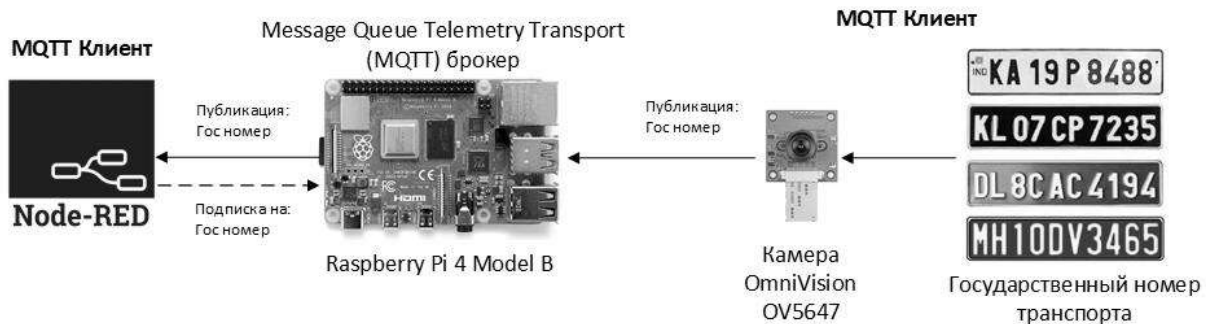


Рисунок 3. Схема IoT сети

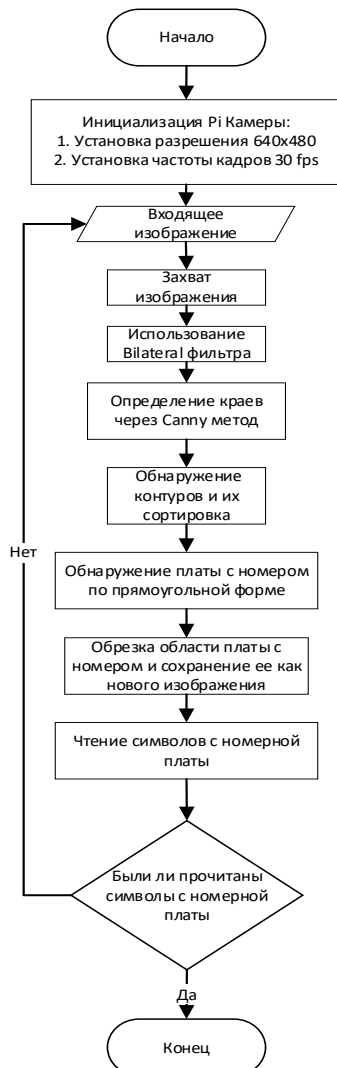


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма компьютерного зрения

Для удобства процесса разработки алгоритма компьютерного зрения рекомендуется настроить и развернуть VNC Viewer на стороне разработчика, а также подключить протоколы SSH, VNC на Raspberry Pi.

Для написания алгоритма на языке программирования Python были использованы редактор Nano и библиотеки OpenCV, Tesseract, PYTTSX3, Imutils, PIL import Image, picamera и Tesseract OCR с целью локализации автомобильного номера, сегментации символов и оптического распознавания символов [14].

На рисунке 4 представлена блок схема алгоритма компьютерного зрения для распознавания государственного номера транспорта.

Для начала была выполнена инициализация камеры, установка ее разрешения (640x480) и частоты на 30 кадров в секунду. После была использована функция capture_continuous, чтобы начать захват кадров с камеры Raspberry Pi. После захвата кадра была применена функция двустороннего фильтра для удаления нежелательных деталей из захваченного изображения.

После удаления ненужных деталей был использован метод Canny Edge, чтобы выполнить обнаружение граней табло с государственным номером.

Далее был выполнен поиск контуров на полученных изображениях и сортировка обнаруженных контуров от большего к меньшему. Так как Raspberry Pi может найти несколько контуров, в связи с этим нам нужно отфильтровать контур номерного знака, выполнив поиск контура в виде прямоугольной формы. После этого была выполнена обрезка всех областей, кроме номерного знака.

Далее было сохранено полученное изображение как новое.

На последнем этапе было выполнено считывание символов с изображения номерного знака с помощью библиотеки Tesseract и сохранены распознанные символы в переменную. На рисунке 5 приведен пример вывода государственного номера в текстовом варианте (вывод в терминале) и в виде обрезанного изображения.



Рисунок 5. Процесс опознавания государственного номера транспорта с помощью компьютерного зрения (Computer Vision)

Для написания алгоритма опознавания автомобильных номеров и организации потока сообщений из меню узла Node Red были использованы блоки aedes broker, inject, exec, function, mqtt out, mqtt in и debug. Схема потока представлена на рисунке 6.

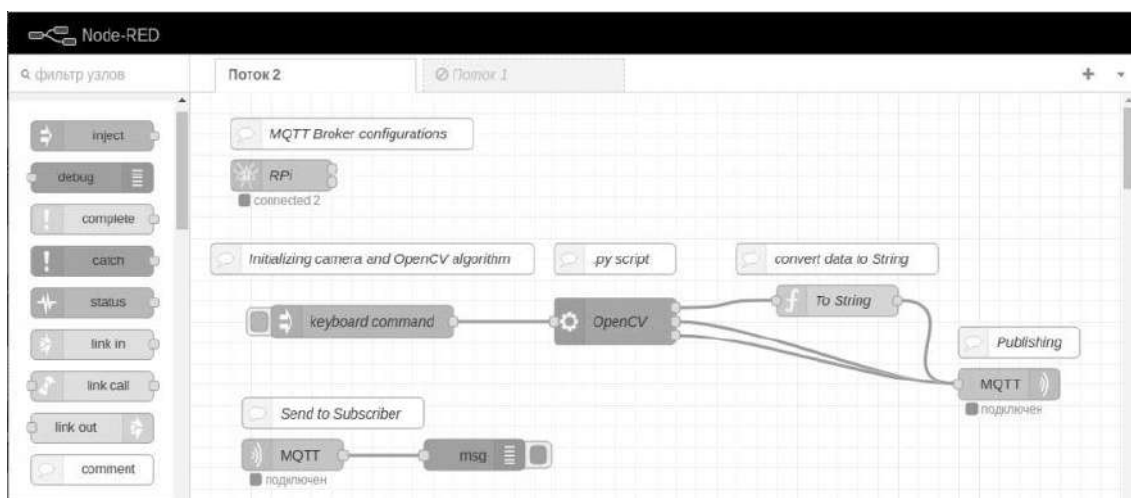


Рисунок 6. Flow в Node Red

Узел aedes broker (RPi) позволяет выполнить настройки брокера сообщений для Raspberry Pi и указать его порт. Узел Inject (keyboard command) инициализирует работу потока, камеры и запускает алгоритм блока OpenCV (компьютерного зрения), реализованный на языке программирования Python для локализации государственного номера, сегментации символов и оптического распознавания символов. Полученные результаты отправляются в узел function (To string) для перевода считанного текста в читаемый вид для человека. Далее узлы mqtt out и mqtt in (MQTT) осуществляют публикацию данных на адрес подписчиков (пользователи ЦМТД). Узел msg позволяет вывести результат.

Результаты исследования

На рисунке 7 приведены результаты обработки фотоизображений в окнах Stopped и терминала в виде текстового формата. Снятое изображение камерой OmniVision OV 5647 представлено в окне Frame.



Рисунок 7. Результат обработки фотоизображений с государственным номером транспорта

По результатам в виде текстового формата можно отметить некоторую погрешность в идентификации государственных номеров, что связано с небольшой базой данных для обучения компьютерного зрения.

В консоли Node Red (правая часть окна), во вкладке «Отладка» на рисунке 8 представлены результаты распознавания автомобильных номеров через Node Red. Результат передачи данных оператору и время исполнения алгоритма компьютерного зрения (после текста run time) указаны в окне брокера сообщений MQTTBox. Среднее время на исполнения алгоритма составило 4 секунды. У представленных результатов также имеется погрешность в распознавании автомобильных номеров.

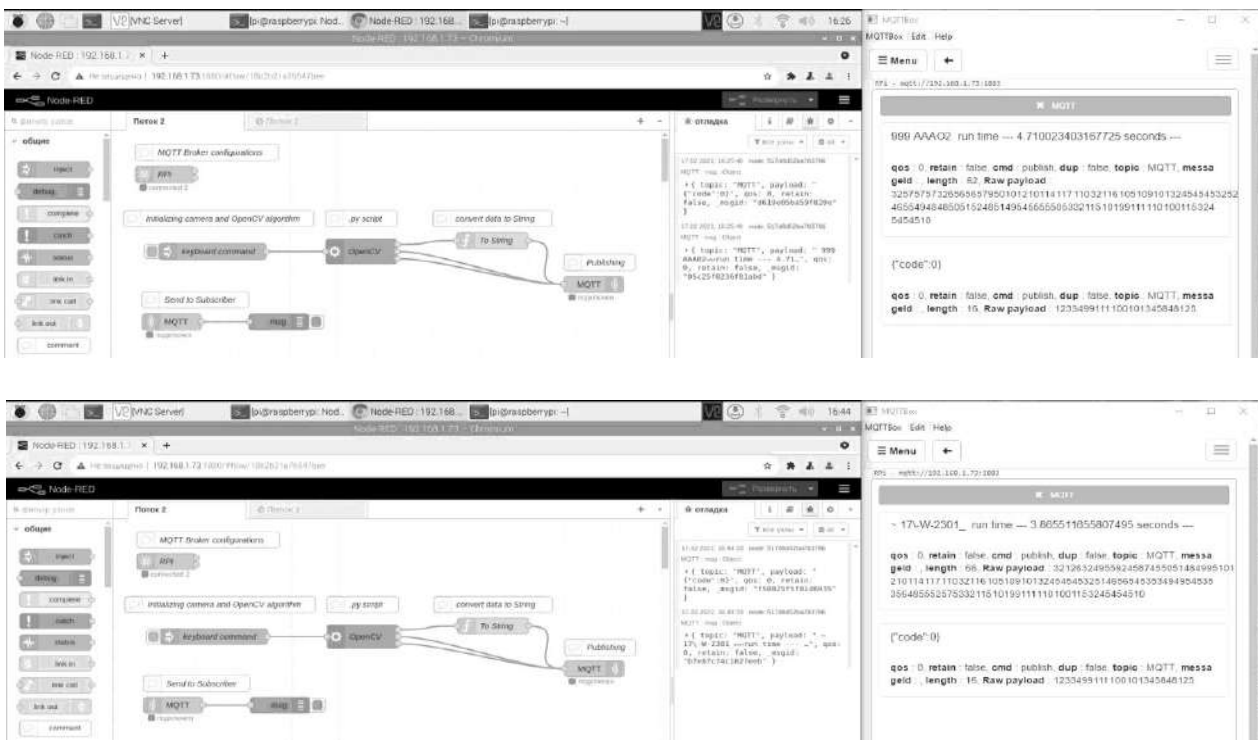


Рисунок 8. Результат обработки фотоизображений в Node Red

Графическая диаграмма сетевого трафика при передаче данных в брокер сообщений представлена на рисунке 9. Максимальное значение сетевого трафика составило 4.78 килобит/секунду.

Таким образом, можно отметить, что процесс передачи данных по парадигме граничных вычислений способствует оптимизации сетевого трафика, так как при облачной парадигме объем передаваемых фото и видеоданных измеряются в Мегабит/секунду и Гигабит/секунду.

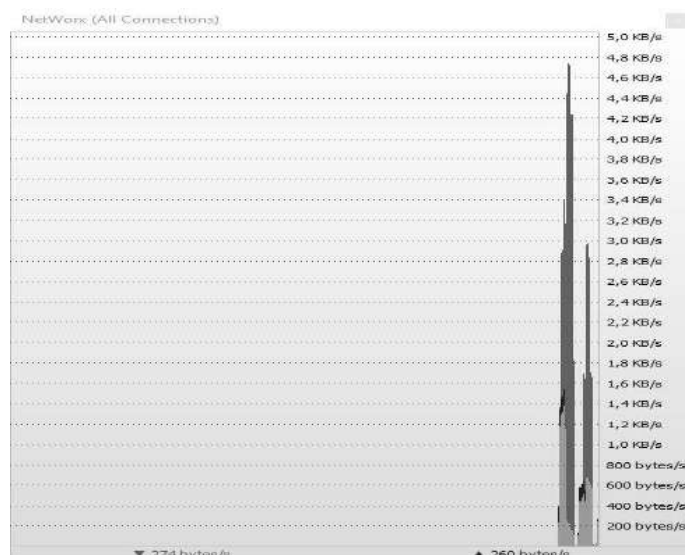


Рисунок 9. Графическая диаграмма сетевого трафика при передаче данных в брокер сообщений

В таблице 1 представлены различные методы обработки изображений, платформы, разрешение и время выполнения в миллисекундах [4, 15].

Таблица 1. Сравнение по времени выполнения различных алгоритмов обработки изображений в центральном процессорном устройстве.

Метод обработки изображения	Платформа	Разрешение	Время, мс
High Definition Number Plate Localization	Zynq-7000 SoC	960×720 (HD)	16.17
Standard Definition Number Plate Localization	FPGA Virtex-4	640×480 (SD)	6.7
Oily style NPR	CPU: Q9450 with 42.56 GFLOPS GPU: NVIDIA G92 (GeForce 9800 GTX) with 128 Cores and 512 MB Video Memory, GTX 280 for Speed UP Test	512×512	7172
Corners and edge detectio	OS: Ubuntu 11.04 CPU: Dual Core 6600, 2.40 GHz, Mem: 2 GB GPU: GeForce GTX 280, 240 CUDA cores, Memory: 1GB GPU: Tesla C1060, 240 CUDA cores, Memory: 4GB	2048×2048	4006
Content authentication	CPU Intel Xeon 5520 (2.26GHz) RAM 12GB DDR3 (1333MHz) GPU Architecture Tesla C1060 OS Centos 5.3 (64 bit) V2.3 CUDA	1024×1024	28877.66
Linear feature extraction	CPU: Q9450 with 42.56 GFLOPS GPU: NVIDIA G92 (GeForce 9800 GTX) with 128 Cores and 512 MB Video Memory, GTX 280 for Speed UP Test	1800×1400	500.958685
Inverse sinusoidal contrast transformation	AMD Phenom II Quad-core to 3.2 GHz, 12 GB of RAM, Operating System: 64-bit Linux Fedora 14 GPU: GeForce 430 GT video card with 96 cores and 1 GB of RAM DDR3 is used	1024×1024	151.256079

Таким образом, скорость выполнения различных методов обработки изображений на ПЛИС в действительности выше, чем на Raspberry Pi. Однако стоит отметить, что скорость исполнения алгоритма на одноплатном компьютере Raspberry Pi незначительно уступает вычислительным мощностям персонального компьютера при обработке фотоизображений центральным процессорным устройством.

Заклучение

В данной работе мы предложили применение парадигмы граничных вычислений на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi 4 Model B с камерой OmniVision OV 5647 для проведения предварительной обработки данных, что способствовало оптимизации трафика сети и разгрузке вычислительных мощностей центра обработки данных. Примененный метод граничных вычислений с Raspberry Pi и передачей данных в текстовом формате также способствовал снижению затрат на техническое решение в отличие от программируемых логических интегральных схем и персональных компьютеров. Кроме того, стоит отметить, что предложенный метод позволяет увеличить количество подключаемых IoT устройств к сети из-за минимального воздействия на сетевой трафик, а также позволяет сохранить конфиденциальность большей части данных. Таким образом, с целью повышения скорости и качества распознавания государственных транспортных номеров с помощью алгоритма компьютерного зрения предлагается увеличить базу данных для обучения. Помимо этого, также добавить функциональную возможность переключения режима работы граничного устройства между облачными и граничными парадигмами. Однако, также учитывая вышеизложенную проблему, представляется, что перспективным может являться направление создание гибридных методов для распознавания государственных номеров, использующих преимущества и нивелирующих недостатки имеющихся на сегодня различных подходов.

References:

- 15 Marjani, M., F. Nasaruddin, A. Gani, A. Karim, I. A. T. Hashem, A. Siddiq, and I. Yaqoob. "Big Iot Data Analytics: Architecture, Opportunities, and Open Research Challenges." *Article. Ieee Access* 5 (2017): 5247-61. <https://doi.org/10.1109/access.2017.2689040>.
- 16 Sulich, A., M. Rutkowska, A. Krawczyk-Jeziarska, J. Jezierski, and T. Zema. "Cybersecurity and Sustainable Development." *Proceedings Paper. Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (Kse 2021)* 192 (2021): 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.003>.
- 17 Liu, G. X., H. Shi, A. Kiani, A. Khreishah, J. Lee, N. Ansari, C. J. Liu, and M. M. Yousef. "Smart Traffic Monitoring System Using Computer Vision and Edge Computing." *Article; Early Access. Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems* (2021): 12. <https://doi.org/10.1109/tits.2021.3109481>.
- 18 Al-Zawqari A., Hommos O., Al-Qahtani A., Farhat A. A. H., Bensaali F., Zhai X. J., and Amira A. "HD Number Plate Localization and Character Segmentation on the Zynq Heterogeneous Soc." *Article. Journal of Real-Time Image Processing* 16, no. 6 (Dec 2019): 2351-65. <https://doi.org/10.1007/s11554-017-0747-7>.
- 19 Babbar, S., S. Kesarwani, N. Dewan, K. Shangle, and S. Patel. "A New Approach for Vehicle Number Plate Detection." *Paper presented at the 11th International Conference on Contemporary Computing (IC3), Jaypee Inst Informat Technol, Noida, INDIA, Aug 02-04 2018*.
- 20 Nikouei, S. Y., R. H. Xu, and Y. Chen. "Smart Surveillance Video Stream Processing at the Edge for Real-Time Human Objects Tracking." *Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms* (2019): 319-46.
- 21 Yang, J. N., T. T. Qian, F. Zhang, and S. U. Khan. "Real-Time Facial Expression Recognition Based on Edge Computing." *Article. Ieee Access* 9 (2021): 76178-90. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3082641>.
- 22 Yar, H., A. S. Imran, Z. A. Khan, M. Sajjad, and Z. Kastrati. "Towards Smart Home Automation Using Iot-Enabled Edge-Computing Paradigm." *Article. Sensors* 21, no. 14 (Jul 2021): 23 4932. <https://doi.org/10.3390/s21144932>.
- 23 Brimzhanova, S. S., Atanov, S. K., Moldamurat, K., Kobelev, K. S., and L. G. Gagarina. "Cross-Platform Compilation of Programming Language Golang for Raspberry Pi." *Proceedings of the 5th International Conference on Engineering and MIS, Astana, Kazakhstan, Association for Computing Machinery, 2019*.
- 24 Atanov, S. K. and Seitbattalov Z. Y. and Moldabayeva Z. S. "Development an Intelligent Task Offloading System for Edge-Cloud Computing Paradigm." *Proceedings - 2021 16th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)* (2021).
- 25 Seitbattalov, Z. Y. and Atanov, S. K. and Moldabayeva, Z. S. "An Intelligent Decision Support System for Aircraft Landing Based on the Runway Surface." *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (IEEE SIST)* (2021).
- 26 Mahmud, R., and A. N. Toosi. "Con-Pi: A Distributed Container-Based Edge and Fog Computing Framework." *Ieee Internet of Things Journal* 9, no. 6 (Mar 2022): 4125-38. <https://doi.org/10.1109/jiot.2021.3103053>.
- 27 Lima, D. B. C., R. Lima, D. D. Medeiros, R. I. S. Pereira, C. P. de Souza, and O. Baiocchi. "A Performance Evaluation of Raspberry Pi Zero W Based Gateway Running Mqtt Broker for Iot." *2019 Ieee 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (Iemcon)* (2019): 76-81.
- 28 Arslan, Y., and H. Canbolat. "Performance of Deep Neural Networks in Audio Surveillance." *Proceedings - 2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (Ceit)* (2018): 5.
- 29 S. Saxena, S. Sharma, and Sharma N. "Parallel Image Processing Techniques, Benefits and Limitations." *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 12 (01 2016): 223-38. <https://doi.org/10.19026/rjaset.12.2324>.

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

МРНТИ 14.35.07
УДК 378.14

<https://doi.org/10.51889/3731.2022.32.81.030>

М.А. Бектемесов¹, Д.Н. Исабаева^{1}*

¹ *Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан*
**e-mail: daraja_78@mail.ru*

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ
ОБУЧАЮЩИХСЯ ДЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ЧЕСТНОСТИ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы соблюдения культуры академической честности на экзаменах в условиях дистанционного обучения. Авторы на основе своих исследований, которые проводились два года дают рекомендации по организации онлайн экзаменов, рассматривают различные виды контроля и соответствующие им цифровые технологии, позволяющие соблюдать академическую честность. Выявлены возможные нарушения в ходе онлайн экзамена, проанализированы причины и предложены пути решения. Видами экзамена, которые развивают критическое мышление и имеют нулевую толерантность к любым нарушениям кодекса академической честности являются письменный экзамен с открытой книгой, проектные и практические экзамены, а также тестирование и письменный экзамен с закрытой книгой с использованием прокторинговой системы. Определены принципы, которые должны стать нормой для укрепления культуры академической честности.

Ключевые слова: цифровые технологии, академическая честность, критическое мышление, прокторинговая система.

Аңдатпа

М.А. Бектемесов¹, Д.Н. Исабаева¹

¹ *Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан*
АКАДЕМИЯЛЫҚ АДАЛДЫҚТЫ САҚТАУ ҮШІН СТУДЕНТТЕРДІҢ ОҚУ ЖЕТІСТІГІН
БАҚЫЛАУДЫҢ ЖӘНЕ БАҒАЛАУДЫҢ ТИІМДІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

Мақалада қашықтықтан оқытуда емтихан кезінде академиялық адалдық мәдениетін сақтау мәселелері қарастырылған. Екі жыл бойы жүргізілген зерттеулерінің негізінде авторлар онлайн емтихандарды ұйымдастыру бойынша ұсыныстар береді, әртүрлі бақылау түрлерін және академиялық адалдықты сақтауға мүмкіндік беретін сәйкес цифрлық технологияларды қарастырады. Онлайн емтихан кезінде мүмкін болатын тәртіп бұзушылықтарды анықтап, себептерін талдап, шешу жолдарын ұсынылады. Сыни ойлауды дамытатын және академиялық адалдық кодексінің кез келген бұзылуына төзімділігі жоғары емтихан түрлері ретінде ашық және жабық жазбаша емтихан, жобалау және практикалық емтихандар, сондай-ақ прокторинг жүйесі пайдаланылатын тестілеу емтихандарын көрсетеді. Сонымен қатар, академиялық адалдық мәдениетін нығайтудың нормасына айналуды тиіс қағидаттар айқындалады.

Түйін сөздер: цифрлық технологиялар, академиялық адалдық, сыни ойлау, прокторинг жүйесі.

Abstract

EFFECTIVE TECHNOLOGIES FOR CONTROL AND EVALUATION OF LEARNING ACHIEVEMENTS OF STUDENTS TO OBSERVE ACADEMIC HONESTY

Bektemesov M.A.¹, Isabaeva D.N.¹

¹ *Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

The article deals with the issues of observing the culture of academic honesty in exams in distance learning. Based on their research, which was carried out for two years, the authors give recommendations on the organization of online exams, consider various types of control and the corresponding digital technologies that allow maintaining academic honesty. Identified possible violations during the online exam, analyzed the causes and proposed solutions. The types of exam that develop critical thinking and have zero tolerance for any violation of the academic integrity code are the open book written exam, design and practical exams, as well as testing and closed book written exam using a proctoring system. The principles that should become the norm for strengthening the culture of academic honesty are defined.

Keywords: digital technologies, academic honesty, critical thinking, proctoring system

Введение

Для получения в будущем высокого уровня компетенций высококвалифицированных специалистов и повышения качества образования на современном этапе развития вузовского обучения острым стоит вопрос о развитии культуры академической честности в Казахстанских вузах. Президент страны К.К.Токаев не раз отмечал о принятии соответствующих мер для усиления ответственности вузов за нарушение академической честности, коррупционных нарушений, вплоть до лишения лицензий.

Культура академической честности в вузах должна быть носителем миссии воспитания молодежи и ответственности перед обществом. Многие ведущие университеты мира придают большое значение поддержанию академической честности. Например, «Академическая честность» описывает ценности, которые считаются важными при обучении в университетах Великобритании. «Пять основных ценностей, над которыми мы работаем в Университете Рединга: Точность – убедитесь, что ваша работа свободна от ошибок, Честность – быть правдивым в отношении того, какие идеи являются вашими собственными, а какие получены от других, а также в отношении методов и результатов вашего исследования, Справедливость – не пытаться получить преимущество нечестными средствами: например, выдавая чужую работу за свою, Ответственность – активное участие в собственном обучении: например, путем поиска информации, необходимой для эффективного обучения, Уважение – к своим однокурсникам, своим наставникам и работе других ученых» [1]. Академическая честность как определенная совокупность правил поведения человека в академической среде, предусматривает, в первую очередь, моральную, и только во вторую - правовую составляющие регулирования этого поведения во время выполнения учебных или исследовательских задач. Академическая нечестность рассматривается сегодня как любой тип мошенничества или обмана, который связан с образовательной и научной деятельностью. Анализ системы высшего образования показал следующие особенности, которые способствуют торможению развития академической честности обучающихся:

- академическая честность обучающихся не имеет соответствующей ценности на должном уровне;
- не заинтересованность в строгом соблюдении этики академической честности, так как бюджет университетов во многом зависит от сохранения численности контингента;
- учебный процесс складывается на применении устаревших методов преподавания и оценивания;
- излишнее чувство солидарности мешает проследить академическую честность среди обучающихся;
- достаточно значимая часть обучающихся не знакома с документом, в котором присутствуют пункты о применении санкционных мер за нарушения академической этики;
- возможные негативные эмоциональные переживания, связанные со стрессовым состоянием при онлайн обучении студента.

В университетах приняты Кодексы чести студентов и преподавателей, разработаны и утверждены Правила академической честности, приняты Положения о дипломном и курсовом проектировании, предусматривающих использование программ по Антиплагиату, проводятся многочисленные семинары и различные молодежные акции, которые размещаются на сайте университета, чатах, соцсетях, лед-экране демонстрируются социальные ролики, проводятся эдвайзерские часы, где разъясняются Правила академической честности. Однако для достаточной эффективности принимаемых мер необходима еще и технологизация данного процесса, особенно при оценке знаний обучающегося.

Цель исследования предоставить обзор решений, используемые в нашей организации для контроля учебных достижений, с соблюдением должного уровня культуры академической честности путем технологизации процесса оценивания, как один из необходимых путей.

Материалы и методы

В данном исследовании применялись методы сравнительного анализа, аналитического исследования, анкетирования, статистики. За основу были взяты результаты тестирования с применением различных технологий для обеспечения академической честности и без них. Методом сравнения был осуществлен обзор аналогичных исследований и сделаны необходимые выводы. Методом синтеза были подобраны виды контроля и соответствующие им программные и аппаратные инструменты. Приоритетным направлением при контроле и оценке учебных достижений является разработка механизмов противодействия нарушениям академической честности студентами, включая плагиат или сговор. Выявленные нарушения требуют переоценки процессов разработки и применения существующих методов оценки знания, понимания и навыков, приобретенных студентами.

Мероприятия в нашем университете, направленные на противодействие проявлениям коррупции и соблюдению принципов академической честности во время сессии проводятся в соответствии с инструкциями Министерства образования и науки (<http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010768>), а также Академической политикой и Кодексом академической честности КазНУ им. аль-Фараби (<https://www.kaznu.kz/ru/20484/page>), КазНПУ им. Абая <https://www.kaznpu.kz/ru/1345/page/>. Авторами из центра тестирования КазНПУ имени Абая разработана программа, противодействия коррупции на основе SWOT - анализа факторов влияния системы менеджмента противодействия коррупции, а также реестра коррупционных рисков (Таблица 1).

Таблица 1. SWOT - анализ факторов влияния системы менеджмента противодействия коррупции

		Положительное влияние	Отрицательное влияние	
Внутренняя среда	<i>Strengths</i>	<p>Организация тестирования с видеонаблюдением</p> <p>Проведение анонимного опроса среди обучающихся во время сессии, для выявления фактов коррупции и их предотвращения</p> <p>Прозрачность сдачи интерактивного тестирования во время сессии</p> <p>Организация автоматизированного посадочного места</p> <p>Привлечение к работе студентов ВУЗа, для проверки проведения тестирования</p>	<i>Weaknesses</i>	<p>Обучающиеся получают готовую базу с тестовыми заданиями от ППС</p> <p>ППС разрабатывает тесты в не изолированном месте</p> <p>Некачественно составленные тесты</p> <p>Слабое материальное обеспечение: старые ноутбуки, клавиатуры, мышки, Интернет</p> <p>Не информированность персонала о важности тестирования</p>
	<i>Opportunities</i>	<p>Для более удобного анализа данных, и удобства опроса и апелляции среди обучающихся, требуется перейти с бумажной формы заполнения опроса на цифровой</p> <p>Совершенствовать виды тестовых заданий в соответствии с уровнями по Блуму</p> <p>Проверка проведения тестирования сотрудниками отдела по противодействию коррупции</p> <p>Привлечение к тестированию студентов-практикантов из другой организации</p> <p>Обмен опытом с другими ВУЗами</p>	<i>Threats</i>	<p>Слабая подготовка абитуриента</p> <p>Снижение качества знаний обучающихся из-за готовых баз с тестовыми заданиями, не требующих мыслительных операций</p> <p>Проверки со стороны надзорных органов</p> <p>Изменение правил тестирования</p> <p>Приход новых сотрудников</p>
Внешняя среда				

Существует целый ряд факторов, связанных с академическими проступками, в том числе мотивация студентов, индивидуальный опыт и факторы контекста.

Преподаватели и студенты формируют образовательное сообщество и культуру обучения на основе таких ценностей, как честность, доверие, справедливость, уважение и ответственность. Для разрешения поставленных задач университетом разработана целостная система повышения качества контроля и оценки учебных достижений. Главная цель программы – укрепление культуры академической честности, формирование нулевой толерантности к любым нарушениям норм академической честности во время сессии со стороны преподавателей, сотрудников и обучающихся. В программе рассмотрены наиболее важные задачи по снижению коррупционных рисков при проведении экзаменов. Для решения этих задач необходимо было внедрить систему, исключаящую конфликт интересов, а также обеспечивающую визуальный и технический мониторинг процедуры сдачи экзаменов (отслеживание логов входа в систему, логов ответа на вопросы, хронометраж времени на ответы, поведение за компьютером).

Для достижения поставленных целей с прошлого учебного года в учебный процесс внедрены следующие виды контроля с применением прокторинговой системы (таблица 2).

Таблица 2. Используемые платформы для соблюдения академической честности

Виды контроля	Платформа	Вид прокторинга	Возможности			
			Идентификация личности	Наблюдение за студентом	Отслеживание нарушений	Анализ нарушений
Тестирование	AERO Proctoring	Асинхронный	+	+	+	+
Устный	MS Teams, Zoom	Синхронный	(с проктором)	+	-	-
Close book	Оқулық, Антиплагиат	Асинхронный	+	+	+	+
Open book	Оқулық, Антиплагиат	-	-	-	-	-
Практические экзамены	MS Teams	Синхронный	(с проктором)	+		-
Проектные экзамены	MS Teams	Синхронный	(с проктором)	+	-	-

При проведении тестирования используется прокторинговая система с искусственным интеллектом "AERO Proctoring", а именно асинхронный прокторинг, который оценивает корректность процедуры после ее завершения, когда студент уже завершил экзамен. Прокторинговая система AERO дает возможность проводить и наблюдать онлайн экзамены одновременно с двух устройств на человека в режиме реального времени, использует нейронную сеть для идентификации и верификации личности с точностью 99%, анализируя поведение сдающего экзамен и выдает быстрые и эффективные отчеты, работает на низкой скорости интернета и на старых компьютерах, так как для одновременного проведения экзамена на 10000 человек, необходимо в 5 раз меньше мощностей (<https://aeroproctoring.com/>). Для сопровождения устных, проектных и практических экзаменов используется MS Teams платформа, осуществляющая контроль процесса сдачи и проверки представленных работ, и в этом случае применяется как синхронный прокторинг, при котором проктор и студент находятся в системе одновременно, проктор может прервать процедуру в случае нарушения.

Microsoft Teams — это приложение для совместной работы, которое позволяет вам и вашей группе общее образовательное пространство, работать систематизировано и оставаться на связи. Teams дает возможность общаться в чате, чтобы обсуждать интересующие вопросы по заданной теме проектной или практической работы. На платформе организуется команда и каналы, чтобы собрать обучающихся вместе и поработать с файлами ресурсов или организовать беседу. Используется календарь для соблюдения временного промежутка отведенного на экзамен. А также имеется возможность работать с другими приложениями внутри платформы для упрощения работы, и управления проектами (<https://www.microsoft.com>).

Для проведения письменных экзаменов используется прокторинговая система с искусственным интеллектом "Oqulyq". Система для проведения письменных экзаменов, осуществляющая контроль процесса сдачи и проверки письменных работ на академическую честность.

Oqulyq – это 100% казахстанский продукт, который является полностью локальным без иностранного участия. Он позволяет исключить все коррупционные риски в образовательном процессе благодаря прозрачной системе платформы. Требования к интернету максимально снижены, и система может функционировать при подключении в 52 кБ/с. Имеет интуитивный и простой интерфейс, к которому можно легко привыкнуть за минимальное количество времени.

С одной стороны, система Oqulyq включает в себя весь спектр инструментов, требуемых для проведения дистанционного обучения и контроля. Присутствует конструктор уроков и тестов/экзаменов (видео, текст, опросники, аудиофайлы, документы, формулы и др), а также возможности стриминга и видеоконференции, администрирования, аналитики и мониторинга. Система интегрирована с проверкой на плагиат, который позволяет проводить весь цикл по принципу «одного окна» без перехода в сторонние системы. Возможность формирования случайного распределения вопросов, шифрование данных пользователей, персонализация обучения.

С другой стороны выполняет функцию автоматизированного прокторинга (без установки дополнительного расширения), которая позволяет наблюдать и контролировать за процессом дистанционной проверки знаний с помощью компьютерного зрения. Производится идентификация лица, запись и анализ с веб-камеры, запись и анализ с рабочего стола, фиксации дополнительного экрана, копирования и вставок, нарушений (повороты головы, посторонние лица и др.). Присутствуют индекс доверия к сдающему, создание скриншота нарушения пользователя с указанием вида и точного времени, когда оно произошло. Имеется возможность использования синхронного прокторинга (запись с дополнительного устройства, обзор 360) (<https://oqulyq.kz/>).

Остановимся на вопросе проведения различных видов контроля с использованием цифровых платформ с точки зрения достижения уровня культуры академической честности и коррупционного риска в нашем университете. Одним из видов контроля знаний и умений обучающихся является тестирование, который состоит из системы тестовых заданий, стандартизированной процедуры проведения, обработки и анализа результатов.

Во время пандемии COVID-19 все обучение стало дистанционным и наиболее популярным видом контроля, в силу своей нетрудоемкости, стало тестирование. Многие преподаватели и обучающиеся вынужденно столкнулись с дистанционным обучением в онлайн формате. Средние результаты тестов на рисунке 1 показывали порой ошеломительный результат, порядка 95 - 100 % правильных ответов, на онлайн- тестировании. Поэтому среди преподавателей появились подозрения в академической нечестности студентов, заметного мошенничества и жульничества обучающихся на онлайн-экзаменах. Во время пандемии преподаватели выявляли факты списывания или дублирования материала в ответах студентов. Результаты весенней сессии 2019/2020 учебного года намного выше абсолютных результатов зимней экзаменационной сессии этого же учебного года. Рост наблюдался на всех факультетах университета, что подтверждает низкую культуру академической честности студента.

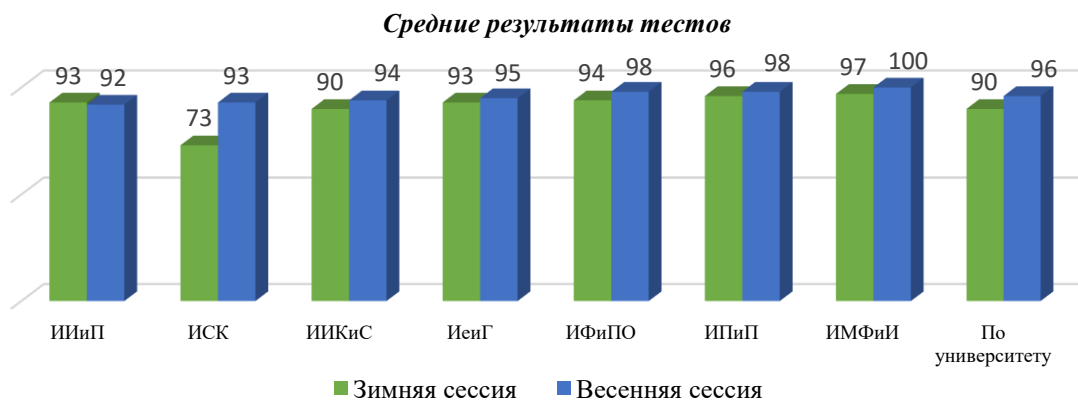


Рисунок 1. Результаты тестирования до и после перехода на онлайн обучение

Были нарушены все функции тестирования, т.е. невозможно было правильно диагностировать уровень знаний, умений, навыков обучающегося, не было должной мотивации учащегося к активизации работы по усвоению учебного материала, из-за недисциплинированности при онлайн тестировании и высоких результатах трудно было выявить и устранить пробелы в знаниях, формирующих стремление развить свои способности.

Важно адаптировать «традиционные» методы оценивания, как тестирование, к онлайн среде, чтобы оценочные задания действительно измеряли достижение результатов обучения по курсу. Необходимо добавить тестовые задания, соответствующие критериям таксономии Блума (знание, понимание, применение, анализ, оценка, создание), способствующие развитию критического мышления, что может быть использовано для изучения влияния обучения на знания и когнитивный процесс [2]. Примером таких заданий служат контекстные задания, цепные задания, задания на соответствие, задания на определение последовательности и т.д. Разработка конкретных и информативных критериев оценивания и их связь с политикой оценивания курса приобретают еще большее значение для обучающихся в режиме онлайн [3]. Кроме того, важно предоставить таким студентам разнообразные возможности для отслеживания прогресса в их обучении, причем своевременная и детальная обратная связь.

Необходимо было принимать меры по устранению данных недостатков и исследовать виды контроля в онлайн обучении. Наиболее эффективным методом было использование цифровых технологий, в силу своих возможностей проводить и наблюдать онлайн экзамены в режиме реального времени, оценивать корректность процедуры после ее завершения. Цифровые технологии помогают удовлетворить разнообразные потребности обучающихся с помощью альтернативных форматов и инструментов оценивания. Принимая решение о применении технологий в оценивании, преподавателям рекомендуется рассматривать этот процесс с точки зрения учебных возможностей, которые благодаря данным технологиям становятся доступными для студентов.

При тестировании в нашем университете используется прокторинговая система с искусственным интеллектом "AERO Proctoring". Для ее применения необходимо согласование оценивания с результатами и методами обучения и преподавания [4]. Технологии, применяемые для оценивания должны служить достижению образовательной цели [5]. Например, для оценки результатов обучения, ориентированных на развитие у студентов критического мышления, аналитических и исследовательских навыков, на формирование навыков работы в команде, навыков лидерства, творчества, цифровых навыков и медийной грамотности может не подойти тестирование с выбором готового ответа с использованием информационных технологий (ИС Univer и "AERO Proctoring"). Несмотря на наличие вариантов онлайн-наблюдения за студентами во время экзамена, традиционные экзамены (тестирование с выбором готового ответа, письменный экзамен с закрытой книгой и устные экзамены по билетам в аудитории) могут оказаться сложными для администрирования в онлайн-среде, поэтому следует рассмотреть альтернативные онлайн-методы оценивания:

- письменный экзамен с закрытой книгой (ответы на три вопроса выбранных рандомным методом);
- письменный экзамен с открытой книгой (отчеты, кейс-стади или эссе);
- проектные экзамены (групповые или мини проекты);
- устные экзамены (устные презентации, интервью или буктрейлеры);
- практические экзамены (создание видеоматериала или подкаста студентом, задание на рефлексивную практику и/или электронные портфолио; постер-презентации, представленные в электронном виде).

Но в процессе использования альтернативных способов оценивания возникает важный вид академического мошенничества, такой как плагиат. Чтобы предотвратить любые проблемы с академической честностью, преподаватели могут дополнять некоторые письменные проекты синхронными экзаменами или другими типами заданий, требующих немедленных ответов. Чтобы избежать плагиата, преподаватели должны информировать студентов о политике университета в отношении академической честности и поощрять студентов проверять свои задания с помощью платформы. Поэтому выбор правильной платформы для проверки работ студентов на плагиат приобретает критически важное значение. Наконец, важно быть справедливым и беспристрастным в отношениях с обучающимися в онлайн-среде. платформа включает соблюдение студентами сроков сдачи выполненных заданий (кроме тех случаев, когда трудности в обучении у определенных студентов очевидны); оценивание (исключая случаи, когда студенты оказались в невыгодном

положении из-за плохого доступа к Интернету или технологических ограничений) и обеспечение равного доступа к ресурсам курса.

С точки зрения справедливости, результаты проверки, должны интерпретироваться с осторожностью, что требует подготовки преподавателей, так как итогом отчета является процент сходства, а не процент плагиата. Платформа должна не ограничиваться обнаружением нарушений академической честности, она также должна быть способна помочь студентам развить навыки академического письма и критического мышления.

Цифровая система Антиплагиат при проверке документа дословным перекрытием текста представляет собой классическое сравнение строк. Проверка подозрительных документов в этой ситуации требует расчета и хранения эффективно сопоставимые представления всех документов в справочной коллекции, которые сравниваются попарно. Как правило, используют модели, такие как суффиксное дерево или суффиксный массив, которые были адаптированы для выполнения этой задачи в контексте компьютерного обнаружения плагиата. Однако сопоставление подстроки является нежизнеспособным решением для проверки больших коллекций документов (алгоритм обрабатывает в среднем $2h$ сравнений, где h – длина строки, в которой ведется поиск) [6].

К одному из видов альтернативного контроля знаний и умений обучающихся относится письменный экзамен с «закрытой книгой». Для соблюдения академической честности в нашем университете используется СДО Oqu1uq с автоматизированной прокторинговой системой и проводится по темам, сгенерированным программой. Мониторинг за ходом экзамена осуществляется автоматизированной прокторинговой системой. Составляется 60 вопросов – 2 теоретических и 1 практический. Письменные работы обучающихся и результаты прокторинговой системы проверяются и оцениваются преподавателем и ревьюером. Средняя оценка преподавателя и ревьюера выставляется как итоговая. Для повышения уровня культуры академической честности и развития критического мышления также рекомендуется разработать задания проблемного характера, чтобы обучающийся не мог записать заученные готовые ответы, а рассуждать и доказать определенные высказывания.

Письменный экзамен с «открытой книгой» без прокторинговой системы представляет собой процесс выполнения задания в течение недели. Задание обучающимся выдается в день начала экзамена и выполняется на дому в течение 5-7 дней. Система Oqu1uq выбирает и фиксирует одно задание для обучающегося (это может быть либо кейс, либо эссе). Перед педагогами стоит задача достигнуть учебные цели, как развитие навыков конструктивной критики использованных источников; развитие аналитического мышления; развитие практических навыков работы с информацией; развитие навыков разработки управленческих решений; освоение современных управленческих и социально психологических технологий; повышение коммуникативной компетентности; повышение мотивации к обучению и профессиональному развитию [7].

Командная проектная работа выполняется в течение недели, и чтобы не нарушать академическую честность защищается в виде презентации в соответствии с расписанием экзаменов преподавателю и членам комиссии. Ведется видеозапись всего процесса экзамена, используя платформу с синхронной прокторинговой системой MS Teams. Проект позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно применять свои знания в процессе решения исследовательских задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, практического и творческого мышления.

Практический экзамен с синхронной прокторинговой системой оценивает практические способности, при котором обучающиеся проявляют свои знания, способность выполнять задания. В этом случае обучающиеся должны продемонстрировать свои умения, способности, применение полученных знаний (это могут быть испытания по созданию портфолио, или задание по конструированию какой-либо вещи или предмета, или демонстрация моторных, артистических и т. п. навыков). Для соблюдения академической честности рекомендуется прикрепить цифровой след в виде видео, фото и аудиоматериалов в зависимости типа задания. Обучающийся, получив задание выполняет его в домашних условиях в электронном виде (разрешается пользоваться любой справочной, учебной литературой и интернетом) в течение недели и защищает презентацию в соответствии с расписанием экзаменов преподавателю и членами комиссии, посредством сервиса MsTeams. Ведется видеозапись всего процесса экзамена. Покажем на рисунках 2, 3 мониторинг результатов тестирования искусственным интеллектом AERO в нашем университете.

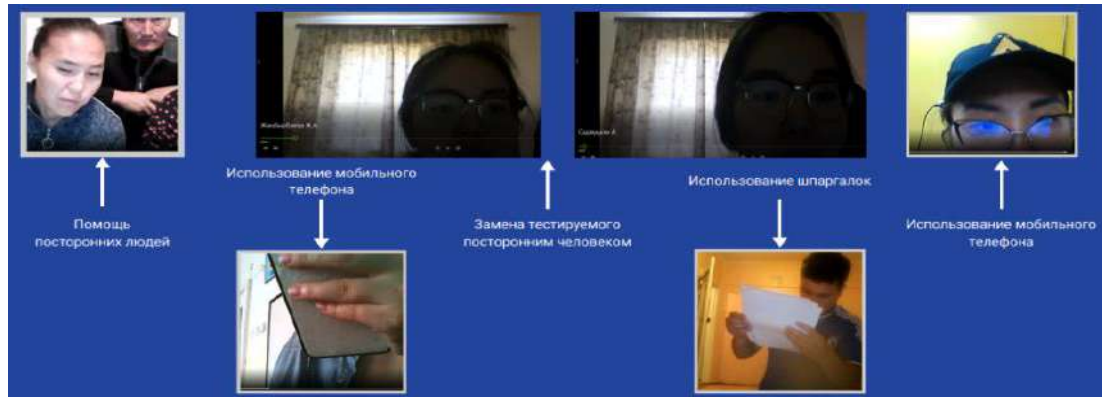


Рисунок 2. Несоблюдение культуры академической честности во время тестирования

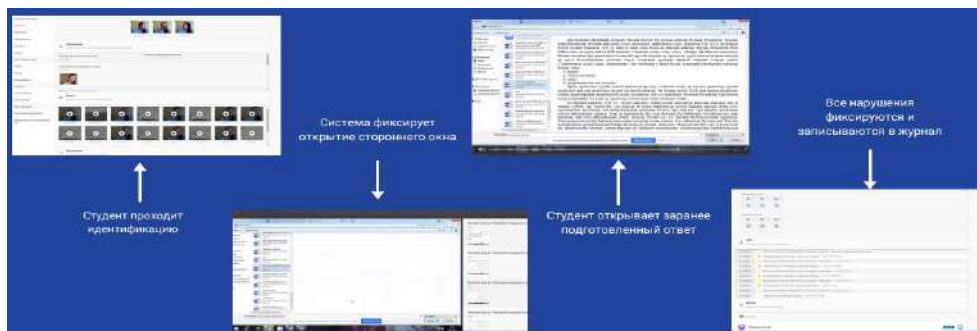


Рисунок 3. Несоблюдение культуры академической честности во время письменных экзаменов, выявленное с помощью искусственного интеллекта СДО Oqylyq

Покажем на рисунке 2, 3 мониторинг результатов тестирования искусственным интеллектом AERO в нашем университете. Нарушения во время тестирования, выявленные прокторинговой системой с искусственным интеллектом AERO. Некоторые преподаватели недобросовестно относятся к своим обязанностям при проверке результатов экзаменов. На рисунке 4 приведены данные ответов студентов, которые писали произвольный тест (не связанный с поставленным вопросом), а преподаватель оценил их положительно. Все нарушения академической честности, допускаемые преподавателем, сотрудниками и обучающимися Abai University, подлежат рассмотрению на заседаниях институтских комиссий по этике Меры, применяемые при нарушении академической честности, служат для исправления и формирования надлежащего отношения к академической честности.

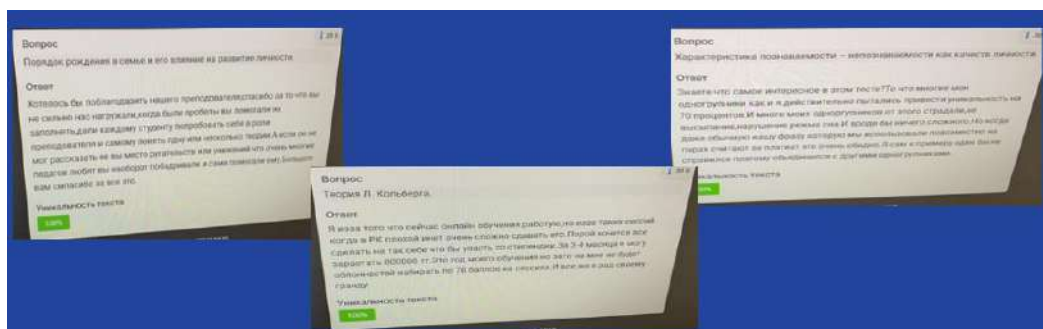


Рисунок 4. Несоблюдение культуры академической честности во время письменных экзаменов, выявленное в ходе постмодерации ревьюером

Принципы, которые должны стать нормой для укрепления культуры академической честности: создание атмосферы снижающей возможности нарушения академической честности; должное реагирование на любое нарушение академической честности; тесное взаимодействие всего университетского сообщества Abai University, основанное на доверии.

Обсуждение

В научных работах были проанализированы ответы обучающихся на открытые вопросы, можно ли мошенничать и списывать на онлайн тестах при наличии/отсутствии прокторинга. по итогам опроса, обучающиеся показали, что результаты контроля знаний при онлайн обучения не является показателем эффективности обучения и преподавателям, и администраторам необходимо задуматься о таких оценках учащихся. Налицо преобладание в восприятии студентами мошенничества в Интернете как вину самого факультета и университета, в которых не улучшают культуру в классе, чтобы способствовать академической честности и прозрачности. В работе использованы подход R. J. Di Pietro к теории ролей, теория морального развития Кольберга [8], концепция нейтрализации Сайкса и Митзой [9]. Теория запланированного поведения утверждает, что списывание происходит, когда у учащегося есть как намерение смошенничать, так и возможность [10]. В работе было сопоставление мнений студентов с указанными теориями. Цифровые технологии вносят огромные изменения в образование, навыки и занятость. Эти изменения отражают то, как технологии играют все более важную роль в образовании [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Разработка типологии, основанной на концептуальной модели, которая позволяет идентифицировать три профиля учителей, появившихся во время пандемии: опытные учителя, увлеченные учителя и осторожные учителя. Исследования [18, 19] показали, что основной переменной, влияющей на соответствие учителя одному из этих профилей, является уровень цифровой грамотности до кризиса. Оценка и мониторинг обучения во время кризиса covid-19 проанализированы в работах [20, 21].

Заключение

Таким образом академическая нечестность достаточно широко распространена среди студентов при сдаче онлайн экзаменов. Чтобы решить данную проблему, университеты должны использовать цифровые ресурсы при контроле знаний, которые эффективно помогают выявлять нарушения и снизить их количество. А также представлена психологическая картина моральной лояльности обучающихся к списыванию. Это говорит о том, что необходимо уделять больше внимания нормам этического поведения в университете и доводить их до обучающегося. Осведомленность студентов и преподавателей о конкретных правилах, которые действуют в университете в отношении нарушений норм добросовестности в учебе, должна быть на высшем уровне. Все обучающиеся и преподаватели прекрасно знают, что мошенничать нельзя, но какие именно действия расцениваются как факт мошенничества и каковы могут быть последствия, представляют плохо.

Необходимо разрабатывать такие задания для проверки результатов обучения, которые мотивируют обучающихся развивать мышление более высокого уровня, навыки решения проблем в определенном контексте и демонстрировать свой личный опыт обучения. Обучить преподавателей использовать цифровые технологии по проверке на плагиат, чтобы они могли принимать обоснованные решения об академической честности по работам студентов.

Также тщательная разработка методов оценивания имеет особое значение для проблем, связанных с академической честностью: она помогает минимизировать возможности для плагиата и других нарушений академической честности.

Список использованных источников:

- 1 Adapted from International Center for Academic Integrity (2014), *Основополагающие ценности академической честности*, 2-е изд. онлайн по адресу <https://academicintegrity.org/wp-content/uploads/2017/12/Fundamental-Values-2014.pdf>, accessed 27 July 2018.).
- 2 Андерсон, Л. В., и Кратвол, Д. Р. (2001). *Таксономия обучения, преподавания и оценки: пересмотр таксономии образовательных целей Блума: полное издание*. Нью-Йорк: Лонгман
- 3 Балыкбаев Т., Исабаева Д., Рахимжанова Л., Жанысбекова С. *Дистанционное обучение в КазНПУ им. Абая: модели и технологии. SIST 2021 - 2021 Международная конференция IEEE по интеллектуальным информационным системам и технологиям*, 2021, 9465980
- 4 I. Darazha, R. Lyazzat, A. Ulzharkyn, Z. Saira and Z. Manat, "Digital Competence of a Teacher in a Pandemic," 2021 9th International Conference on Information and Education Technology (ICIET), Okayama, Japan, 2021, pp. 324-328, doi: 10.1109/ICIET51873.2021.9419644.
- 5 *Разработка образовательных программ: локальные ответы на глобальные вызовы высшего образования. Монография / Аида Сагинтаева, Айжан Мусина, Алия Сулейменова, Руслан Каратабанов, Кайрат Куракбаев, Дункан Пристли, – Нур-Султан: Высшая школа образования Назарбаев Университета, 2021. – 236 с.* https://gse.nu.edu.kz/wp-content/uploads/2021/06/Razработка-obrazovatelnyh-programm_rus.pdf

- 6 Monostori, K., Zaslavsky, A., & Schmidt, H. (2000). Document Overlap Detection System for Distributed Digital Libraries. 226 - 227. conference;, New York NY USA.
- 7 Киселева Е.В., Скворцова Л.И. Методические указания по выполнению кейс-заданий Вологда 2017.
- 8 <https://edintegrity.biomedcentral.com/articles/10.1007/s40979-021-00089-3#Sec17>
- 9 Сакес Г. М., Мица Д. Методы нейтрализации: теория правонарушений. - Американское социологическое обозрение, 22, 1957, с. 664-670.
- 10 Мухаммад Имран Куреши. Цифровые технологии в образовании 4.0. Повышает ли это эффективность обучения Систематический обзор литературы. <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/20291>
- 11 Академические и социальные проблемы студентов во время пандемии COVID-19. Азза Аль-Маскари, Турайя Аль-Риями, Сирадж К. Кунджумхаммед <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10592-2>
- 12 Изучение отношения студентов к электронному обучению во время кризиса (пандемия COVID-19) <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10591-3>
- 13 «Работа на дому – одна из крупнейших катастроф»: анализ отзывов студентов южноафриканского университета во время карантина из-за Covid-19. Ильза Фуше и Грант Эндрюс. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10652-7>
- 14 Дистанционное экстренное обучение во время COVID-19 и его влияние на восприятие студентами вузов смешанного обучения в КСА <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10660-7>
- 15 Тематический анализ восприятия студентами высших учебных заведений онлайн-обучения в Гонконге в условиях COVID-19: вызовы, стратегии и поддержка <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10656-3>
- 16 Подготовка и практика онлайн-образования во время пандемии Covid-19: исследование Бангладеш и Непала <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10659-0>
- 17 Преодоление преподавательского состава в экстремальной ситуации: переход от традиционного обучения к онлайн-обучению <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10675-0>
- 18 Ospankulov, E., Abdigapbarova, U., Rahimzhanova, L., Nazarbekova, K., Isabaeva, Z. (2022) Using the digital platform in personalized student learning. ACM International Conference Proceeding Series [Using the digital platform in personalized student learning. ACM International Conference Proceeding Series,] (in English)
- 19 Дистанционное обучение во время COVID-19: когнитивные оценки и восприятие учащихся, изучающих английский язык (emi) <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10678-x>
- 20 Мониторинг и оценка учебных достижений учащихся в результате учебной деятельности с помощью методика stem образования для развития их творческих способностей мышления и отношения к наукам учеников средних 11 классов на классах физики <https://oapub.org/edu/index.php/ejes/article/view/765>
- 21 Руководство: оценка и мониторинг обучения во время кризиса COVID-19 https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/learning_assessments_during_covid-19_final.pdf

References:

- 1 Adapted from International Center for Academic Integrity (2014) [Adapted from International Center for Academic Integrity] Fundamental Values of Academic Integrity, 2nd ed., online at <https://academicintegrity.org/wp-content/uploads/2017/12/Fundamental-Values-2014.pdf> (in English)
- 2 Anderson, L. V., i Kratvol, D. R. (2001). Taksonomija obuchenija, prepodavanija i ocenki: peresmotr taksonomii obrazovatel'nyh celej Bluma: polnoe izdanie. [The Taxonomy of Learning, Teaching, and Evaluation: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Goals: Complete Edition] N'ju-Jork: Longman (in Russian)
- 3 Balykbaev T., Isabaeva D., Rahimzhanova L., Zhanyzbekova S. (2021) Distancionnoe obuchenie v KazNPU im. Abaja: modeli i tehnologii. [Distance learning at KazNPU named after Abaya: models and technologies]. SIST 2021 - 2021 Mezhdunarodnaja konferencija IEEE po intellektual'nyim informacionnym sistemam i tehnologijam, 9465980 (in Russian)
- 4 I. Darazha, R. Lyazzat, A. Ulzharkyn, Z. Saira and Z. Manat, "Digital Competence of a Teacher in a Pandemic," 2021 9th International Conference on Information and Education Technology (ICIET), Okayama, Japan, 2021, pp. 324-328, doi: 10.1109/ICIET51873.2021.9419644.
- 5 Sagintayeva A, Musina A, Suleimenova A, Karatabanov R, Kurakbayev K, Priestley D, Razrabotka obrazovatel'nyh programm: lokal'nye otvety na global'nye vyzovy vysshego obrazovaniya. Monografija /[Development of educational programs: local responses to global challenges of higher education. Monograph]. Nur-Sultan: Vysshaja shkola obrazovaniya Nazarbaev Universiteta https://gse.nu.edu.kz/wp-content/uploads/2021/06/Razrabotka-obrazovatelnyh-programm_rus.pdf (in Russian)
- 6 Monostori, K., Zaslavsky, A., & Schmidt, H. (2000). Document Overlap Detection System for Distributed Digital Libraries. 226 - 227. conference;, New York NY USA.
- 7 Kiseleva E.V., Skvorcova L.I. (2017) Metodicheskie ukazaniya po vypolneniju kejs-zadaniy [Guidelines for the implementation of case tasks]. (in Russian)
- 8 <https://edintegrity.biomedcentral.com/articles/10.1007/s40979-021-00089-3#Sec17>
- 9 Sakes G. M., Mica D. (1957) Metody nejtralizacii: teorija pravonarushenij. [Methods of neutralization: the theory of offenses.] - Amerikanskoe sociologicheskoe obozrenie (in Russian)

10 Muhammad I K (2021) *Cifrovye tehnologii v obrazovanii 4.0. Povyshaet li jeto jeffektivnost' obuchenija* [Digital technologies in education 4.0. Does it increase the effectiveness of learning] *Sistematicheskij obzor literatury*. <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/20291>

11 Azza Al-Maskari, Turaya Al-Riyami, Siraj K. Kunjumuhammed *Academicheskije i social'nye problemy studentov vo vremja pandemii COVID-19* [Academic and social problems of students during the COVID-19 pandemic] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10592-2>] (in Russian)

12 *Izuchenie otnoshenija studentov k jelektronnomu obucheniju vo vremja krizisa (pandemija COVID-19)* [Studying students' attitudes to e-learning during the crisis (COVID-19 pandemic)] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10591-3> (in Russian)

13 Elsa Fouche and Grant Andrews «*Rabota na domu — odna iz krupnejshih katastrof*»: *analiz otzyvov studentov juzhnoafrikanskogo universiteta vo vremja karantina iz-za Covid-19* ["Working from home is one of the biggest disasters": an analysis of feedback from students at a South African university during quarantine due to Covid—19] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10652-7> (in Russian)

14 *Distancionnoe jekstrennoe obuchenie vo vremja COVID-19 i ego vlijanie na vosprijatie studentami vuzov smeshannogo obuchenija v KSA* [Remote emergency training during COVID-19 and its impact on the perception of university students of mixed learning in the KSA] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10660-7> (in Russian)

15 *Tematicheskij analiz vosprijatija studentami vysshih uchebnyh zavedenij onlajn-obuchenija v Gonkonge v uslovijah COVID-19: vyzovy, strategii i podderzhka* [Thematic analysis of the perception of students of higher education institutions of online learning in Hong Kong in the context of COVID-19: challenges, strategies and support] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10656-3> (in Russian)

16 *Podgotovka i praktika onlajn-obrazovanija vo vremja pandemii Covid-19: issledovanie Bangladesh i Nepala* [Preparation and practice of online education during the Covid-19 pandemic: a study of Bangladesh and Nepal] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10659-0> (in Russian)

17 *Preodolenie prepodavatel'skogo sostava v jekstremal'noj situacii: perehod ot tradicionnogo obuchenija k onlajn-obucheniju* [Overcoming the teaching staff in an extreme situation: the transition from traditional learning to online learning] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10675-0> (in Russian)

18 Ospankulov, E., Abdigapbarova, U., Rahimzhanova, L., Nazarbekova, K., Isabaeva, Z. (2022) *Using the digital platform in personalized student learning*. *ACM International Conference Proceeding Series* [Using the digital platform in personalized student learning. *ACM International Conference Proceeding Series*,] (in English)

19 *Distancionnoe obuchenie vo vremja covid-19: kognitivnye ocenki i vosprijatie uchashhihsja, izuchajushhih anglijskij jazyk (emi)* [Distance Learning during COVID-19: Cognitive assessments and perceptions of English Language Learners (email)] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10678-x> (in Russian)

20 *Monitoring i ocenka uchebnyh dostizhenij uchashhihsja v rezul'tate uchebnoj dejatel'nosti s pomoshh'ju metodika stem obrazovanija dlja razvitija ih tvorcheskikh sposobnostej myshlenija i otnoshenija k naukam uchenikov srednih 11 klassov na klassah fiziki* [Monitoring and evaluation of educational achievements of students as a result of educational activities using the stem education methodology for the development of their creative abilities thinking and attitude to the sciences of students of the middle 11th grades in physics classes] <https://oapub.org/edu/index.php/ejes/article/view/765> (in Russian)

21 *Rukovodstvo: ocenka i monitoring obuchenija vo vremja krizisa covid-19* [Guidance: Assessment and monitoring of learning during the covid-19 crisis] https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/learning_assessments_during_covid-19_final.pdf (in Russian)

МРНТИ 20.01.45
УДК 378.147:004.7

<https://doi.org/10.51889/9461.2022.42.27.032>

Е.Ы. Бидайбеков¹, А.В. Гриншкун², Н.Т. Ошанова^{1*}

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

²Мәскеу қалалық педагогикалық университеті, Мәскеу қ., Ресей

*e-mail: nurzhamal_o_t@mail.ru

ИММЕРСИВТІ БІЛІМ БЕРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ВИРТУАЛДЫЛЫҚТЫҢ ОРНЫ

Аңдатпа

Мақала оқу құралдарының көрнекілігі мен интербелсенділігі арқылы білім беру үдерісінің тиімділігін арттырудың қолданыстағы әдістерін талдауға арналған. Авторлар құралдардың екі негізгі түрін – шынайы және виртуалды нысандар деп бөледі. Шынайылар нысанның физикалық қасиеттерін барынша толық зерттеуге, сонымен қатар, жұмыс дағдыларын дамытуға, ал виртуалдылары жаппай білім беруде қол жетімді емес нәрселерді көрсетуге мүмкіндік береді. Иммерсивті технологиялар екі тәсілдің де артықшылықтарын көп жағынан біріктіруге мүмкіндік береді. Бұл жағдайда толықтырылған виртуалдылық технология физикалық кері байланысты сақтай отырып, білім алушының қолжетімсіз ортаға енуіне, сонымен қатар жұмыс дағдыларын дамытуына мүмкіндік береді. Оның үстіне технология толықтырылған және виртуалдық шынайылыққа қарағанда жаппай білім беруде іс жүзінде қолданылмайды. Мұндай технологияны сәтті қолдану үшін әдістемелік қамтамасыз етуді әзірлеу қажет.

Түйін сөздер: білім беруді акпараттандыру, толықтырылған шынайылық, виртуалдық шынайылық, толықтырылған виртуалдылық, аралас шынайылық.

Аннотация

Е.Ы. Бидайбеков¹, А.В. Гриншкун², Н.Т. Ошанова¹

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

²Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

МЕСТО ДОПОЛНЕННОЙ ВИРТУАЛЬНОСТИ В СИСТЕМЕ ИММЕРСИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Статья посвящена анализу существующих способов повышения эффективности образовательного процесса за счет наглядности и интерактивности средств обучения. Авторами было выделено два основных вида средств – реальные и виртуальные объекты. Реальные позволяют наиболее полно изучить физические свойства объекта, а также выработать рабочие навыки, а виртуальные продемонстрировать то, что недоступно в массовом образовании. Иммерсивные технологии позволяют во многом объединить преимущества обоих подходов. При этом технология дополненной виртуальности позволяет погрузить обучающегося в недоступное окружение с сохранением физической обратной связи, а также возможностью выработки рабочих навыков. При этом технология практически не применяется в массовом образовании, в отличие от дополненной и виртуальной реальности. Для успешного применения такой технологии необходима проработка методического обеспечения.

Ключевые слова: информатизация образования, дополненная реальность, виртуальная реальность, дополненная виртуальность, смешанная реальность.

Abstract

THE PLACE OF AUGMENTED VIRTUALITY IN THE SYSTEM OF IMMERSIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

Bidaibekov E.¹, Grinshkun A.², Oshanova N.¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

The article is devoted to the analysis of existing ways to improve the effectiveness of the educational process due to the visibility and interactivity of learning tools. The authors identified two main types of funds – real and virtual objects. Real ones allow you to study the physical properties of an object most fully, as well as develop working skills, and virtual ones demonstrate what is not available in mass education. Immersive technologies allow us to combine the advantages of both approaches in many ways. At the same time, augmented virtuality technology allows you to immerse the student in an inaccessible environment while maintaining physical feedback, as well as the ability to develop working skills. At the

same time, the technology is practically not used in mass education, unlike augmented and virtual reality. For the successful application of such technology, it is necessary to study the methodological support.

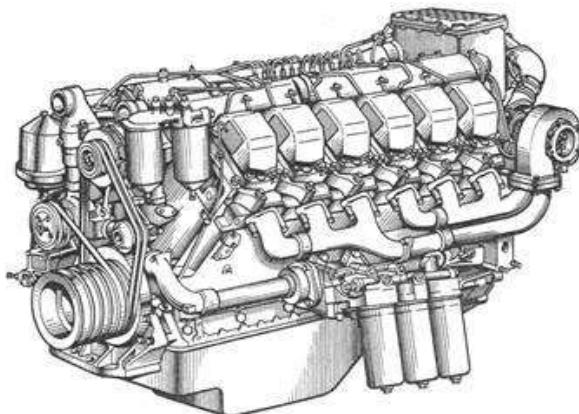
Keywords: informatization of education, augmented reality, virtual reality, augmented virtuality, mixed reality.

Кіріспе

Оқу үдерісінің жоғары тиімділігінің маңызды шарты оқу материалдарының көрнекілігі мен интерактивтілігі болып табылады. Оқу материалдарының көрнекілігі білім алушылардың әртүрлі нысандарды, үдерістер мен құбылыстарды меңгеруін, негізінен зерттелетін элементтің визуалды көрінісі есебінен, жеңілдету үшін қажет. Сонымен қатар, бұл білім алушылардың мотивациясын арттырып, тақырыпты меңгеру уақытын едәуір қысқартады.

Оқу материалдарының көрнекілігін арттырудың ең көп таралған әдістерінің бірі - бір нәрсенің бейнелерін пайдалану. Бейнелер ретінде суреттерді, фотосуреттерді, сұлбелерді, графиктерді, карталарды және т.б. алуға болады. Оларды әзірлеп, көбейту қиын емес. Оларды тек электрондық түрде ғана емес, сонымен қатар қағаз тасымалдағыштардың көмегімен де шығарып алуға болады.

Алайда, пәнмен тіпті визуалды танысу үшін де бейнелер көбінесе жеткіліксіз, өйткені ол тек автор таңдаған тұрғыдан ғана, нысан не құбылыстың нақты мысалы және т.б. (мүмкін, әрдайым көрнекі болмайтын) ретінде қол жетімді болады. Статикалық суреттің көмегімен күрделі үдерістер мен құбылыстардың мәнін жеткізу өте қиын. (ол әрдайым көрнекі бола бермейді). Сонымен қатар, білім алушы қандай да бір түзетулер енгізіңіз немесе белгілі бір жағдайларда арнайы алгоритм бойынша бүктеңіз немесе кесіңіз деген бойынша бейнемен (кескінмен) көп нәрсе жасай алмас. Оқу материалдарының көрнекілігін арттырудың бұл әдісі қазіргі білім беру жүйесінде қажет, бірақ жеткіліксіз (1-суретті қараңыз).



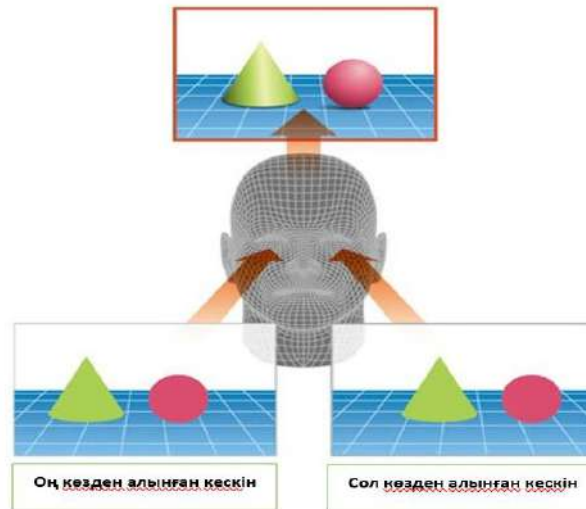
Сурет 1. Статикалық кескін барлық жағынан күрделі құрылғының құрылымын ғана емес, оның жұмыс принципін де толық зерттеуге мүмкіндік бермейді

Сонымен қатар, кескіндер ақпараттың басқа түрлерін – дыбысты (құстардың әні, қозғалтқыштың шуы, т.б.), тактильді (текстура, жылу өткізгіштік және т.б.), әртүрлі иістерді (затты иісі бойынша анықтау) және т.б. беруге мүмкіндік бермейді. Соңғы онжылдықтарда кеңінен тараған материалдардың көрнекілігін арттырудың тағы бір жолы - бейнероликтерді пайдалану. Бейнежазбаның көмегімен динамикадағы кез келген құбылысты немесе үдерісті көрсетуге, сондай-ақ бір нысанды бірнеше қырынан көрсетуге қазірдің өзінде мүмкіндік бар. Сонымен қатар, ақпаратты таратудың жаңа дыбыстық арнасы пайда болды. Дегенмен, бейнероликтерді ойнату қазір арнайы жабдықты қажет етеді және оны әзірлеу үдерісі әдетте статикалық кескіндерге қарағанда әлдеқайда күрделі. Сонымен қатар, оқушы мұндай материалдармен іс жүзінде әрекеттесе алмайды. Оқушы тек ағымдағы ойнату уақытын тек жеке жұмыс барысында басқара алады.

Қазіргі уақытта материалдардың көрнекілігін арттырудың негізгі жолы - әртүрлі физикалық модельдерді, сонымен қатар нақты нысандармен әрекеттесу негізіндегі зертханалық жұмыстарды пайдалану. Оқу нысандарының бұл түрі көрнекіліктің жоғары дәрежесі (сезім мүшелерінің көпшілігіне әсер ету), сонымен қатар интербелсенділік (кез келген жұмысты өз бетінше орындау) есебінен оқытудың ең үлкен тиімділігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, осы әдіске негізделген

оқу іс-әрекетінің дәлдігі мен шынайылығына қазіргі жағдайда қол жеткізу мүмкін емес және басқалардың ішіндегі ең үлкені.

Физикалық нысандардың арқасында студенттер бинокулярлық көру, жарықтандыру ерекшеліктері, сондай-ақ тактильді өзара әрекеттесу арқылы нысандардың нақты өлшемдерін дәлірек сезіне алады. Жылу өткізгіштік пен текстураның сезімі зерттелетін нысанның материалын дәлірек білуге және анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, нақты зертханалық және практикалық жұмыстардың көмегімен болашақта адамның өмірі мен жұмысында қолдануға болатын жұмыс дағдыларын дамытуға болады (2-суретті қараңыз).



Сурет 2. Бинокулярлық көруді қолдану нысандардың өлшемдерін, арақашықтықтарын дәлірек анықтауға мүмкіндік береді және нысандарды зерттеудің толықтығына айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

Алайда, нақты нысандарды пайдаланудың маңызды кемшілігі - бұқаралық білім беру жүйесінің шынайылықтар шеңберінде мұндай материалдардың қол жетімділігіндегі шектеулер. Сонымен, мектепте радиоактивті материалдармен олардың қауіптілігі мен жоғары бағасына байланысты зертханалық жұмыс жүргізу мүмкін емес, медициналық білім беру мекемелерінде студенттер адамгершілікке байланысты тірі адамдарға өз бетінше операция жасай алмайды және т. б. Ішінара, мұндай шектеулер белгілі бір қасиеттер тақырыбын зерттеу тұрғысынан мағыналы болатын арнайы жасалған модельдердің көмегімен шешіледі, бірақ мұндай тәсіл барлық жағдайларға сәйкес келмейді. Кейде мұндай модель жасау өте қымбат немесе мүмкін емес. Сонымен қатар, кейде тіпті қол жетімді нақты нысандар де көрнекі емес немесе зерттеу қиын болуы мүмкін [1].

Компьютерлік виртуалды модельдер, керісінше, нысанды, үдерісті немесе құбылысты мұндай шектеулерсіз көрсетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мұндай модельдер білім алушы мен оқу материалының өзара әрекеттесуінің жоғары дәрежесін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Заманауи ақпараттық технологиялар әртүрлі нысандарды, үдерістер мен құбылыстарды жоғары дәрежеде айқындық пен сенімділікпен модельдеуге мүмкіндік береді, бұл бұрын қол жетімсіз зертханалық жұмыстар мен демонстрациялар жүргізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мұндай оқыту үдерісін жүзеге асыру үшін көптеген жағдайларда қазіргі уақытта жалпыға қол жетімді компьютерлік жабдықтар мен бағдарламалық қамтамасыз ету жеткілікті. Алайда, компьютерлік виртуалды модельдер нысандардың, үдерістердің және құбылыстардың барлық қасиеттерін дұрыс жеткізе алмайды, бұл ұқсас нақты модельдерді қолданумен салыстырғанда мұндай оқытудың тиімділігін төмендетеді. Ақпаратты енгізу мен шығарудың стандартты құрылғылары нысанның өлшемдерін беруге және қажетті дағдыларды дамытуға мүмкіндік бермейді. Виртуалды интерактивті жұмыс тек статикалық кескінді немесе бейнені көрсетуден гөрі жақсы.

Оқу материалдарын пайдалану кезінде виртуалды модельдеуге ғана емес, иллюстрациялар мен бейнелерге де қатысты «иеліктен шығару» әсерінде проблема бар. Білім алушылар мұндай материалдарды «тікелей эфирде» көрген нақты демонстрациялар сияқты сапалы қабылдамайды, бұл белгілі бір демонстрация мен нақты нысан арасындағы ассоциативті байланысты бұзуы мүмкін [2].

Осылайша, кемшіліктерді жою кезінде қандай технологиялар екі тәсілдің артықшылықтарын алуға көмектесетінін түсіну маңызды. Осындай технологиялардың бірі иммерсивті технологиялар кеңістігіне қатысты толықтырылған виртуалдылық технологиясы болуы мүмкін.

Зерттеу әдістемесі

Авторлар білім беруде қарқынды технологияларды қолдануға, сондай-ақ осындай құралдардың кемшіліктерін анықтауға арналған әртүрлі зерттеулерге бастапқы талдау жүргізді. Бұл білім беруде толықтырылған виртуалдылық технологиясын қолдану әдістемесін әзірлеу саласындағы одан әрі зерттеудің перспективалық бағытын анықтауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері

Толықтырылған виртуалдылық технологиясы қол жетімді нысандармен немесе алмастырғыш модельдермен физикалық өзара әрекеттесу мүмкіндігін сақтай отырып, білім алушыны қол жетімсіз ортаға тасымалдауға мүмкіндік береді. Виртуалдық шынайылықтан айырмашылығы, бұл жағдайда нысандардың физикалық қасиеттерін беруге, ұсақ моториканы қолдануға, сондай-ақ жұмыс дағдыларын дамытуға болады. Алайда технологияны білім беру үдерісіне тиімді енгізу үшін мәселені одан әрі әдістемелік пысықтау қажет.

Бірте-бірте белгілі бір тәсілдердің жағымсыз факторларын, соның ішінде виртуалды және шынайы нысандар мен олардың артықшылықтарын пайдалану үшін кеңістіктерді біріктіру арқылы азайтуға мүмкіндік беретін технологиялар пайда болады.

Мұндай технологиялардың ішінде виртуалды нысандарды шынайы кеңістікке және керісінше контекстке тәуелді «енгізу» арқылы нақты және виртуалды нысандар мен әлемдерді шынайы «араластыруға» мүмкіндік беретін иммерсивті технологиялар класын атап өткен жөн [3].

Сонымен, иммерсивті технологиялар оларды оқу үдерісінде қолданған кезде виртуалды модельдердің «иеліктен шығару» әсерін шынайы қоршаған ортамен салыстырғанда әр түрлі шынайы нысандарға контексттік тәуелділік, кеңістіктегі орналасу, сондай-ақ білім алушының іс-әрекетіне неғұрлым жергілікті интеграция арқылы азайтуға мүмкіндік береді (3-суретті қараңыз).



Сурет 3. Иммерсивті технологиялар виртуалды және шынайы кеңістік арасындағы шекараларды жойып, оқу тиімділігін арттырады

Сонымен қатар, иммерсивті технологиялардың көпшілігі виртуалды нысандармен табиғи және шынайы түрде өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді, бұл әсіресе үш өлшемді шынайы немесе виртуалды кеңістікте жұмыс істегенде маңызды [4]. Сонымен қатар, жалпақ экран мен стандартты манипуляторлардың көмегімен көлемді кеңістікпен жұмыс істеу үшін күрделі дайындық қажет емес, сонымен қатар әртүрлі практикалық-бағытталған дағдыларды дамытуға, үйлестіруді дамытуға және бұрын қол жетімді емес өзара әрекеттесу түрлерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, әртүрлі нақты пайдаланушы интерфейстерін, соның ішінде механикалық интерфейстерді шынайы ұқсатуға болады. «Иммерсивті технологиялар» сияқты терминді толық қолдану үшін оны анықтап, оған кіретін компоненттердің жіктелуін анықтау қажет. Иммерсивті технологиялар (ағылш. Immersive-батыру) - шынайы және виртуалды нысандар мен кеңістіктердің өзара әрекеттесу мүмкіндігімен және нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін адам үшін шынайы үйлесімділікке бағытталған технологиялар. Иммерсиялық технологияның негізгі классификациясы - Милграм континуумы [5] (4-суретті қараңыз), ол тікелей қатысты табылады, онда сол жақтағы әр түрлі иммерсивті технологиялар оңға қарай виртуалды ұлғайту және нақты азайту дәрежесі бойынша көрсетіледі.



Сурет 4. Шынайылық-виртуалдылық Милграм континуумы

Бұл континуумда шекаралар дәл қай жерде өтетіндігі бойынша нақты бөліну жоқ. Континуумда келесі элементтер бар:

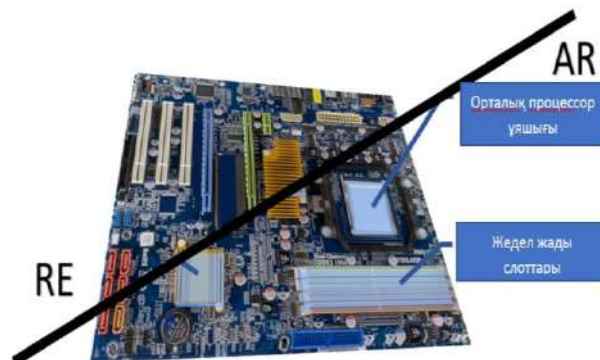
1. Шынайы орта (Real Environment ағылш.)- тек адамға тікелей берілетін қоршаған әлемнің нақты нысандарынан тұрады. Шынайы ортаға «терезе» кіреді, ол компьютердің дисплейі бола алады. Яғни, компьютерде бейнелерді көру - бұл шынайы орта.

2. Толықтырылған шынайылық (Augmented Reality ағылш.) - бұл шынайы ортаға байланыстыра отырып, шынайы кеңістікке виртуалды нысандарды шынайы түрде қосуға мүмкіндік беретін технология [6].

3. Толықтырылған виртуалдылық (Augmented Virtuality ағылш.) - бұл виртуалды кеңістікке өзара әрекеттесу мүмкіндігі бар нақты нысандарды қосуға мүмкіндік беретін технология [7].

4. Виртуалды шынайылық (Virtual Reality ағылш.) - адамды толық виртуалды кеңістікке жеткізу технологиясы [8].

Әр түрлі иммерсивті технологиялар түрлі қасиеттерге, артықшылықтар мен кемшіліктерге, сондай-ақ қолдану салаларына ие. Сонымен, толықтырылған шынайылық технологиясы қол жетімді ортада виртуалды нысандарды пайдаланушының шынайы ортасына қосу арқылы білім алушының қол жетімсіз нысандармен өзара әрекеттесуіне мүмкіндік береді. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда арнайы физикалық алмастырғыш модельдерді қолданған кезде немесе қол жетімді, бірақ зерттеуге қиын нақты нысанға виртуалды ақпарат қабатын қосқан кезде тактильді кері байланыс сақталуы мүмкін (5-суретті қараңыз).



Сурет 5. Толықтырылған шынайылық (AR) технологиясы қол жетімді нақты нысандардың (RE) көрнекілігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл ретте тактильді кері байланыс және жұмыс дағдыларын дамыту мүмкіндігі сақталады.

Қорытынды

Виртуалды шынайылық технологиясын қол жетімсіз нысандармен өзара әрекеттесу мүмкіндігін сақтай отырып, білім алушыны қол жетімсіз ортаға орналастыру қажет болған кезде қолданған жөн [9,10]. Алайда, бұл жағдайда пайдаланушы виртуалды нысандармен өзара әрекеттесуден толық тактильді қайтарым алмайды, яғни мұндай оқыту толық болмайды және жұмыс дағдыларын дамытуға, әсіресе ұсақ моторикамен жұмыс істегенде мүмкіндік бермейді. Осылайша, ең танымал иммерсивті технологиялар (AR және VR) физикалық кері байланысты, ұсақ моториканы және толыққанды жұмыс дағдыларын дамыта отырып, нысандармен толыққанды өзара әрекеттесу мүмкіндігін сақтай отырып, білім алушыны қолжетімсіз кеңістікке толық көшіруге мүмкіндік бермейді [11].

Виртуалды түрде толықтырылған ең аз танымал және кең таралған технология қол жетімді нақты нысандарды немесе олардың физикалық алмастырғыш модельдерін виртуалды кеңістікке көшіру арқылы бұл мәселені шешуге мүмкіндік береді [12]. Осылайша, білім алушы бір уақытта виртуалды кеңістікте бола алады және физикалық кері байланысы бар нақты нысандармен жұмыс істей алады. Осылайша, ұсақ моториканың жұмысы, сондай-ақ жұмыс дағдыларын дамыту мүмкін [13].

Алайда, іске асырудың күрделілігі мен таралуының аздығына байланысты бұл технология білім беруде қолдану тұрғысынан аз зерттелген. Осылайша, тиімді қолдану үшін мәселені тек техникалық қамтамасыз етумен ғана емес, сонымен бірге әдістемелік мәселемен де шешу қажет. Белгіленген мәселелерді шеше отырып, білім беруде иммерсивтік технологияларды қолданудың тиімділігін едәуір арттыруға, сондай-ақ оқу үдерісі тұрғысынан кемшіліктері аз виртуалды шынайылық технологиясынан толықтырылған виртуалдылыққа көшуді жүзеге асыра отырып, орынды қолдану саласын кеңейтуге болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Bidaibekov, E., Grinshkun, V. *System Should Respond to the Technological Development and Informatization of the Society Communications in Computer and Information Science* this link is disabled, 2021, 1204 CCIS, pp. 26–33

2 N. Sun, J. Botev (2021). *Intelligent autonomous agents and trust in virtual reality / Computers in Human Behavior Reports / Volume 4. ISSN 2451-9588. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100146>.*

3 Lénaïc B. Cadet, H. Chainay (2021). *How preadolescents and adults remember and experience virtual reality: The role of avatar incarnation, emotion, and sense of presence / International Journal of Child-Computer Interaction. Volume 29. ISSN 2212-8689. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100299>.*

4 Elena V. Soboleva, Tatyana N. Suvorova, Aleksandr V. Grinshkun, Magomedkhan M. Nimatulaev, *Formation of Group Creative Thinking When Working with Virtual Walls / European Journal of Contemporary Education. 2021. 10(3): 726-739. URL: http://ejournal1.com/journals_n/1633688281.pdf SCOPUS Q2*

5 P. Milgram, A.F. Kishino, *Taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information and Systems, 2013, pp. 1321–1329*

6 Aleksandr V. Grinshkun, Marina S. Perevozchikova, Elena V. Razova, Irina Yu. Khlobystova *Using Methods and Means of the Augmented Reality Technology When Training Future Teachers of the Digital School / European Journal of Contemporary Education. 2021. 10(2): 358-374. DOI: 10.13187/ejced.2021.2.358 URL: http://ejournal1.com/journals_n/1625229425.pdf SCOPUS Q2*

7 Levickij M.L. *Immersivnye tekhnologii: sposoby dopolneniya virtual'nosti i vozmozhnosti ih ispol'zovaniya v obrazovanii / Levickij M.L., Grinshkun A.V. / Vestnik MGPU. Seriya: informatika i informatizaciya obrazovaniya. M.: MGPU, 2020. №3 (53). 21-25 ss. (VAK)*

8 Haley E. Yaremych, S. Persky (2019). *Tracing physical behavior in virtual reality: A narrative review of applications to social psychology / Journal of Experimental Social Psychology. Volume 85. ISSN 0022-1031. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2019.103845>.*

9 P. Hořejší, “Augmented reality system for virtual training of parts assembly,” *Procedia Engineering*, vol. 100, pp. 699–706, 2015.

10 N. Gavish, T. Gutiérrez, S. Webel, J. Rodríguez, M. Peveri, U. Bockholt, and F. Tecchia, “Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks,” *Interactive Learning Environments*, vol. 23, pp. 778–798, 2015.

11 W. Barfield, “Haptic augmented reality: Taxonomy, research status, and challenges,” in *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, pp. 246–277, CRC Press, 2015.

12 D. Johansson, de Vin, L. J., *Towards convergence in a virtual environment: Omnidirectional movement, physical feedback, social interaction and vision. Mechatronic Systems Journal (November 2011)*

13 Hoffmann, M., Meisen, T., Jeschke, S. (2016). *Shifting Virtual Reality Education to the Next Level – Experiencing Remote Laboratories Through Mixed Reality. In: Jeschke, S., Isenhardt, I., Hees, F., Henning, K. (eds) Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42620-4_23*

References:

1 Bidaibekov, E., Grinshkun, V. *System Should Respond to the Technological Development and Informatization of the Society Communications in Computer and Information Science* this link is disabled, 2021, 1204 CCIS, pp. 26–33

2 N. Sun, J. Botev (2021). *Intelligent autonomous agents and trust in virtual reality / Computers in Human Behavior Reports / Volume 4. ISSN 2451-9588. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100146>.*

3 Lénaïc B. Cadet, H. Chainay (2021). *How preadolescents and adults remember and experience virtual reality: The role of avatar incarnation, emotion, and sense of presence* / *International Journal of Child-Computer Interaction*. Volume 29. ISSN 2212-8689. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100299>.

4 Elena V. Soboleva, Tatyana N. Suvorova, Aleksandr V. Grinshkun, Magomedkhan M. Nimatulaev, *Formation of Group Creative Thinking When Working with Virtual Walls* / *European Journal of Contemporary Education*. 2021. 10(3): 726-739. URL: http://ejournal1.com/journals_n/1633688281.pdf SCOPUS Q2

5 P. Milgram, A.F. Kishino, *Taxonomy of mixed reality visual displays*. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 2013, pp. 1321–1329

6 Aleksandr V. Grinshkun, Marina S. Perevozchikova, Elena V. Razova, Irina Yu. Khlobystova *Using Methods and Means of the Augmented Reality Technology When Training Future Teachers of the Digital School* / *European Journal of Contemporary Education*. 2021. 10(2): 358-374. DOI: 10.13187/ejced.2021.2.358 URL: http://ejournal1.com/journals_n/1625229425.pdf SCOPUS Q2

8 Levickij M.L. *Immersivnye tekhnologii: sposoby dopolneniya virtual'nosti i vozmozhnosti ih ispol'zovaniya v obrazovanii* / Levickij M.L., Grinshkun A.V. / *Vestnik MGPU. Seriya: informatika i informatizaciya obrazovaniya*. M.: MGPU, 2020. №3 (53). 21-25 ss. (VAK)

9 Haley E. Yaremych, S. Persky (2019). *Tracing physical behavior in virtual reality: A narrative review of applications to social psychology* / *Journal of Experimental Social Psychology*. Volume 85. ISSN 0022-1031. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2019.103845>.

10 P. Hořejší, “Augmented reality system for virtual training of parts assembly,” *Procedia Engineering*, vol. 100, pp. 699–706, 2015.

11 N. Gavish, T. Gutiérrez, S. Webel, J. Rodríguez, M. Peveri, U. Bockholt, and F. Tecchia, “Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks,” *Interactive Learning Environments*, vol. 23, pp. 778–798, 2015.

11 W. Barfleld, “Haptic augmented reality: Taxonomy, research status, and challenges,” in *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, pp. 246–277, CRC Press, 2015.

12 D. Johansson, de Vin, L. J., *Towards convergence in a virtual environment: Omnidirectional movement, physical feedback, social interaction and vision*. *Mechatronic Systems Journal* (November 2011)

13 Hoffmann, M., Meisen, T., Jeschke, S. (2016). *Shifting Virtual Reality Education to the Next Level – Experiencing Remote Laboratories Through Mixed Reality*. In: Jeschke, S., Isenhardt, I., Hees, F., Henning, K. (eds) *Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42620-4_23

МРНТИ 20.01.45
УДК 378.147: 004.7

<https://doi.org/10.51889/5407.2022.28.23.031>

Е.Ы. Бидайбеков¹, А.В. Гриншкун², Ш.Т. Шекербекова¹, М. Ревшенова¹, Е.Х. Жабаев^{1*}

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

² Мәскеу қалалық педагогикалық университеті, Мәскеу қ., Ресей

*e-mail: ermahan_zh.h@mail.ru

БІЛІМ БЕРУДЕ ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ВИРТУАЛДЫЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ІСКЕ АСЫРУ МҮМКІНДІКТЕРІ

Аңдатпа

Мақала толықтырылған виртуалдылық түрлерін тұжырымдауға арналған, олардың ішінде пайдаланушы денесінің бөліктерін виртуалды кеңістікке «тасымалдау» ерекшеленді, бұл нысандармен шынайы өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді; нысандармен жұмыс істеу кезінде физикалық кері байланысты қамтамасыз ететін виртуалды кеңістікке нақты нысандарды «тасымалдау»; білім алушыларды батыру әсерін барынша арттыру үшін қолданылатын нақты және виртуалды кеңістіктің «синхронизациясы». Сондай-ақ, шындықты толықтыру тәсілдері анықталды, оның ішінде тасымалдау, ол қол жетпейтін ортада, бірақ батыру әсерін жоғалту арқылы қол жетімді нысандармен толық жұмыс істеуге мүмкіндік береді; өзгертілген тасымалдау қол жетімді нысанға қол жетімді емес функционалдылықты қосады; көшірме қол жетімді нысандарды пайдалану кезінде батыру әсерін арттырады; өзгертілген көшірме сүңгуір әсерін сақтай отырып, қол жетімді емес функционалдылықты қосады. Осылайша, білім беру қажеттілігіне байланысты толықтырылған виртуалдылық жүйесін жүзеге асыруда құралдар мен түрлердің әртүрлі комбинациясын таңдалға болады.

Түйін сөздер: білім беруді ақпараттандыру, толықтырылған виртуалдылық, аралас шынайылық, иммерсивтілік, иммерсивті технологиялар.

Аннотация

Е.Ы. Бидайбеков¹, А.В. Гриншкун², Ш.Т. Шекербекова¹, М. Ревшенова¹, Е.Х. Жабаев¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Республика Казахстан

²Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ ВИРТУАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАНИИ

Статья посвящена формулированию видов дополненной виртуальности, среди которых были выделены «перенос» частей тела пользователя в виртуальное пространство, которое позволяет более реалистично взаимодействовать с объектами; «перенос» других людей в виртуальное пространство, реализующую более точную коммуникацию между людьми; «перенос» реальных объектов в виртуальное пространство, которое обеспечивает физическую обратную связь при работе с объектами; «синхронизация» реального и виртуального пространства, применяющееся для максимального эффекта погружения обучающегося. Также были выделены способы дополнения реальности, среди которых перенос, который позволяет полноценно работать с доступными объектами в недоступной среде, но с потерей эффекта погружения; модифицированный перенос добавляет недоступный функционал имеющемуся объекту; копия увеличивает эффект погружения при использовании доступных объектов; модифицированная копия добавляет недоступный функционал с сохранением эффекта погружения. Таким образом, в зависимости от образовательной потребности может быть выбрана различная комбинация средств и видов при реализации системы дополненной виртуальности.

Ключевые слова: информатизация образования, дополненная виртуальность, смешанная реальность, иммерсивность, иммерсивные технологии.

Abstract

THE POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING AUGMENTED VIRTUALITY TECHNOLOGY IN EDUCATION

Bidaibekov E.Y.¹, Grinshkun A.V.², Shekerbekova Sh.T.¹, Revshenova M.¹, Zhabaev E.H.¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

The article is devoted to the formulation of types of augmented virtuality, among which were highlighted the "transfer" of user body parts into virtual space, which allows for more realistic interaction with objects; the "transfer" of other people into virtual space, which implements more accurate communication between people; the "transfer" of real objects into

virtual space, which provides physical feedback when working with objects; "synchronization" of real and virtual space, used to maximize the effect of immersion of the student. There were also identified ways to complement reality, among which the transfer, which allows you to fully work with accessible objects in an inaccessible environment, but with the loss of the immersion effect; the modified transfer adds inaccessible functionality to the existing object; the copy increases the immersion effect when using available objects; the modified copy adds inaccessible functionality while maintaining the immersion effect. Thus, depending on the educational need, a different combination of means and types can be chosen when implementing an augmented virtuality system.

Keywords: informatization of education, augmented virtuality, mixed reality, immersiveness, immersive technologies.

Кіріспе

Бұл зерттеуде толықтырылған виртуалдылық сияқты иммерсивті технологияны білім беруде қолдану әдістеріне талдау жасалды. Толықтырылған виртуалдылық технологиясының кәдімгі виртуалды шынайылық технологиясынан айырмашылығы, тактильді өзара әрекеттесу мүмкіндігін сақтай отырып, пайдаланушыны виртуалды ортаға тасымалдауға мүмкіндік береді [1]. Технологияның білім беру әлеуеті өте жоғары, бірақ техникалық және әдістемелік қамтамасыз етудің болмауына байланысты бұл құрал жаппай білім беруде іс жүзінде қолданылмайды, ірі бизнес пен өндіріс сияқты үлкен ресурстарға ие салалардың құзыретінде қала береді [2]. Толықтырылған виртуалдылық технологиясының негізгі қасиеттерін, қолдану салаларын және оны білім беруде қолдану тәсілдерін анықтай отырып, оқу процесінің тиімділігін арттыру үшін білім беруде осындай технологияны жүзеге асырудың негізгі принциптерін тұжырымдауға болады.

Зерттеу әдістері

Толықтырылған виртуалдылық технологиясына алғашқы талдау жасалды. Технологияны іске асырудың негізгі тәсілдерін талдау арқылы білім беру әлеуетін бағалау жүзеге асырылды.

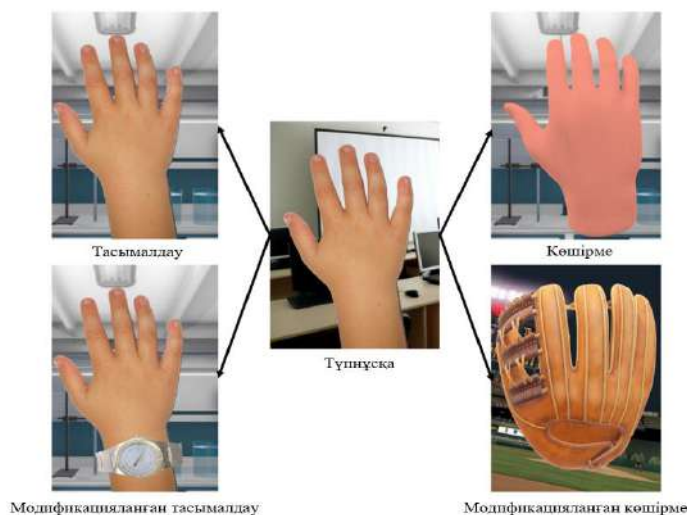
Нәтиже

Виртуалды толықтырудың барлық түрлерін нақты нысандарды виртуалды кеңістікке тасымалдаудың әртүрлі тәсілдері арқылы жүзеге асыруға болады: көшірме, тасымалдау, өзгертілген көшірме, өзгертілген тасымалдау. Бұл жағдайда қолайлы әдіс білім беру міндеттеріне, сондай-ақ қол жетімді толықтырылған виртуалды платформаның техникалық мүмкіндіктеріне байланысты таңдалады. Виртуалдылықты толықтырудың бірінші түрі *пайдаланушы денесінің бөліктерін виртуалды кеңістікке «тасымалдау»* болып табылады (1-суретті қараңыз). Осылайша, нақты және виртуалды нысандармен өзара әрекеттесу нақты деңгейде болады, бұл есептер мен тапсырмаларды орындау кезінде жұмыс дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл толықтырылған виртуалдылық жүйелері үшін анағұрлым өзекті болып табылады, өйткені егер виртуалды заттармен мамандандырылған манипуляторлардың көмегімен өзара әрекеттесу салыстырмалы түрде ыңғайлы болса, онда нақты нысандармен тікелей дене бөліктерімен – қолмен, аяқпен, денемен немесе баспен жұмыс істеу әлдеқайда оңай және ыңғайлы [3]. Виртуалдылықты толықтырудың осы түрін мақсатқа сай қолданудың мысалы ретінде басқару пульстері [4] сияқты қол жетімді емес күрделі нысандарды зерттеу болып табылады, мұнда әртүрлі басқару элементтерін әртүрлі тәсілдермен басқаруға болады – батырмалар, тұтқалар, слайдері және т.б.



Сурет 1. Классикалық компьютерлік енгізу құрылғыларымен емес, тікелей қолмен үш өлшемді виртуалды кеңістіктегі объектілерді манипуляциялау шынайы, ыңғайлы және көрнекі

Адам денесінің бөліктерін «тасымалдау» кезінде нақты нысандарды тасымалдау әдісін таңдау үшін әр технологияның ерекшеліктерін ескеріп, қойылған білім беру мақсаттары мен міндеттерімен салыстыру қажет (2- суретті қараңыз). Сонымен, егер манипуляциялардың максималды дәлдігі қажет болса, онда *тасымалдауды* қолданған жөн. *Өзгертілген тасымалдау* манипуляцияның жоғары дәлдігін қосымша функционалдылықпен біріктіруге мүмкіндік береді, дегенмен кез келген тасымалдау графика мен нақты кескіндегі айырмашылықтарға байланысты иммерсивтілік сезімін бұзады [5].



Сурет 2. Пайдаланушы денесінің бөліктерін виртуалды кеңістікке «тасымалдау» білім беру міндеттеріне және техникалық іске асыру мүмкіндігіне байланысты таңдалатын нақты нысандарды тасымалдаудың барлық төрт әдісімен жүзеге асырылуы мүмкін

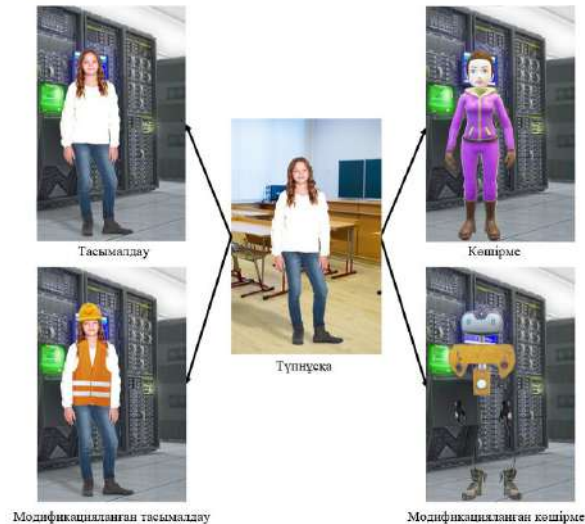
Керісінше, көшірме пайдаланушының виртуалды кеңістікке ену дәрежесін жақсартта алады, сонымен қатар нақты нысандармен байланысы жоқ виртуалды шынайылық нысандармен өзара әрекеттесу кезінде визуализация дәрежесін арттыруға мүмкіндік береді және сонымен бірге қозғалыстардың дәлдігін айтарлықтай жоғалтпайды. Модификацияланған көшірме негізгі функционалдылықты барынша кеңейтуге мүмкіндік береді, бірақ қозғалыстардың берілу дәлдігін едәуір төмендетуі мүмкін, бұл ұсақ моториканы қолдану қажет болған жағдайда бұл әдісті жоққа шығарады. Виртуалды толықтырудың екінші түрі басқа адамдарды виртуалды кеңістікке "тасымалдауға" бағытталған (3-суретті қараңыз). Осының арқасында ақпаратты берудің вербалды емес арналарын байланысқа қосу арқылы көп қолданушыны модельдеу кезінде толық байланыс орнатуға болады. Сондай-ақ, тасымалдаудың бұл түрі кез-келген қозғалысты немесе тұрған тұрысын дәлірек және жан-жақты беру қажет болған жағдайда пайдалы болады [6].



Сурет 3. Егер адамды виртуалды үш өлшемді кеңістікке толығымен ауыстырсаңыз, онда сіздің мысалыңызда оқытуға, сондай-ақ басқа білім алушылардың әрекеттерін түзетуге мүмкіндік болады

Виртуалдылықты толықтырудың бұл түрі ең алдымен басқа адамдармен жұмыс істеуге бағытталғандықтан, шынайылықты толықтыру әдісін таңдау көбінесе пайдаланушылардың бір бөлмеде болуына және олардың нақты жағдайы виртуалдыға қатысты болуына байланысты.

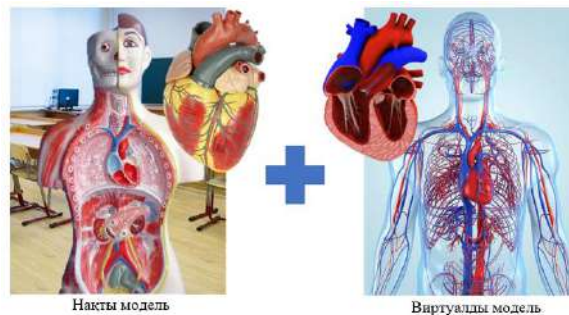
Тасымалдау адамның сыртқы түрін және барлық әрекеттерін мүмкіндігінше дәл жеткізуге мүмкіндік береді, бірақ көбінесе нақты және виртуалды кеңістікте орналасқан жерді синхрондаумен жергілікті көп ойыншы (бір бөлмеде) режимінде ғана мүмкін болады. Модификацияланған тасымалдау, әдетте, пайдаланушының сыртқы түрін ішінара өзгерту қажет болған жағдайда қолданылады, мысалы, киімді қолайлы етіп ауыстыру. Виртуалды көшірме (аватар), адамды шындықтан виртуалды әлемге аудару үшін "цифрландыруды" жеңілдетуге мүмкіндік береді. Аватарлар бастапқы адамға ұқсас болуы мүмкін, содан кейін бұл әдісті көшірме деп атауға немесе кез-келген басқа кейіпкерге ұқсауға болады, бұл жағдайда оны өзгертілген көшірмеге жатқызуға болады (4-суретті қараңыз). Виртуалдылықты толықтырудың осы түрін мақсатқа сай қолданудың мысалы-басқа мәдениеттерді және тілді зерттеу [7,8], бұл кезде мимика, дене қимылы, көзқарас бағыты сияқты және т.б. вербалды емес қарым-қатынас тәсілдерін жеткізу маңызды болған кезде пайдаланылады.



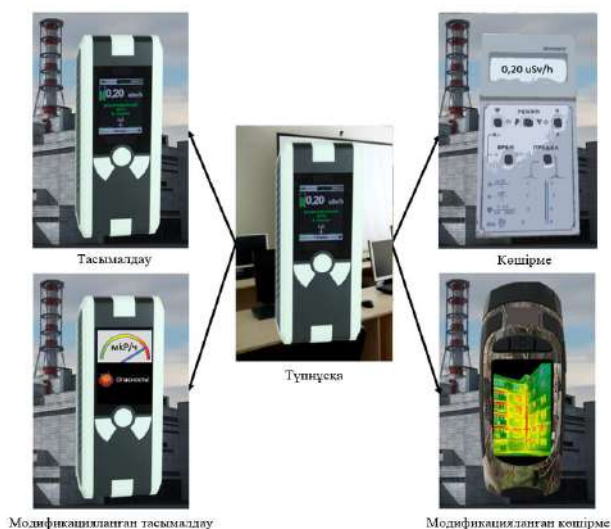
Сурет 4. Басқа адамдарды виртуалды кеңістікке «тасымалдау» үшін виртуалдылықты толықтыру әдісін таңдау көбінесе адамның «цифрландыруындағы» қиындықтарға, сондай-ақ қозғалыстарды одан әрі оқуға байланысты шектеулі

Виртуалды толықтырудың үшінші түрі - нақты нысандарды виртуалды кеңістікке «тасымалдау» (5-суретті қараңыз). Бұл түрдің басты артықшылығы - Виртуалды кеңістіктегі жұмыс нысандарына тактильді кері байланыс қосу. Ол нақты нысандардың көмегімен жүзеге асырылады – виртуалды кеңістікпен синхрондалған модельдер немесе нақты, соның арқасында нақты әлемдегі әсері виртуалды болады [9].

Виртуалдылықты толықтырудың бұл түрін жүзеге асыру көбінесе қандай нысандар бар екеніне, сондай-ақ олардың виртуалды кеңістікте толық жұмыс істей алатынына байланысты (6-суретті қараңыз). Сонымен, егер нысан нақты әлемде толық жұмыс істейтін болса және оны виртуалды әлемге қасиеттері мен функцияларын жоғалтпай тасымалдауға болатын болса, тасымалдау орынды болады. Шынайылықты толықтырудың бұл әдісі ең шынайы болады [10].



Сурет 5. Нақты нысандарды виртуалды кеңістікке «тасымалдау» нақты модельдерді анимациялауды жүзеге асыруға, сондай-ақ нысанның сыртқы түрін ауыстыруға және оның интерактивтілік дәрежесін арттыруға мүмкіндік береді



Сурет 6. Толықтырылған шынайылық түрін жүзеге асыру нақты нысандарды виртуалды кеңістікке «көшіру» - ең кең таралған және іске асырудың қарапайымдыларының бірі. Сонымен қатар, бұл қол жетімді емес ортада нақты құралдарды қолдануға ғана емес, сонымен қатар қол жетімді емес жабдықпен жұмыс істеуге мүмкіндік береді

Егер құрылғы виртуалды кеңістікте толық жұмыс істей алмаса немесе нақты нысан тек дәл, бірақ функционалды модель болмаса, онда виртуалды қабаттардың көмегімен жетіспейтін функционалдылықты қосуға мүмкіндік беретін өзгертілген тасымалдауды қолданған жөн. Көшірме қажетті нысан сыртқы түрі бойынша қол жетімді болған кезде, сондай-ақ пайдаланушының сүңгу деңгейін арттыру міндеті тұрған кезде қолданылады. Сонымен қатар, өзгертілген көшірме тіпті қарапайым бос орындарды нақты нысан ретінде пайдалануға немесе нақты нысанның функционалдығын айтарлықтай өзгертуге мүмкіндік береді. Виртуалдылықты толықтырудың осы түрін орынды қолданудың мысалы - жұмыс дағдыларын игеру және ұсақ моторикамен жұмыс – мысалы, электронды микроскоппен өзара әрекеттесу. Виртуалды толықтырудың төртінші түрі - нақты және виртуалды кеңістікті «синхрондау» (7-суретті қараңыз). Бұл түрдің басты артықшылығы - виртуалды нысандардың көпшілігінде нақты көшірмелері болғандықтан, сүңгуір эффектінің ең толық іске асырылуы болып табылады.



Сурет 7. Нақты және виртуалды кеңістікті «синхрондау» виртуалды шынайылыққа ұқсас, бірақ нақты нысандардың арқасында тактильді кері байланыс бар, бұл батыру деңгейін жоғарылатады, сонымен қатар қоршаған ортамен ыңғайлы және шынайы қарым-қатынас жасауға мүмкіндік береді

Іске асырудың ерекшелігіне байланысты нақты және виртуалды әлемді синхрондау көбінесе көшірме мен өзгертілген көшірменің көмегімен жүзеге асырылады. Ол үшін виртуалдылықты толықтыру үшін әртүрлі нысандардың – нақты немесе 3D модельдер базасы бар модельдердің көп саны қолданылады. Осы әдіс арқылы кеңейтілген виртуалдылық технологиясы ең күрделі және күрделі модельдеулерді жүзеге асыруға мүмкіндік береді [11]. Виртуалдылықты толықтырудың осы түрін орынды қолданудың мысалы - белгілі, бірақ қазіргі уақытта қол жетімді емес жұмыс кеңістігінде дағдыларды дамыту. Мысалы, ғарыш станциясында немесе кранға, немесе ұшаққа ұқсас техникалық күрделі құрылғының кабинасында жұмыс істеуге дайындық [12]. Нақты нысандарды виртуалды

кеңістікке тасымалдаудың анықталған тәсілдері кеңейтілген виртуалдылық технологиясына негізделген білім беру жүйелерін тиімдірек жобалауға және қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл жіктеу әр жүйе үшін нақты техникалық шешімді таңдауды және әзірлеуді жеңілдетеді.

Қорытынды

Білім беруде кеңейтілген виртуалдылық технологиясын қолданудың келесі түрлері анықталды:

- пайдаланушы денесінің бөліктерін виртуалды кеңістікке "тасымалдау" нысандармен шынайы өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді;

- басқа адамдарды виртуалды кеңістікке "тасымалдау" адамдар арасында дәлірек байланыс орнатуға мүмкіндік береді;

- нақты нысандарды виртуалды кеңістікке "тасымалдау" нысандармен жұмыс істеу кезінде физикалық кері байланысты жүзеге асыруға мүмкіндік береді;

- нақты және виртуалды кеңістікті "синхрондау" білім алушыны суға батырудың максималды әсеріне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, виртуалдылықты толықтыру жолдары тұжырымдалды:

- тасымалдау қол жетімді емес ортада қол жетімді нысандармен толық жұмыс істеуге мүмкіндік береді, бірақ батыру әсерін жоғалтады;

- өзгертілген тасымалдау қол жетімді нысанға қол жетімді емес функционалдылықты қосуға мүмкіндік береді;

- көшірме қол жетімді жабдықты пайдалану кезінде батыру әсерін арттыруға мүмкіндік береді;

- өзгертілген көшірме сүңгуір әсерін сақтай отырып, қол жетімді емес функционалдылықты қосуға мүмкіндік береді.

Осылайша, қажеттіліктерге байланысты виртуалдылықты толықтыру тәсілдерінің және кеңейтілген виртуалдылық түрлерінің әртүрлі комбинацияларын қолданған жөн.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Нурбекова Ж.К., Сембаев Т. М. Оқу үрдісінде қолданылатын толықтырылған шынайылық қосымшаларын жасақтау орталарына талдау // Вестник Казахского национального педагогического университета. – 2020. – № 3. – С. 81-88.

2 Гриншкун А.В. Использование дополненной виртуальности как иммерсивной образовательной технологии в рамках профильного обучения школьников / Профильная школа Т. 8, №4. М: Прудников Владимир Михайлович, 2020. 27-31 сс.

3 Полтавский А.В. и др. Информационная модель распознавания образов / Полтавский А.В., Юрков Н.К., Нефедьев Д.И., Гриншкун А.В. / Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2017. Т. 2. С. 114–117. – ISSN: 2220-6418

4 Асланов, Р.Э. Тренажер токарной и фрезерной обработки на основе компьютерных моделей с использованием технологий виртуальной реальности / Р. Э. Асланов, А. А. Большаков // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 9. – С. 17-20. – DOI 10.25728/avtprom.2022.09.03. – EDN KPCNWM.

5 Бидайбеков Е.Б., Шекербекова Ш.Т., Жаббаев Е.Х. «Лабораторный практикум по предмету "Компьютерные сети и веб-технологии" (с использованием дополненной реальности): Учебное пособие. - Алматы: Ұлағат, 2022. -92 стр.

6 Elena V. Soboleva, Tatyana N. Suvorova, Aleksandr V. Grinshkun, Magomedkhan M. Nimatulaev, Formation of Group Creative Thinking When Working with Virtual Walls / European Journal of Contemporary Education. 2021. 10(3): 726-739. URL: http://ejournal1.com/journals_n/1633688281.pdf

7 Шунина, Л. А. Возможности онлайн сервисов для визуализации учебной информации / Л. А. Шунина, С. А. Баженова // Информатизация непрерывного образования - 2018: материалы Международной научной конференции: в 2 томах, Москва, 14–17 октября 2018 года / Под общей редакцией В. В. Гриншкуна. – Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2018. – С. 413-416. – EDN IWSPEZ.

8 Aguerreche, L., Duval, T., Lécuyer, A.: Comparison of Three Interactive Techniques for Collaborative Manipulation of Objects in Virtual Reality in CGI (Computer Graphics International) (Singapore, 2010).

9 Cani D.L., C., Breyer, F.B., Kelner, J. (2016). Remote HRI and Mixed Reality, an Ontology. In: Marcus, A. (eds) Design, User Experience, and Usability: Technological Contexts. DUXU 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 9748. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40406-6_23

10 Zhang, T., McCarthy, Z., Jow, O., Lee, D., Chen, X.: Deep imitation learning for complex manipulation tasks from virtual reality teleoperation. In: Lynch, K. (Hrsg) IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 21–25 May 2018, S 5628–5635 (2018)

11 Ens, B. et al.: Revisiting collaboration through mixed reality: The evolution of groupware. *Computer Supported Cooperative Work* 131, 81–98 (2019).

12 Deacon, T., Barthelet, M. (2023). *Spatial Design Considerations for Interactive Audio in Virtual Reality*. In: Geronazzo, M., Serafin, S. (eds) *Sonic Interactions in Virtual Environments*. *Human-Computer Interaction Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04021-4_6

References:

1 Nurbekova Zh. K., Sembayev T. M. (2020) *Oku urdisinde koldanylatyn tolyktyrylgan shynajylyk kosymshalaryn zhasaktau ortalaryna taldau [Analysis of environments for developing augmented reality applications used in the educational process] // Vestnik Kazhskogo nacional'nogo zhenskogo pedagogicheskogo universiteta. – №. 3. – 81-88. (In Kazakh)*

2 Grinshkun A.V. (2020) *Ispol'zovanie dopolnennoj virtual'nosti kak immersivnoj obrazovatel'noj tehnologii v ramkah profil'nogo obuchenija shkol'nikov [The use of augmented virtuality as an immersive educational technology in the framework of specialized education of schoolchildren] / Profil'naja shkola T. 8, №4. M: Prudnikov Vladimir Mihajlovich, 27-31. (In Russian)*

3 Poltavskij A.V. i dr. (2017) *Informacionnaja model' raspoznavanija obrazov [Image Recognition Information Model] / Poltavskij A.V., Jurkov N.K., Nefed'ev D.I., Grinshkun A.V. / Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo». – T. 2. 114–117. – ISSN: 2220-6418. (In Russian)*

4 Aslanov, R. Je. (2022) *Trenazher tokarnoj i frezernoj obrabotki na osnove komp'yuternyh modelej s ispol'zovaniem tehnologii virtual'noj real'nosti [Turning and milling simulator based on computer models using virtual reality technologies] / R. Je. Aslanov, A. A. Bol'shakov // Avtomatizacija v promyshlennosti. – № 9. – 17-20. – DOI 10.25728/avtprom.2022.09.03. – EDN KPCNWM. (In Russian)*

5 Bidajbekov E.Y., Shekerbekova Sh.T., and Zhabaev E.H. (2022) «*Laboratornyj praktikum po predmetu "Komp'yuternye seti i veb-tehnologii" (s ispol'zovaniem dopolnennoj real'nosti) [Laboratory practical on the subject "Computer networks and web technologies" (using augmented reality)]: Uchebnoe posobie. -Almaty: Ulakat, -92. (In Russian)*

6 Elena V. Soboleva, Tatyana N. Suvorova, Aleksandr V. Grinshkun, Magomedkhan M. Nimatulaev. (2021) *Formation of Group Creative Thinking When Working with Virtual Walls / European Journal of Contemporary Education. 10(3): 726-739. URL: http://ejournal1.com/journals_n/1633688281.pdf.*

7 Shunina, L. A. (2018) *Vozmozhnosti onlajn servisov dlja vizualizacii uchebnoj informacii [Possibilities of online services for visualization of educational information] / L. A. Shunina, S. A. Bazhenova // Informatizacija nepreryvnogo obrazovaniya: materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: v 2 t.omah, Moskva, 14–17 oktjabrja / Pod obshej redakciej V. V. Grinshkuna. – Moskva: Rossijskij universitet druzhby narodov (RUDN), 2018. – S. 413-416. – EDN IWSPEZ. (In Russian).*

8 Aguerreche, L., Duval, T., Lécuyer, A. (2010) *Comparison of Three Interactive Techniques for Collaborative Manipulation of Objects in Virtual Reality in CGI (Computer Graphics International)*

9 Cani D.L., C., Breyer, F.B., Kelner, J. (2016). *Remote HRI and Mixed Reality, an Ontology*. In: Marcus, A. (eds) *Design, User Experience, and Usability: Technological Contexts. DUXU 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 9748*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40406-6_23.

10 Zhang, T., McCarthy, Z., Jow, O., Lee, D., Chen, X. (2018) *Deep imitation learning for complex manipulation tasks from virtual reality teleoperation*. In: Lynch, K. (Hrsg) *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 5628–5635.

11 Ens, B. et al. (2019) *Revisiting collaboration through mixed reality: The evolution of groupware*. *Computer Supported Cooperative Work* 131, 81–98.

12 Deacon, T., Barthelet, M. (2023). *Spatial Design Considerations for Interactive Audio in Virtual Reality*. In: Geronazzo, M., Serafin, S. (eds) *Sonic Interactions in Virtual Environments*. *Human-Computer Interaction Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04021-4_6.

МРНТИ 20.01.45
УДК 378.147

<https://doi.org/10.51889/1096.2022.79.92.033>

Б.Ф. Бостанов¹ З.Т. Суранчиева^{1*}, С.Ш. Тілеубай¹

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Қорқыт ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

*e-mail: zinashturganovna@gmail.com

БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ОҚЫТУДА ДИСКРЕТТІ МАТЕМАТИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Мақалада информатика білім беру бағдарламасы бойынша кәсіби пәндерді меңгертуде болашақ информатика мұғаліміне дискретті математика элементтерін оқыту қажеттілігі айқындалған. Дискретті математика элементтері болашақ информатика мұғалімінің кәсіби дайындығының құрамдас бөлігі және информатиканың математикалық негізінің базалық бөлігін құрайды. Дискретті математиканың кең таралған элементтерін, атап айтқанда математикалық логика және графтар теориясының элементтерін қолдануға назар аударылды. Сондай-ақ, логикалық есептерді ақиқат кестесі арқылы шешу әдісі, есептің MS Excel кестелік процессорында шығарылу жолдары қарастырылған. Сонымен қатар, графтар теориясының қосымшаларының информатикадағы қолданылу бағыттары баяндалған. Жүргізілген зерттеу нәтижесі оқытуда білім беру бағдарламасындағы кәсіби пәндер мазмұнында дискретті математика элементтерін кіріктіріп оқыту оқу сапасын арттыруға себеп болатындығын көрсетті. Зерттеу нәтижелері болашақ информатика мұғалімдерінің қажеттіліктерін қанағаттандыру мақсатында ары қарай дамытуда қолданылады.

Түйін сөздер: дискретті математика элементтері, информатика мұғалімі, математикалық логика, ақиқат кестесі, графтар теориясы.

Аннотация

Б.Ф. Бостанов¹, З.Т. Суранчиева¹, С.Ш. Тілеубай²

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

²Кызылординский государственный университет имени Коркыт ата, г. Кызылорда, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ В ОБУЧЕНИИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

В статье определена необходимость преподавания элементов дискретной математики будущему учителю информатики при изучении профессиональных дисциплин по образовательной программе информатика. Элементы дискретной математики являются составной частью профессиональной подготовки будущего учителя информатики и составляют базовую часть математической основы информатики. Обращено внимание на использование наиболее распространенных элементов дискретной математики, в частности, элементов математической логики и теории графов. А также рассмотрены способы решения логических задач с помощью таблицы истинности и в табличном процессоре MS Excel. Кроме того, изложены направления применения приложений теории графов в информатике. Результаты проведенного исследования показали, что интегрированное преподавание элементов дискретной математики в содержании профессиональных дисциплин образовательной программы способствует повышению качества обучения. В дальнейшем результаты исследования будут использованы для развития и удовлетворения потребностей будущих учителей информатики.

Ключевые слова: элементы дискретной математики, учитель информатики, математическая логика, таблица истинности, теория графов.

Abstract

USE OF DISCRETE MATHEMATICS ELEMENTS IN TRAINING OF PRE-SERVICE COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Bostanov B.G.¹, Suranchiyeva Z.T.¹, Tileubay S.²

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

²Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

The article defines the necessity of teaching elements of discrete mathematics to a Pre-Service Computer Science teacher when studying professional disciplines under the computer science educational program. The elements of discrete

mathematics are an integral part of the professional training of a future Computer Science teacher and form the basic part of the mathematical basis of Computer Science. Attention is drawn to the use of the most common elements of discrete mathematics, in particular, elements of mathematical logic and graph theory. And also the ways of solving logical problems with the help of the truth table and in the MS Excel table processor are considered. In addition, the directions of using graph theory's applications in computer science are outlined. The results of the study showed that the integrated teaching of discrete mathematics elements in the content of professional disciplines of the educational program contributes to improving the quality of education. In the future, the results of the research will be used to develop and meet the needs of Pre-Service Computer Science teachers.

Keywords: elements of discrete mathematics, computer science teacher, mathematical logic, truth table, graph theory

Кіріспе

Елімізде әлемнің озық отыз елінің құрамына кіру стратегиясының жүзеге асырылуы және осы талапқа сәйкесінше цифрлық білім беру жағдайында әлемнің біртұтас білім беру кеңістігіне тұтастай ену жоспарына байланысты жоғары оқу орындарының алдында нарық талаптарына сәйкесінше ақпараттар әлеміне еркін ене алатын, кәсіби әрекетті атқаруға негіз болатын білім, білік, дағдылары қалыптасқан, сонымен қатар тұлғалық сапалары жетілген бәсекеге қабілетті мамандардың жаңа типін қалыптастыру міндеттері алға қойылуда. ҚР Президенті Қ.К.Тоқаев Халыққа Жолдауында: «Кәсіптік білім берудің бүкіл жүйесін еңбек нарығында талап етілетін құзыреттерді қалыптастыруға қайта бағдарлауға тиіспіз» - деп, цифрлық білім беру жағдайында жоғары оқу орындарына болашақ мамандарды дайындауда еңбек нарығының сұранысына қарай барлық құзыреттіліктерді қайта қарауды ұсынады [1].

Педагогикалық кадрларды дайындау бүгінгі цифрлық білім беру жағдайында үнемі өзгеріп отыратын кәсіптік білім беру талаптары мен жалпы білім беретін мектептің жаңа қажеттіліктерін сабақтастыруды ұсынады. Болашақ мұғалімнің пәндік дайындығын ұйымдастыру міндеті біріншіден іргелілік талаптарын, ал екіншіден әмбебаптылық, интеграциялық, практикалық бағыттылық талаптарын, үшіншіден, нақты кәсіби стандартты сақтаумен үйлестіру қажеттілігі тәрізді күрделі талаптарды қояды.

Біздің зерттеу мәселемізге қатысты, цифрлық білім беру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін дайындау мәселесін қарастыратын болсақ, болашақ информатика мұғалімдерін дайындаудың заманауи мәселелерін шешудің бір шарты – интегративті-модульдік тәсіл негізінде ұсынылған білім беру бағдарламалары негізінде олардың пәндік құрылымдық құрамдас бөліктерін таңдау мәселесіне басымдылық беру болып саналады. Мұндай жағдайда табысқа жету болашақ информатика мұғалімдерін кәсіби дайындау тізбегінің барлық буындарының үйлесімділігі мен сабақтастығына байланысты болады. Информатика мамандығының әрбір оқытылатын пәндік саласының мүмкіндіктерін терең талдау, оның ішкі іргелі және сыртқы интегративті компоненттерін бағалау білім берудің әртүрлі деңгейлеріндегі пәндік бағыттар үшін де, бір пәндік бағыттың құрылымдық құрамдас бөліктері үшін де ортақ тақырыптарын табуға және оларды тиімді өзара кіріктіруді арттыруға мүмкіндік береді.

Болашақ информатика мұғалімдерін дайындау барысындағы кәсіби пәндер мазмұнына дискретті математика элементтерін кіріктіру, яғни «Информатиканың математикалық негіздері», «Компьютерлік желілер және ақпараттық қауіпсіздік», «Мобильді программалау», «Объектіге бағытталған программалау тілін оқыту» және т.б. пәндерді оқытуда қолдану ондағы берілетін білімді негізінен түсінуге мүмкіндік береді. Ал оны іске асыру өзіндік зерттеуді, оқыту әдістемесін жасауды, оқыту құралдарын әзірлеуді қажет. Бұл тақырыптың өзекті мәселеге арналғандығын білдіреді.

Зерттеудің әдіснамалық негіздері

Зерттеулерге шолу жасайтын болсақ, информатика мазмұнында дискретті математика элементтерін кіріктіріп оқытуға байланысты, педагогикалық жоғары оқу орындарында математика мен информатиканы пәнаралық байланыста жүзеге асыру атты Е.А. Перминовтың докторлық диссертациялық жұмысын атауға болады [2]. Сонымен қатар, А.С. Алфимованың зерттеу жұмысында дискретті математика элементтерін жаратылыстану-математика бағытындағы білім алушыларға ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолданып оқыту әдістемесі тұрғысынан дискретті математика мен информатиканы ішінара пәнаралық байланыстырып оқыту қарастырылған [3].

Е.В. Мусинова еңбегінде болашақ информатика мұғалімдерін дискретті математикаға оқыту әдістемесі тұрғысынан зерттеп, дискретті математика мен информатиканың негізгі ұғымдарының өзара

байланыстылығын, оқыту мазмұнының құрылымын қарастыра келе, болашақ информатика мұғалімдерінің дискретті математиканы оқыту мақсаттарын, мазмұнын, оқыту әдістерін, формалары және құралдарын ұсынып, әдістемелік жүйесі келтірілген [4]. Осылайша, зерттеу саласындағы педагогикалық ЖОО-да болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда цифрлық білім беру жағдайында дискретті математика элементтерін (ДМЭ) информатиканың негізгі пәндеріне кіріктіріп оқытуға байланысты мәселелер жеткілікті әзірленбеген. Зерттеу аясында болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда кәсіби пәндер мен дискретті математика элементтерін пәнаралық байланыстыруды іске асырудың әдіснамалық, математикалық, психологиялық және дидактикалық аспектілерінің жеткіліксіз әзірленуінен цифрлық білім беру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін дискретті математика элементтеріне оқыту мәселесі арнайы зерттеуді қажет ететіндігі айқындалды. Сондықтан бұл мәселелер арнайы зерттеуді қажет етеді. Жоғарыда аталған зерттеулерден біздің зерттеудің айырмашылығы цифрлық білім беру жағдайында дискретті математика элементтерін информатика бойынша білім беру бағдарламасындағы кәсіби пәндер мазмұнымен кіріктіріп оқыту. Дискретті математика элементтерін информатика пәндеріне кіріктіріп оқыту қажет деп есептейміз. Өйткені дискретті математика программалау мен информатика бойынша пәндерді үйренудің берік негізін құрайды. Информатикаға оқыту дискретті математика элементтері бойынша ұғымдар мен дағдыларды игеруді қажет етеді. Осы айтылғандарды ескеретін болсақ, дискретті математика элементтерін информатиканың негізгі пәндерінің мазмұнымен кіріктіріп оқыту қажет, ал оны оқытудың әдістемесі жоқтығы арасында қарама-қайшылық туындайды.

Оқыту процесінің маңызды міндеті – болашақ информатика мұғаліміне белгілі бір пән бойынша оқу мазмұнының негізгі бөлігін құрайтын іргелі тақырыптарды оқытуға ерекше назар аударуға бағытталады. Болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда осы мамандықтың базалық пәндерінің тұжырымдамалық бөлігіндегі математикалық білімге, соның ішінде дискретті математика элементтеріне көңіл аудару басты мәселенің бірі болып саналады.

Сонымен зерттеудің басты мақсаты: болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда дискретті математика элементтерін практикада қолдану арқылы оқу сапасын арттыру тиімділігін бағалау болып табылады.

Зерттеу жұмысының ғылыми маңыздылығы - болашақ информатика мұғалімдерінде кәсіби құзыреттілікті қалыптастыру үшін оқыту барысында информатика пәндері мен дискретті математика элементтерін кіріктіре зерттеудің қажеттілігі мен мүмкіндіктерінің ғылыми негізделуінде, сонымен қатар, базалық құзыреттіліктермен бірге тұтастай алғанда пәндік құзыреттіліктердің қалыптасу деңгейлерін бағалау критерийлерінің теориялық тұрғыдан анықталып, кәсіби пәндер бойынша құзыреттіліктердің қалыптасу деңгейлерін педагогикалық жоғары оқу орындарында жетілдіріліп және оқу мазмұнына енгізілуінде болды.

Зерттеуді жүргізу барысында біз жүйелік-белсенділік тәсілінің әдістемесін және Мемлекеттік білім беру стандартының талаптарын басшылыққа алдық. Зерттеу жұмысы барысында келесі әдістер қолданылды:

- зерттеу мәселелері бойынша философиялық, психологиялық-педагогикалық, әдістемелік әдебиеттерді талдау; математика және информатикадан оқулықтар мен оқу-әдістемелік құралдар; информатика және математика бойынша мектеп және университет курстарының негізгі білім беру бағдарламаларын (БББ) талдау; информатиканың теориялық негіздері дискретті математикамен кіріктіріліп оқытылатындығы туралы мақалалар;

- информатикадан БББ енгізу барысында алынған авторлардың жеке педагогикалық тәжірибесінің нәтижелерін жалпылау. Зерттеудің психологиялық-педагогикалық негізін үздіксіз білім беруді дамыту теориясы, болашақ мұғалімдерге информатиканың теориялық негіздерін оқытудың кәсіби-педагогикалық бағыты тұжырымдамасы алынды.

Зерттеудің нәтижелері және талқылануы

Дискретті математика элементтерін оқытуды зерттеу бүгінгі күні білім берудің барлық деңгейлерінде және барлық білім алушылар үшін математикалық білім берудің маңызды бөлігі болып табылады.

Кең мағынада дискретті математика сандар теориясы, алгебра, жиындар теориясы және математикалық логика сияқты математика ғылымының бұрыннан қалыптасқан бөлімдерін қамтиды. Тар мағынада салыстырмалы түрде өмірдің барлық салаларына компьютерлер мен цифрлық

технологиялардың енуіне байланысты өткен ғасырдың ортасынан бастап қарқынды дами бастаған бөлімдері (математикалық логика элементтері, жиындар теориясының элементтері, комбинаторика элементтері, графтар және желі теориясы, және т.б.) тәрізді жаңа материалдарды құрайды.

Дискретті математика элементтері жалпы білім беретін мектеп курсынан бастап оқытылады. Информатика сабақтарында комбинаториканың таңдамалы сұрақтары, графтар мен кодтау теориясының элементтері қарастырылады. Бұл, дискретті математика элементтері болашақ информатика мұғалімінің кәсіби дайындығының құрамдас бөлігі екенін және информатиканың теориялық негізінің базалық бөлігін құрайтындығын дәлелдейді.

Болашақ информатика мұғалімдеріне дискретті математика элементтерін оқытудың практикалық қолданылуына мысал келтіре кетейік.

Математикалық логикада алгебралық сөйлем дегеніміз – еркін айнымалысы бар мүшелер арасындағы теңдеулерді қолдана отырып тұжырымдалатын сөйлем. Логика алгебрасын үйрену барысында айтылым, ақиқат кестесі, логикалық функциялар және логикалық амалдар ұғымымен танысады. Алынған білімді бекіту үшін MS Excel кестелік процессорының мүмкіндіктерін және оның функцияларын қолдануды қарастырайық. MS Excel-де Буль функцияларын іске асыру үшін ЕГЕР, ЖӘНЕ, НЕМЕСЕ, ЕМЕС, АҚИҚАТ және ЖАЛҒАН логикалық функциялары, ал функциялармен жұмыс жасауда функция атауы, оның сипаттамасы мен аргументтері берілетін функция шебері қолданылады.

Есеп. Аликованың телефонын ұрлау туралы іс. Іс бойынша айыпталушылар: Исаев, Маликов және Сапарәлі. Жауап алу: "Аликованың телефонын үш оқушының қайсысы алды?" келесі жауап алынды: "Жалған, егер Аликованың телефонын Маликов алған болса, онда Сапарәлі Аликованың телефонын алды, және егер телефонды Исаев алған болса, онда Маликов телефонды алмады". Аликованың телефонын кім алды?

Шешуі: Логикалық есептерді ақиқат кестесі арқылы шешу әдісін қолданайық. Ол үшін қарапайым логикалық айтылымдарды әріптермен белгілейік:

И = телефонды Исаев алды;
 М = телефонды Маликов алды;
 С = телефонды Сапарәлі алды.

Есептің жауабын логика алгебрасының тілінде жазуға болады: $\overline{(M \rightarrow C)} \wedge (I \rightarrow \overline{M})$

Енді осы есептің MS Excel-де шығарылуын қарастырайық.

Шешуі: MS Excel-де ақиқат кестесін құру үшін келесідегідей формулаларды қолданамыз:

1. Инверсия: ЕГЕР(A2=1;0;1)
2. Дизъюнкция: ЕГЕР(НЕМЕСЕ(A2=1;B2=1);1;0)
3. Конъюнкция: ЕГЕР(ЖӘНЕ(A2=1;B2=1);1;0)
4. Импликация: ЕГЕР(ЖӘНЕ(A2=1;B2=0);0;1)
5. Эквиваленттілік: ЕГЕР(A2=B2=0);1;0)

Тапсырманы орындау алгоритміне көшейік:

1. $Q=2^n$ формуласы бойынша енгізілетін айнымалылар санын анықтап алайық, мұндағы n- айнымалылар саны. Біздің жағдайда $Q=2^n=8$
2. Кестеге айнымалыларды енгізейік. И, М, С
3. Логикалық амалдар санын және олардың орындалу ретін анықтап алу керек.

$$\begin{array}{l} \overline{M} \\ M \rightarrow C \\ \hline (M \rightarrow C) \\ I \rightarrow \overline{M} \\ \hline (\overline{M \rightarrow C}) \wedge (M \rightarrow \overline{M}) \end{array}$$

4. Логикалық амалдардың орындалу нәтижелерін бағанға толтырамыз. Ол үшін D2 ұяшығына =ЕГЕР(B2;0;1);

E2 = =ЕГЕР(ЖӘНЕ(B2=0;C2=0);1;0);

F2 =ЕГЕР(E2;0;1);

G2 = =ЕГЕР(ЖӘНЕ(A2=0;D2=1);1;0) формулаларын енгіземіз.

Басқа жолдарды толтыру формуланы көшіру арқылы жүзеге асады. Нәтижесінде MS Excel-де ақиқат кестесі құрылды (1-сурет).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	И	М	С	М	М→С	(М→С)	И→М	(М→С)∧(И→М)
2	0	0	0	1	1	0	1	0
3	0	0	1	1	1	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	1	1
5	0	1	1	0	1	0	1	0
6	1	0	0	1	1	0	1	0
7	1	0	1	1	1	0	1	0
8	1	1	0	0	0	1	0	0
9	1	1	1	0	1	0	0	0

Сурет 1. Жұмыстың орындалу нәтижесі

Ақиқат кестесінен көріп тұрғанымыздай, 4-жолдағы И=0, М=1, С=0 тең, осы жолда ғана ақиқат мәнді қабылдап тұр. Олай болса Маликов телефонды алған.

Информатика саласында жиі қолданылатын ДМЭ-нің маңызды ұғымдарының бірі – графтар теориясы. Графтар теориясының қосымшалары әртүрлі салаларда қолданылады. Информатикада графтар теориясы қосымшаларының қолданылу бағыттары (2-суретте) келтірілген [5].



Сурет 2. Информатикадағы графтар теориясының қосымшалары

Информатикадағы графтар теориясының қосымшалары:

- деректер құрылымы: графпен ұсынылған сызықты емес құрылымдарда деректерді ұйымдастырудың бірнеше маңызды алгоритмдері бар. Бұған мысал ретінде графтар теориясы арқылы жүзеге асырылатын тереңірек іздеу, ең қысқа жолды табу алгоритмдері жатады. Егер деректерді қандай да бір жолмен ағаш ретінде ұсынуға болатын болса, онда шынымен тиімді шешім қабылдауға барлық мүмкіндік бар.

- деректер базасын жобалау: деректер базасын жобалау графтар арқылы да жүзеге асырылады [6]. Деректерді ұсыну және сақтау үшін төбелерді, қабырғаларды және атрибуттарды қолдана отырып

ұсынылған графтардың деректер қоры қолданылады. Граф құрылымы деректер қорын жобалауда өте маңызды рөл атқарады, себебі әртүрлі функциялар мен қасиеттерді қолдана отырып, процесті тез жүзеге асыруды қамтамасыз етеді.

- суретті өңдеу: кескіннен ақпарат алу кескіндерді талдаудың әртүрлі тәсілдері арқылы, сондай-ақ кескіндерді цифрлық өңдеу әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Суретті өңдеудің осы әдістерін жақсарту үшін графтар теориясының негіздерін қолдана аламыз [7].

- компьютерлік жабдықтар: физикалық деңгейдің шекаралары графтар теориясының тұжырымдамаларын қолдана отырып ұсынылуы мүмкін: регистрларді бөлу, нұсқаулық реттілігі сыбайлас матрицасымен ұсынылуы мүмкін, нұсқауларды бір мезгілде өңдеуде, процесті жоспарлауды бөлу.

- жасанды интеллект: Графтар теориясын қолдана отырып, жасанды интеллекттегі қозғалысқа байланысты барлық мәселелерін шешуге мүмкіндігі бар [8].

- деректерді іздеу: графтар теориясы деректердің реляциялық бөліктерін білдіретін талдауда қолданылады. Графтарға негізделген деректерді іздеу ішкі графтарды, ішкі графтардың изоморфизмін, графтағы деректерді іздеу мен шешу әдістерін қамтиды.

- программалық жасақтаманы әзірлеу. Графтар теориясы программалық жасақтаманы жасауда да аса қажет, себебі программалық жасақтамаға қойылатын талаптарды (SRS) нақтылау кезінде деректер ағынының диаграммалары қолданылады, мұнда төбелер түрлендірулер, ал қабырғалар деректер ағынын білдіреді.

- операциялық жүйе. Графтар теориясын операциялық жүйе саласында процестерді жоспарлау, ресурстарды бөлу қосымшалары және бұғаттауды өңдеу үшін қолдануға болады.

- web дизайн: Web дизайнды графтар теориясы арқылы модельдеуге болады, мұнда web беттер түйіндермен белгіленеді, ал олардың арасындағы қабырғалар гиперсілтемелер болады. Бұл модель web граф деп аталады. Web графтан маңызды ақпарат алынады.

- ақпараттық-іздеу жүйесі: компьютерлік желілерді кез-келген сымды немесе сымсыз орта арқылы бір-біріне қосылған, бір-бірімен әрекеттесе алатын компоненттер ортасы ретінде сипаттауға болады. Желі техникалық түрде граф деп аталады, онда компоненттер түйіндер, ал олардың арасындағы сымды немесе сымсыз орта қабырғалар деп аталады [9].

Компьютердің жадында графтарды бейнелеу тәсілдерімен қатар, сипаттау тілдері және графтарды құру программалары бар. Графтарды сипаттау үшін программалау тілдері қолданылады, соның ішінде Python программалау тілін атап өтуге болады [10].

Информатика бойынша кәсіби пәндер мазмұнына дискретті математика элементтерін кіріктіре оқытудың тиімділігін анықтау үшін оқытушыларға сауалнама жүргізілді:

- информатика бойынша кәсіби пәндер мазмұнында дискретті математиканың қандай элементтерін кіріктіріп оқыту қажет;

- цифрлық ресурстарды информатика бойынша дискретті математика элементтерін оқыту барысында пайдаланудың қажеттілігі;

- практикалық есептерді, оның ішінде дискретті математика элементтеріне байланысты есептерді студенттер қалай түсінеді және қолданады;

- информатика бойынша кәсіби пәндер мазмұнында күрделі және стандартты емес есептерді, оның ішінде дискретті математика элементтерінің информатикамен байланысты мәселелерді шешуде қаншалықты жиі қарастырады.

Сауалнамада келтірілген «Информатика бойынша кәсіби пәндер мазмұнында дискретті математиканың қандай элементтерін кіріктіріп оқыту қажет?» сұрағына ұсынылған нұсқалардан:

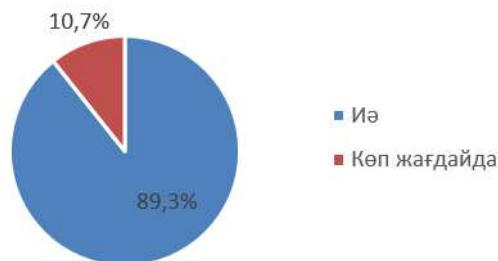
- математикалық логика (40%),
- комбинаторика элементтері (32%),
- алгоритмдер теориясы (30%),
- графтар теориясының элементтері (35%),
- жиындар теориясының элементтері (25%),
- логикалық функциялар (30%) деп жауап берген.

Сондықтан, қазіргі уақытта білім беру бағдарламасына енгізілген математикалық логикадан кейін, оқытушылар үшін графтар теориясының элементтері ең көп сұранысқа ие болып табылады (3-сурет).



Сурет 3. Дискретті математика элементтерінің кәсіби пәндер мазмұнында қолданылуы

«Информатика бойынша дискретті математика элементтерін оқытуда оқу процесіне цифрлық білім беру ресурстарын енгізу тиімді ме?» сұрағына оқытушылардың 89,3% «Иә» деп жауап берсе, қалған 10,7% «Көп жағдайда» нұсқасын таңдаған (4-сурет).



Сурет 4. Цифрлық білім беру ресурстарын енгізу тиімділігі

Информатика бойынша дискретті математика элементтерін оқытуда оқу процесіне цифрлық білім беру ресурстарын енгізудің тиімділігі туралы сауалнама сұрағына жауап берген оқытушылардың 89,3% оң жауап берді.

Жүргізілген негізгі дәлелдерді келтіре кетейік:

- оқуды даралауға көмектеседі;
- студенттердің пәнге деген қызығушылығын арттыруға ықпал етеді;
- практикалық материалды ұсынуды жеңілдетеді (атап айтқанда, программалауда);
- студенттердің білімін бақылауды жеңілдетеді.

Осылайша, оқытушылардың басым көпшілігі оқу процесінде дискретті математика элементтерін оқытуда цифрлық білім беру ресурстарын қолдануды міндетті деп санайды.

Информатика бойынша практикалық есептерді, оның ішінде дискретті математика элементтеріне байланысты есептерді студенттер қалай түсінеді және қолданады деген сауалнама сұрағына жауап берушілерден тек 30% - дан "иә" жауабы алынды, "жоқ" - 70%. Студенттердің сабақта дискретті математика элементтеріне байланысты есептерді қолдануын қиындататын себептердің арасында келесідегілер анықталды:

- дискретті математика элементтерін пайдалану тәжірибесі мен білімінің жеткіліксіздігі;
- дискретті математика элементтерінің кәсіби пәндер мазмұнында жеткіліксіз мөлшерде оқытылуы.
- кәсіби пәндер мазмұнында дискретті математика элементтері бойынша дайын оқытудың әдістемелік жүйесінің жоқтығы.
- информатика бойынша кәсіби пәндер мазмұнында оқытылуы міндетті дискретті математиканың бөлімдерін анықтау;
- дискретті математика элементтерін оқыту барысында цифрлық білім беру ресурстарын пайдаланудың қажеттілігі.

Сауалнаманың «Информатика бойынша кәсіби пәндер мазмұнында күрделі және стандартты емес есептерді, оның ішінде дискретті математика элементтерінің информатикамен байланысты мәселелерді шешуде қаншалықты жиі қарастырады?» деген сұрағы бойынша оқытушылардың 65% «Жоқ» деп жауап берсе, ал қалған 35% «Кейбір жағдайда» қиындықтардың туындағанын жасырмаған.

Сауалнама нәтижесіне сәйкес қатысушылар кәсіби пәндер мазмұнына дискретті математика элементтері бойынша тақырыптар енгізу қажеттілігін түсінеді. Қатысушылар арасында дискретті математика элементтерін қолданушылар саны практикалық тұрғыдан мүлдем қолданбайтындар санынан әлдеқайда кем екендігін байқауға болады. Бұл ең алдымен информатика бойынша кәсіби пәндер мазмұнына дискретті математика бөлімдерін енгізумен тікелей байланысты. Оқу процесінде дискретті математика элементтеріне байланысты есептерді шешудегі негізгі мәселе – студенттердің теориялық және практикалық дайындығының жеткіліксіздігі, дайын әдістемелік оқыту құралдарының болмауы.

Қорытынды

Сауалнама нәтижесіне сәйкес қатысушылар дискретті математика элементтерінің бөлімдерін кәсіби пәндер мазмұнына кіріктіре оқытудың қажеттілігін түсінеді.

Осылайша, сауалнама нәтижелерін талдау негізінде келесідегідей қорытынды жасауға болады:

- информатиканы оқытуда дискретті математика элементтері бойынша әзірленген әдістемелік материалдардың жетіспеушілігі;

- оқытушылардың көзқарасы бойынша математикалық логика элементтері, графтар және жиындар теориясының, комбинаторика элементтері бөлімдері студенттерге дискретті математиканың жеткілікті қол жетімді бөлімдері болып табылады;

- сұралғандардың басым бөлігі (89,3%) оқу процесінде кәсіби пәндер мазмұнында дискретті математика элементтерін оқыту қажет деп санайды;

- дискретті математика элементтерін оқытуда әзірленген электрондық оқу материалдарының жеткіліксіз саны маңызды мәселе болып табылады. Жоғарыда аталғандар бойынша толыққанды талдау жұмыстарын жүргізіп, таңдау мүмкіндіктерін кеңейту арқылы ары қарай дамыту жұмыстарын қолға алуды қажет етеді.

Қорытындылай келе, болашақ информатика мұғалімдерін оқыту процесінде дискретті математиканың маңызды және тиімді элементтері – математикалық логика, графтар теориясы деген қорытындыға келдік.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Қазақстан Республикасы Президентінің Қазақстан халқына Жолдауы 01.09.21 «Халық бірлігі және жүйелі реформалар – ел өркендеуінің берік негізі» –2021. – қыркүйек.

2 Перминов Е.А. Методическая система обучения дискретной математике студентов педагогических направлений в аспекте интеграции образования: монография / Е. А. Перминов. – Екатеринбург, 2019. – 280 с.

3 Алфимова А.С. Методика преподавания элективного курса «Элементы дискретной математики» с использованием информационно-коммуникационных технологий для учащихся естественно-математического профиля обучения: на примере г. Москвы: дис. канд. пед. наук: 13.00.02/ А. С. Алфимова. 2012. – 234 с.

4 Мусинова Е.В. Методика обучения будущих учителей информатики дискретной математике: на примере г. Санкт-Петербурга: дис. канд. пед. наук: 13.00.02 / Е. В. Мусинова. 2001. – 237 с.

5 D. Durgaprasad. Applications of Computer Science Based on Graph theory / A. Srinivasan Muttipati, Mesdisetti Snehadivya, Sanaka Kavitha. International Journal of Engineering, Science and Mathematics. – 2017. – Vol. 6, 8. – P. 1116-1122.

6 R. Duran. On Applying Graph Theory to ILP Analysis / R. Duran, R. Rico. IEEE Latin American Transaction. – 2016. – Vol. 4, No. 4, – P. 291-298.

7 N. Bhandari. Graph Theory and its Applications in Diverse Domain: A Survey Paper / N. Bhandari, A. Sharma. International Journal of Contemporary Technology and Management. – 2017, Vol. 6, 7, – P. 1-6.

8 V. V. Nabiyev. Application of Graph Theory in an Intelligent Tutoring System for Solving Mathematical Word Problems / V. V. Nabiyev, Ünal Çakiroglu. Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology, Educatio. – 2016, Vol. 12, 4, – P. 687-701.

9 S. Ahmed. Applications of Graph Coloring in Modern Computer Science / S. Ahmed. International Journal of Computer and Information Technology. – 2012, Vol. 3, 2, – P.1-7.

11 Андреев И.В. Применение дискретной математики в программировании / И. В. Андреев. Международный студенческий научный вестник. – 2018. № 3 (часть 1). – с. 29-31.

References:

- 1 Қазақстан Республикасы Президентінің Қазақстан халқына Жолдауы 01.09.21 (2021) «Халық бірлігі және зһүжелі реформалар – ел өркендеуінің берік негізі» [People's unity and systemic reforms are a solid foundation for the country's prosperity.]. – қыркүжек. (In Kazakh)
- 2 Perminov E.A. (2019) Metodicheskaia sistema obucheniia diskretnoi matematike studentov pedagogicheskikh napravlenii v aspekte integratsii obrazovaniia [Methodical system of teaching discrete mathematics to students of pedagogical directions in the aspect of integration of education]. Monografiia. 2-e izd., pererab. i dop. Ekaterinburg: Izd-vo Ros. gos. prof.ped. universiteta. 280. (In Russian)
- 3 Alfimova A.S. (2012) Metodika prepodavaniia elektivnogo kursa «Elementy diskretnoi matematiki» s ispolzovaniem informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologi dlia uchashchikhsia estestvenno-matematicheskogo profilia obucheniia [Elements of discrete mathematics" using information and communication technologies for students of the natural-mathematical profile of education]. dis.kand. ped. nauk. 234. (In Russian)
- 4 Musinova E.V. (2001) Metodika obucheniia budushchikh uchitelei informatiki diskretnoi matematike [Methods of teaching future computer science teachers discrete mathematics]. dis.kand. ped. nauk, 237. (In Russian)
- 5 D. Durgaprasad A, Srinivasan Muttipati, Mesdisetti Snehadivya, Sanaka Kavitha (2017) Applications of Computer Science Based on Graph theory [Applications of Computer Science Based on Graph theory]. International Journal of Engineering, Science and Mathematics, 6, 8, 1116-1122 (In English)
- 6 R. Duran, R. Rico (2016) On Applying Graph Theory to ILP Analysis [On Applying Graph Theory to ILP Analysis]. IEEE Latin American Transaction, 4, 4, 291-298 (In English)
- 7 N. Bhandari, A. Sharma (2017) Graph Theory and its Applications in Diverse Domain: A Survey Paper [Graph Theory and its Applications in Diverse Domain: A Survey Paper]. International Journal of Contemporary Technology and Management, 6, 7, 1-6 (In English)
- 8 V. V. Nabyev, Ünal Çakiroglu (2016) Application of Graph Theory in an Intelligent Tutoring System for Solving Mathematical Word Problems [Application of Graph Theory in an Intelligent Tutoring System for Solving Mathematical Word Problems]. Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology, Education, 12, 4, 687-701 (In English)
- 9 S. Ahmed (2012) Applications of Graph Coloring in Modern Computer Science [Applications of Graph Coloring in Modern Computer Science]. International Journal of Computer and Information Technology, 3, 2, 1-7 (In English)
- 10 Andreev I.V. (2018) Primenenie diskretnoi matematiki v programmirovanii [Application of discrete mathematics in programming]. № 3 (chast 1), 29-31. (In Russian)

МРНТИ 20.01.45
УДК 378.016.02: 004.38 (574)

<https://doi.org/10.51889/5582.2022.70.72.034>

А.К. Буканова^{1*}, Н.И. Пак²

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

² В.П. Астафьев атындағы Красноярск мемлекеттік педагогикалық университеті,

Красноярск қ., Ресей

*e-mail: aselek_86@mail.ru

БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНЕ «ИНФОРМАТИКА ТАРИХЫ» КУРСЫН ОҚЫТУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ТЕКСЕРУ

Аңдатпа

Мақалада білім беруді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдеріне информатика тарихын оқытудың тиімділігі жайлы қарастырылған. Тәжірибе Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Математика, физика және информатика институты базасында 6В01507–Информатика мамандығының студенттеріне жүргізілді. Зерттеу жұмысы үш кезеңнен тұратын педагогикалық эксперимент негізінде жасалды, нақтырақ айтқанда: бірінші кезең – анықтау, екінші кезең – қалыптастыру, үшінші кезең – бақылау. Бақылау-өлшеу материалдары ретінде тест, сауалнамалар, эссе жазу қолданылды. Эксперименттік жұмыстың нәтижелерін талдау кесте, диаграмма түрінде графикалық түрде ұсынылған. Эксперименттік жұмыстың кезеңдерінде: талдау, жалпылау, жүйелеу, байқау, сауалнама, тестілеу, зерттеу және педагогикалық тәжірибені жалпылау пайдаланылды. Өзірленген әдістемелік жүйенің тиімділігі болашақ информатика мұғалімдерінің тарихи-ақпараттық білімінің қалыптастырумен анықталды. Эксперименттік жұмыстың нәтижесінде жаңартылған мазмұн бойынша әзірленген төңкерілген оқулық негізінде жасалған әдістеменің тиімділігі тексерілді.

Түйін сөздер: болашақ информатика мұғалімдері, цифрландыру, информатика тарихы, оқыту әдістемесі, педагогикалық эксперимент.

Аннотация

А.К. Буканова¹, Н.И. Пак²

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

² Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева,

г. Красноярск, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА «ИСТОРИИ ИНФОРМАТИКИ» БУДУЩИМ УЧИТЕЛЯМ ИНФОРМАТИКИ

В статье рассматривается эффективность преподавания истории информатики будущим учителям информатики в условиях цифровизации образования. Исследование проводилось на базе Казахского национального педагогического университета имени Абая, Института математики, физики и информатики, для студентов специальности 6В01507–Информатика. Исследовательская работа выполнена на основе педагогического эксперимента, состоящего из трех этапов, а именно: первый этап – констатирующий, второй этап – формирующий, третий этап – контрольный. В качестве контрольно-измерительных материалов использовались тесты, анкеты, написание эссе. Анализ результатов экспериментальной работы представлен графически в виде таблиц и диаграмм. На этапах экспериментальной работы использовались: анализ, обобщение, систематизация, наблюдение, анкетирование, тестирование, исследование и обобщение педагогического опыта. Эффективность разработанной методической системы определялась формированием историко-информационных знаний будущих учителей информатики. В результате экспериментальной работы проверяется эффективность методики, разработанной на основе перевернутого учебника по обновленному содержанию курса.

Ключевые слова: будущие учителя информатики, цифровизация, история информатики, методика обучения, педагогический эксперимент.

Abstract

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF TEACHING THE COURSE "HISTORY OF COMPUTER SCIENCE" TO FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Bukanova A.K.¹, Pak N.I.²

¹ Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

² Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafyev, Krasnoyarsk, Russia

The article examines the effectiveness of teaching the history of computer science to future computer science teachers in the context of digitalization of education. The study was conducted on the basis of the Kazakh National Pedagogical University named after Abai, the Institute of Mathematics, Physics and Computer Science, for students of the specialty 6B01507–Computer Science. The research work was carried out on the basis of a pedagogical experiment consisting of three stages, namely: the first stage – ascertaining, the second stage – forming, the third stage – control. Tests, questionnaires, and essay writing were used as control and measuring materials. The analysis of the results of the experimental work is presented graphically in the form of tables and diagrams. At the stages of experimental work, the following methods were used: analysis, generalization, systematization, observation, questioning, testing, research and generalization of pedagogical experience. The effectiveness of the developed methodological system was determined by the formation of historical and information knowledge of future computer science teachers. As a result of the experimental work, the effectiveness of the methodology developed on the basis of an inverted textbook on the updated course content is checked.

Keywords: future teachers of computer science, digitalization, history of computer science, teaching methods, pedagogical experiment.

Кіріспе

Қазіргі уақытта информатика ғылым ретінде – өткенге қарап, жинақталған тәжірибені талдап, дамудың негізгі бағыттарын белгілеу қажет болған кезеңдегі деңгейге жетті. Кез келген ғылымның дамуы – қызықты, ұзақ және қиын үрдіс. Нағыз маман өзінің пәндік саласының тарихын, адамзат өркениетінің негізгі идеялары мен түсініктерінің дамуының тарихи жолын білуі тиіс.

Информатика тарихын оқу барысында, оның басты кейіпкерлерінің өмірі мен қызметін, олардың сәттілігі мен қателіктерін зерттей отырып, әрі қарайғы зерттеулер мен әзірлемелердің бағыттарын дәлірек таңдауға, жағымсыз салдардың алдын алуға, бірнеше ондаған жылдар бойы ғылыми теория мен практиканың дамуындағы сабақтастықты байқауға болады. Сонымен қатар, тарихты оқыту «Информатика» пәніне деген танымдық қызығушылықты арттырады және байланысты пәндер бойынша оқу материалын тереңірек түсінуге ықпал етеді.

Болашақ информатика мұғалімін дайындау үдерісіне информатика тарихы курсы енгізу қажеттілігі оның кәсіби маңыздылығына, курстың көпфункционалдылығына байланысты екенін ескере отырып, оның көмегімен жоғары педагогикалық білім жүйесіндегі көптеген кешенді мәселелерді шешу болып табылады [1].

Болашақ информатика мұғалімінің бәсекеге қабілеттілігі, ғылымның дамуын бақылауға және қажет болған жағдайда оның маңызды жетістіктері туралы кеңінен айтуға мүмкіндік беретін жеткілікті жоғары білім деңгейіне ие болса қамтамасыз етіледі. Ол үшін информатика құрылымын тұтастай елестетіп, тек информатика бойынша классикалық пәндерді біліп қана қоймай, сондай-ақ информатиканың қазіргі салалары туралы түсінікке ие болып, сонымен қатар информатиканың әдістемелік мәселелерімен, оның тарихи даму үдерісінде пайда болған және түсіндірілген информатиканы негіздеу мәселелерімен таныс болуы және де информатиканың көптеген қосымшалары, оның басқа ғылымдармен байланысы туралы түсінікке ие болуы, өзі оқытатын пәннің тарихын білуі керек.

Студенттерге нақты ғылымдар тарихын (математика, физика, информатика) оқытудың әдістемелік жүйелерін талдау мұғалімдердің сабақтың мазмұны мен өткізу әдістерін таңдаудағы әртүрлі көзқарастарын көрсетті. Әдетте, олар ғылымның белгілі бір саласындағы білім мен жетістіктерді хронологиялық жүйелеу мәселелерін, ғылыми идеялар мен технологиялардың прогрессивті дамуының себептері мен салдарын, ғылымның қалыптасуы мен дамуына үлес қосқан тұлғалардың өмірбаяндық мәліметтерін қарастырады. Ғылым тарихының заманауи курсы ғылыми саланың тарихи аспектілерін жүйелеуге және білуге ғана емес, сонымен бірге студенттің жеке және танымдық қабілеттерін қалыптастыруға бағытталуы керек. Сонымен қатар, студенттің ізденуге деген ынтасын арттыру және ашылулардың себеп-салдар заңдылықтарын түсіну және ғылыми идеялар мен технологияларды игеру, бұл әсіресе жаңа буын жастары үшін маңызды [2].

Осыған байланысты болашақ мұғалімдерді даярлау сапасын едәуір арттыру үшін білім беруді цифрландырудың қазіргі жағдайында ғылым тарихы бойынша оқу үдерісін ұйымдастырудың неғұрлым барабар тәсілдерін іздеудің ғылыми-әдістемелік проблемасы туындайды.

Жоғары оқу орындарында информатиканы оқыту әдістемесін дамыту мәселелері теориялық-әдіснамалық бағыттағы көптеген ғылыми зерттеулердің тақырыбы болып табылады, алайда бұл зерттеулерде ҚР информатика тарихы курсының құрылымы мен мазмұны теориялық тұрғыдан негізделмеген, курсты іске асырудың әдістемелік тәсілдері әзірленбеген.

Информатика тарихы курсы болашақ информатика мұғалімдерінің тек тарихи-ақпараттық білімдерін ғана жетілдіре қоймай, сонымен қатар өз мамандықтарын терең түсінуге, зерттеу жұмыстарын жүргізуге, информатиканы қалыптастыруға атсалысқан ғалымдар өмірімен, информатиканың қазіргі жағдайы мен болашағы туралы ойлардың қалыптасуын қамтамасыз ететіні сөзсіз.

Информатика тарихы студенттерді ғылым ретінде информатиканың генезисімен (түптегімен) таныстырады, осылайша оның ретроспективті нұсқасында мұғалімнің ақпараттандыру мәдениетін қамтамасыз етеді. Мұғалімнің ақпараттық мәдениетін қалыптастыруға курстың даралық (персоналистік) компоненті де әсер етеді, өйткені информатиканың дамуына үлес қосқан ғалымдарды сипаттау кезінде олардың жетістіктері туралы айтылады және қысқаша талданады, ал бұндай ақпарат іргелі курстардың бағдарламасына кірмейтіні анық [3-8].

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, Информатика тарихы курсын болашақ мұғалімдерге пән ретінде оқыту қажет деген қорытынды жасалды.

Зерттеу әдіснамасы

Тәжірибе Абай атындағы қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Математика, физика және информатика институты базасында 6В01507–Информатика мамандығының студенттеріне жүргізілді. Зерттеу жұмысының гипотезасы мен міндеттеріне сәйкес үш кезеңнен тұратын педагогикалық эксперимент жоспары жасалды. Нақтырақ кезеңдерге тоқталып өтейік.

Бірінші кезең 2018-2019 оқу жылы *анықтау* кезеңінің негізгі міндеттері:

- зерттеудің өзектілігін негіздеу;
- эксперимент басында студенттердің тарихи-ақпараттық білім деңгейін анықтау;

Бұл кезеңде болашақ информатика мұғалімдерінің тарихи-ақпараттық білімдерін жетілдіруге бағытталған информатика тарихы курсының әдістемелік жүйесі жасалып, жаңартылды. Сонымен қатар эксперимент басында студенттердің тарихи-ақпараттық білім деңгейін анықтау үшін сауалнама сұрақтары жасалды. Болашақ информатика мұғалімінің мотивациялық бағыты мен оның тарихи-зерттеу қызметінің өзара байланысын анықтау бойынша зерттеу де жүргізілді [9-13].

Осы ретте болашақ информатика мұғалімдерінен тарихи-ақпараттық білім деңгейін анықтау мақсатында 160 студенттен сауалнама алынды. Сауалнама 10 сұрақтан тұрады. Өткізілген сауалнама нәтижесі Кесте 1-де берілген

Кесте 1. Сауалнама нәтижелері

<i>Деңгейлер</i>	<i>Студент саны</i>
<i>Төмен</i>	<i>110</i>
<i>Орташа</i>	<i>40</i>
<i>Жоғары</i>	<i>10</i>

Өткізілген сауалнама нәтижесінде студенттердің басым көпшілігінде информатика тарихы бойынша білімдерінің төмен екенін байқауға болады.

Екінші кезең 2019-2020 оқу жылы *қалыптастыру* кезеңі Абай атындағы қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Физика, математика және информатика институты, Информатика және білімді ақпараттандыру кафедрасында Информатика (6В01507) бағыты бойынша білім алушы, 4 курс студенттеріне жүргізілді. Экспериментке барлығы 37 студент қатысты. Студенттер бақылаушы (18 студент) және эксперименталды (19 студент) болып екі топқа бөлінді. Бұл кезеңде эксперименттік топ студенттерінің тарихи-ақпараттық білімдерін жетілдіру мен қалыптастыру бойынша жұмыс жүргізілді. Эксперименталды топ арнайы әзірленген «Төңкерілген оқулық» жүйесімен оқытылды, ал бақылау тобы дәстүрлі әдіспен оқытылды.

Үшінші кезең 2020-2021 оқу жылы *бақылау* кезеңінде:

- бақылаушы және эксперименталды топтардың тарихи-ақпараттық білім деңгейіне талдау жүргізілді;

- эксперименттік және дәстүрлі әдістермен оқу нәтижелері арасындағы айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығы туралы гипотеза тексерілді;

- ұсынылып отырған жүйе студенттердің информатика тарихына қызығушылығын және тарихи-зерттеу қызметіне мотивациялық әсер ету туралы субъективті пікірін алу үшін сауалнама жүргізілді.

Бақылау-өлшеу материалдары ретінде тест, сауалнамалар, эссе жазу қолданылды. Сараптамалық бағалау әдісімен тесттердің сәйкестілік өлшемдері анықталды. Өзірленген әдістемелік жүйенің тиімділігі болашақ информатика мұғалімдерінің тарихи-ақпараттық білімінің қалыптастырумен анықталды.

Зерттеу нәтижелері

Нақтырақ эксперимент барысына тоқталып өтейік. Жоғарыда айтылып өткендей Информатика тарихы курсы бітіруші 4 курс студенттерінің оқу жоспарына 7 семестрге енгізіліп, пән ретінде оқытылды. Студенттердің тарихи-ақпараттық білімдерінің деңгейін анықтау және белгілі бір өзгерістерді анықтау үшін студенттерден тест экспериментке дейін және эксперименттен кейін алынды, бұл мәліметтер Кесте 2-де берілген.

Кесте 2. Экспериментке дейін алынған тест нәтижелері

<i>p/c</i>	<i>БТ (экспериментке дейін дұрыс жауаптар саны)</i>	<i>ЭТ (экспериментке дейін дұрыс жауаптар саны)</i>
1	15	9
2	12	16
3	8	12
4	10	7
5	16	10
6	9	9
7	13	15
8	8	10
9	16	13
10	10	8
11	11	11
12	8	6
13	15	16
14	14	15
15	7	8
16	10	14
17	15	10
18	14	14
19	-	12

Құрылған тест сұрақтары саны 20 болғандықтан, алынған нәтижелерді Кесте 3-те көрсетілген төмен, орта, жоғары деңгейлерді белгілеп, оларға сәйкес төмен деңгей 10-ға, орта деңгей 15-ке, жоғарғы деңгей -20-ға тең деп анықтап алдық, оны Кесте 3-те көрсеттік.

Кесте 3. Тест нәтижелерінің деңгейлері

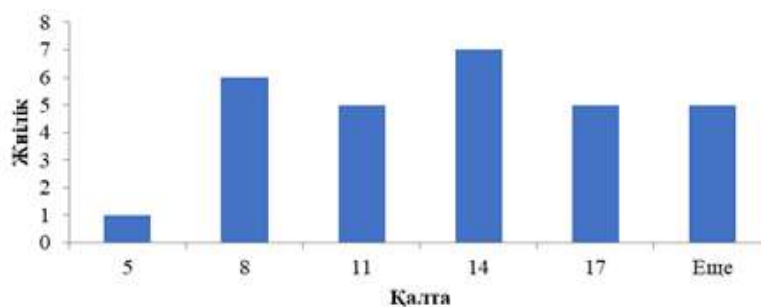
<i>Деңгей</i>	<i>Дұрыс жауаптар саны</i>
<i>Төмен</i>	<i>10</i>
<i>Орта</i>	<i>15</i>
<i>Жоғарғы</i>	<i>20</i>

БТ және ЭТ экспериментке дейін тест тапсырмасын орындау нәтижелерін деңгейлерге бөліп, анықтап көру үшін Кесте 1-де берілген әр қатысушының дұрыс жауап санын ескере, «қалталарды» пайдаландық. Осыған сәйкес Кесте 4-те берілген мәліметтерге қол жеткізіп отырмыз.

Кесте 4. БТ және ЭТ экспериментке дейінгі жауап беру деңгейлері

Деңгей	БТ	ЭТ
	Жиілік (студент саны)	Жиілік (студент саны)
Төменгі	9	8
Орта	14	11
Жоғарғы	7	6

Кесте 4-те берілген мәліметтерге сүйенетін болсақ, экспериментке дейін БТ мен ЭТ студенттерінің деңгейлері бірдей. Оның ішінде төменгі деңгейдегі, яғни 10 сұраққа 9 студент, орта деңгейде, яғни 15 сұраққа жауап берген 14 студент, жоғарғы деңгейде, яғни 20 сұраққа жауап берген 7 студент екені анықталып отыр. Бұл мәліметтерді және жауаптардың жиілігін гистограмма арқылы көруге де болады, төмендегі Сурет 1.



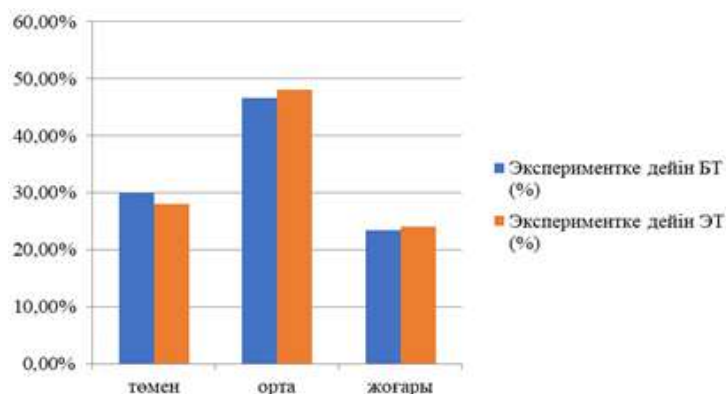
Сурет 1. Тест тапсырмасындағы жауаптардың жиілігі

Бұл мәліметтерді пайыздық көрсеткішпен Кесте-5-тен көруге болады.

Кесте 5. БТ және ЭТ экспериментке дейінгі жауап беру деңгейлерінің пайыздық көрсеткіштері

Деңгей	БТ (%)	ЭТ (%)
Төмен	30,00%	28,00%
Орта	46,67%	48,00%
Жоғарғы	23,33%	24,00%

Кестеде берілген мәліметтерді диаграмма арқылы Сурет 2-де көруге болады.



Сурет 2. Экспериментке дейін БТ мен ЭТ деңгейлері

Негізгі бөлім

Өткізілген тестілеу нәтижелерін сараптай келе, студенттердің басым көпшілігінің тарихи-ақпараттық білім деңгейі төмен немесе орташа деңгейде екені анықталып отыр.

2019-2020 оқу жылы Информатика тарихы арнайы жаңартылған курсы жасалды. Семинар сабақтарында келесі міндеттерді шешу ұсынылады:

- Информатикамен байланысты ежелгі дәуір, орта ғасыр және қазіргі ғалымдарының еңбектерін зерттеу.
- Интернеттің пайда болу себептері. Желілік технологияның, цифрлық технологияның болашағы.

- Программалар тілдерінің дамуына әсер еткен және әсер ететін жағдайлар мен себептерді талдау.
- Есептеу техникасының дамуына әсер еткен және әсер ететін жағдайлар мен себептерді талдау.
- Ақпараттық қоғамның, ашық білімнің қалыптасуына талдау жүргізу.
- Информатиканың қалыптасуындағы тұлғаның рөлі.

Студенттерге сабақ өту барсында төңкерілген сынып негізінде жасалған электрондық құрал қолданылды. Электрондық құрал – оқытушыны, білім алушыны, сондай-ақ әртүрлі географиялық аймақтарда орналасқан оқу ақпаратының көздерін олардың бірлескен қызметін жүзеге асыруға мүмкіндік беретін арнайы технологиялар жиынтығы арқылы байланыстыратын техникалық және бағдарламалық құралдардың жиынтығы. Сондықтан ғаламдық желінің мүмкіндіктеріне жүгіне отырып, информатика тарихы курсы төңкерілген сынып арқылы оқытудың осы әдістемелік жүйесін іске асырылды және қазіргі уақытта оқытудың негізгі құралы болып табылады. Педагогикалық эксперимент барысында электрондық құрал арқылы оқыған студенттердің тарихи мәліметтерді тез, әрі қызығып оқитындары байқалды. Эксперименталды топқа жаңартылған әдістеме бойынша, ал бақылау тобына дәстүрлі әдістермен сабақ жүргізілді. Курсты жүргізу барысында эксперименталды топ студенттерінің пәнге деген қызығушылықтары байқалып, белсенділіктері артты. Курстың барлық тақырыптары қамтылған соң, семестр соңында тарихи-ақпараттық білім деңгейлерін тексеру мақсатында БТ және ЭК қайта тест алынды. Тест нәтижелерінің сенімділігін анықтау үшін Вилкоксон-Манна-Уитни өлшем-шарты қолданылды [14]. Айырмашылықтардың сенімділігі $p \leq 0,05$ статистикалық маңыздылық 95% деңгейінде болды. Өлшем-шартының формуласы төменде берілген

$$W_{\text{ЭМП}} = \frac{\left| \frac{B * \text{Э}}{2} - U \right|}{\sqrt{\frac{B * \text{Э} * (B + \text{Э} + 1)}{12}}} \quad (1)$$

Эксперименттен кейінгі тест нәтижелерімен Кесте 6-да танысуға болады.

Кесте 6. Эксперименттен кейінгі БТ және ЭТ тестілеу нәтижелері

р/с	БТ (дұрыс жауаптар саны)	ЭТ (дұрыс жауаптар саны)
1	15	19
2	12	20
3	8	15
4	10	17
5	16	12
6	9	19
7	13	18
8	8	15
9	16	18
10	10	18
11	11	16
12	8	16
13	15	19
14	14	18
15	7	17
16	10	16
17	15	15
18	-	19
19	-	14
20	-	19

Кесте 4-ге берілген мәліметтерге сәйкес БТ және ЭТ эксперименттен кейінгі жауап беру деңгейлері Кесте 7-де берілген.

Кесте 7. БТ және ЭТ эксперименттен кейінгі жауап беру деңгейлері

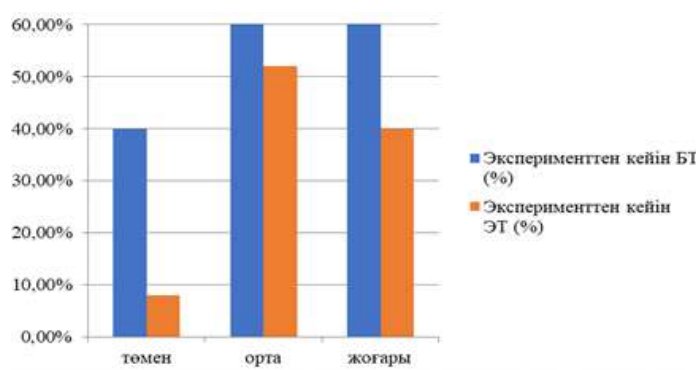
Деңгей	БТ	ЭТ
Төменгі (1 балл)	12	2
Орта (2 балла)	10	13
Жоғарғы (3 балла)	8	10

Жоғарыда мәліметтерді пайыздық көрсеткіштермен қарап көрсек, эксперименттен кейін эксперименталды топтың жоғарғы және орта деңгейлері өсіп, төмен деңгейі аз болғаны анықталды, бұл мәліметтер Кесте 8-де берілген.

Кесте 8. БТ және ЭТ эксперименттен кейінгі жауап беру деңгейлерінің пайыздық көрсеткіштері

Деңгей	БТ (%)	ЭТ (%)
Төмен	29,00%	5,00%
Орта	46%	40,00%
Жоғарғы	25%	55,00%

Кестеде берілген мәліметтерді диаграмма түрінде Сурет 3-те көрсетілген



Сурет 3. Эксперименттен кейін БТ мен ЭТ деңгейлері

Жүргізілген педагогикалық экспериментті қорытындылай келе, экспериментке дейін БТ және ЭТ тестілеу нәтижелері бірдей болғанын, яғни төмен деңгейде болғанын және эксперименттен кейін ЭТ деңгейі жоғарлағанын көріп отырмыз. Бұл біз ұсынып отырған жүйенің тиімді екенінің бірден бір дәлелі. Ұсынылып отырған жаңартылған жүйе болашақ информатика мұғалімдерінің тарихи-ақпараттық білім деңгейін жоғарлатып, пәнге деген қызығушылықтарын арттырып, өз мамандықтарының іргетасымен танысуларына үлкен септігін тигізіп отыр [15].

Қорытынды

Оқытудың соңғы сатысында оқытылатын информатика тарихы курсы болашақ информатика мұғалімдерінің ғылыми дүниетанымының қалыптасуына ықпал етеді, информатиканың ғылым ретінде біртұтастығын жүзеге асыруға, жалпы түсінік қалыптастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар болашақ информатика мұғалімдеріне заманауи информатиканың кеңдігі және сол арқылы жалпы білім берудің іргелі сипатын арттыру, информатиканың негізгі ұғымдарының, идеялары мен әдістерінің қалай дамығанын, информатикадағы жеке теориялардың белгілі бір тарихи кезеңде қалай қалыптасып, қалай дамығанын байқауға мүмкіндік береді. Қорытындылай келе, жүргізілген педагогикалық экспериментте, экспериментке дейін БТ және ЭТ тестілеу нәтижелері бірдей болғанын, яғни төмен деңгейде болғанын және эксперименттен кейін ЭТ деңгейі жоғарлағанын көріп отырмыз. Бұл біз ұсынып отырған жүйенің тиімді екенінің бірден бір дәлелі. Ұсынылып отырған жаңартылған жүйе болашақ информатика мұғалімдерінің тарихи-ақпараттық білім деңгейін жоғарлатып, пәнге деген қызығушылықтарын арттырып, өз мамандықтарының іргетасымен танысуларына үлкен септігін тигізіп отыр.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Полякова Т.С. Историко-методическая подготовка учителей математики в педагогическом университете, дисс. д.п.н. Ростов на Дону. 1998. 457 с.
- 2 N. I. Pak, E. Y. Bidaibekov, N. T. Oshanova. The development of the methodical system of "history of informatics" course in pedagogical universities. International Scientific Conference "ICEST-2020: Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society" in May 20-22, 2020. Saint-Petersburg - Krasnoyarsk, Russia. Page 994-1002. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.10.03.115>
- 3 Ошанова Н.Т., Буканова А.К. Болашақ информатика мұғалімдерін даярлауда «Информатика тарихын» оқытуда әртүрлі әдістерді қолдану. «Тұрақты даму мүдделерінде үздіксіз білім беру: жаңа сын-тегеуріндер. 1-кезең» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы. Нұр-Сұлтан, 2019. – 99-101 б.
- 4 Бидайбеков Е.Ы., Гриншкун В.В., Камалова Г.Б., Исабаева Д.Н., Бостанов Б.Ф. Білімді ақпараттандыру және оқыту мәселелері: Оқулық. Алматы, 2014. 351 б.
- 5 Булатов И.С. Теоретические, методические и содержательные основы курса истории информатики в подготовке учителя в педагогическом вузе, дисс. к.п.н. Ростов-на-Дону. 2000. 169 с.
- 6 Ошанова Н.Т., Буканова А.К. О содержании курса «история информатики» для будущих учителей информатики. Материалы III Международной научной конференции «Информатизация образования и методика электронного обучения». – Красноярск: СФУ – 2019. – 267-272 с.
- 7 Ошанова Н.Т., Буканова А.К. Болашақ информатика мұғалімдерінің «Информатика тарихы» курсының оқытуда тарихи-ақпараттық құзырлылықтарын қалыптастыру. Математикалық модельдеу мен ақпараттық технологиялар білімде және ғылымда: профессор Е.Ы. Бидайбековтың 75-жылдығына және мектеп информатикасының 35-жылдығына арналған IX Халықаралық ғылыми-әдістемелік конференция материалдары. Алматы: Абай атындағы ҚазҰПУ, «Ұлағат» баспасы, 2020. – 382-385 б.
- 8 Виденин, С.А. Изучение вузовского курса «История информатики» в контексте обучающей технологии «обучение через делание». Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. Красноярск, 2008. 45 – 49 с.
- 9 «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2017 жылғы 12 желтоқсандағы № 827 қаулысымен бекітілген. <https://digitalkz.kz/kz/o-programme>
- 10 Шваб К. Төртінші индустриялық революция. ауд. Н.Б.Ақыш, Л.Ә.Бимендиева, К.І.Матыжанов. Рухани жаңғыру. Жаңа гуманитарлық білім. Қазақ тіліндегі 100 жаңа оқулық. Алматы, 2018. 198 б.
- 11 Земцова В.И. Теоретические основы методической подготовки учителя физики. дисс. д.п.н. СПб., 1995. 310 с.
- 12 Стефанова Н.Л. Теоретические основы развития системы методической подготовки учителя математики в педагогическом вузе, дисс. д.п.н. СПб., 1996. 366 с.
- 13 Мұханбетжанова Ә. Педагогиканы оқыту әдістемесі. Оқулық. Алматы, 2011. 371 б.
- 14 Новиков Д.А. Статистические методы в педагогических исследованиях. М.:МЗ-Пресс, 2004.-67с
- 15 N.T. Oshanova, A.K. Bukanova, Zh.S. Kazhiakparova, M.T. Salbyrova, S.R. Sharmukhanbet (2021) Training future computer science teachers in the context of digitalisation based on the "History of informatics" course. World Journal on Educational Technology: Current Issues. Volume 13, Issue 3, 354-369. <https://doi.org/10.18844/wjet.v13i3.5919>

References:

- 1 Poljakova T.S. (1998) Istoriko-metodicheskaja podgotovka uchitelej matematiki v pedagogicheskom universitete [Historical and methodological training of mathematics teachers at the Pedagogical University], diss. d.p.n. Rostov na Donu. (In Russian)
- 2 N. I. Pak, E. Y. Bidaibekov, N. T. Oshanova (2020) The development of the methodical system of "history of informatics" course in pedagogical universities. International Scientific Conference "ICEST-2020: Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society". Saint-Petersburg- Krasnoyarsk, Russia. Page 994-1002. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.10.03.115>
- 3 Oshanova N.T., Bukanova A.K. (2019) Bolashak informatika mugalimderin dajarlauda «Informatika tarihy» okytuda arturli adisterdi koldanu [Application of various methods of teaching the "history of Computer Science" in the training of future computer science teachers]. «Turakty damu muddelerinde uzdiksiz bilim беру: zhana syn-tegeurinder. 1-kezen» atty halykaralyk gylymi-praktikalyk konferencijasy. Nur-Sultan, 99-101. (In Kazakh)
- 4 Bidajbekov E.Y., Grinshkun V.V., Kamalova G.B., Isabaeva D.N., Bostanov B.G. (2014) Bilimdi akparattandyru zhane okytu maseleleri [Problems of informatization of education and training] Okulyk. Almaty, 351. (In Kazakh)
- 5 Bulatov I.S. (2000) Teoreticheskie, metodicheskie i sodержatel'nye osnovy kursa istorii informatiki v podgotovke uchitelja v pedagogicheskom vuze [Theoretical, methodological and substantive foundations of the history of computer science course in teacher training at a pedagogical university], diss. k.p.n. Rostov-na-Donu. 169. (In Russian)
- 6 Oshanova N.T., Bukanova A.K. (2019) O sodержanii kursa «istorija informatiki» dlja budushhih uchitelej informatiki [About the content of the course "History of computer science" for future computer science teachers] Materialy III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Informatizacija obrazovaniya i metodika jelektronnoho obuchenija». Krasnojarsk. 267-272. (In Russian)

7 Oshanova N.T., Bukanova A.K. (2020) Bolashak informatika mugalimderinin «Informatika tarihy» kursyn okytuda tarihi-akparattyk kuzyrlylyktaryn kalypstasyru [Formation of historical and informational competencies of future computer science teachers in teaching the course "history of Computer Science"] Matematikalyk model'deu men akparattyk tehnologijalar bilimde zhane gylymda: professor E.Y. Bidajbekovtyn 75-zhyldygyna zhane mektep informatikasynyn 35-zhyldygyna arnalgan IX Halykaralyk gylmiadistemelik konferenciya materialdary. Almaty: Abaj atyndagy KazUPU, «Ulagat» baspasy, 382-385 b. (In Kazakh)

8 Videnin, S.A. (2008) Izuchenie vuzovskogo kursa «Istorija informatiki» v kontekste obuchajushhej tehnologii «obuchenie cherez delanie» [The study of the university course "History of Computer science" in the context of the training technology "learning through doing"] Vestnik KGPU im. V.P. Astaf'eva. Krasnojarsk, 45-49. (In Russian)

9 «Cifrlyk Kazakstan» (2017) memlekettik bagdarlamasy [State program "Digital Kazakhstan"]. Kazakstan Respublikasy Ukimeitinin 2017 zhylgy 12 zheltoksandagy № 827 kaulysymen bekutilgen. <https://digitalkz.kz/kz/o-programme>. (In Kazakh)

10 Shvab K. (2018) Tortinshi industrijalyk revoljucija [The Fourth Industrial Revolution] aud. N.B.Akysh, L.A.Bimendieva, K.I.Matyzhanov. Ruhani zhangyru. Zhana gumanitaryk bilim. Kazak tilindegi 100 zhana okulyk. Almaty, 198. (In Kazakh)

11 Zemcova V.I. (1995) Teoreticheskie osnovy metodicheskoy podgotovki uchitelja fiziki [Theoretical foundations of methodical training of a physics teacher]. diss. d.p.n. SPb. 310. (In Russian)

12 Stefanova N.L. (1996) Teoreticheskie osnovy razvitiya sistemy metodicheskoy podgotovki uchitelja matematiki v pedagogicheskom vuze [Theoretical foundations of the development of the system of methodological training of a mathematics teacher in a pedagogical university], diss. d.p.n. SPb., 366. (In Russian)

13 Muhanbetzhanova A. (2011) Pedagogikany okytu adistemesi [Methods of teaching pedagogy]. Okulyk. Almaty, 371. (In Kazakh)

14 Novikov D.A. (2004) Statisticheskie metody v pedagogicheskikh issledovaniyah [Statistical Methods in Educational Research]. M.:M3-Press, 67. (In Russian)

15 N.T. Oshanova, A.K. Bukanova, Zh.S. Kazhiakparova, M.T. Salbyrova, S.R. Sharmukhanbet (2021) Training future computer science teachers in the context of digitalisation based on the "History of informatics" course. World Journal on Educational Technology: Current Issues. Volume 13, Issue 3, 354-369. <https://doi.org/10.18844/wjet.v13i3.5919>

МРНТИ 14.35.07
УДК 371.14

<https://doi.org/10.51889/8354.2022.75.92.035>

М.Ж. Ильясова

*«Назарбаев Зияткерлік мектептері» дербес білім беру ұйымының
«Педагогикалық өлшеулер орталығы» филиалы, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан
e-mail: ilyassova_m@cpi.nis.edu.kz*

ПЕДАГОГ КАДРЛАРДЫҢ БІЛІКТІЛІГІН АРТТЫРУ ШЕҢБЕРІНДЕ БАҒАЛАУ ҚҰРАЛЫНЫҢ ВАЛИДТІЛІГІ МЕН СЕНІМДІЛІГІ

Аңдатпа

Бұл зерттеу педагог кадрлардың біліктілігін арттыру шеңберінде бағалау құралының валидтілігі мен сенімділігін анықтауға бағытталған. Зерттеу кезінде сапалық және сандық зерттеу әдістері қолданылды. Статистикалық талдау үшін «Математика» және «Информатика» пәндері бойынша әзірленген 118 портфолионы бағалау нәтижелері қарастырылды. Лайкерта тәсілімен алынған сауалнамаға 15 эксперт қатысты. Фокус топқа бағалауды жүзеге асыратын эксперттер және оқытуды жүзеге асыратын тренерлер тандалды. Бағалау валидтілік, сенімділік, жеткіліктілік және түпнұсқалық бағалау қағидаларына негізделеді. Педагогтердің портфолиосын бағалау құралының валидтілігі мазмұндық, құрылымдық, критериалдық дәлелдемелер тұрғысында талданды. Бағалау құралының сенімділігі статистикалық талдау негізінде анықталды. Валидті және сенімді бағалау құралдарын әзірлеу кезінде басшылыққа алынатын ұсыныстар жасалды. Зерттеу нәтижелері бағалаушы эксперттер тәжірибесі үшін құнды болып табылады.

Түйін сөздер: біліктілік арттыру, бағалау, валидтілік, сенімділік.

Аннотация

М.Ж.Ильясова

*Филиал автономной организации образования «Назарбаев Интеллектуальные школы»
«Центр педагогических измерений», г. Нур-Султан, Казахстан*

ВАЛИДНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ОЦЕНИВАНИЯ В РАМКАХ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ

Данное исследование направлено на определение валидности и надежности инструмента оценивания в рамках повышения квалификации педагогических кадров. При исследовании использовались качественные и количественные методы исследования. Для статистического анализа были использованы результаты оценивания 118 портфолио, разработанных по предметам «Математика» и «Информатика». В опросе, проведенном с помощью метода Лайкерта, приняли участие 15 экспертов. В фокус группу были выбраны эксперты, осуществляющие оценивание, и тренеры, осуществляющие обучение. Оценивание основывается на принципах валидности, надежности, достаточности и подлинности оценивания. Валидность инструмента оценивания портфолио педагогов анализируется в контексте содержательных, конструктивных, критериальных доказательств. Надежность инструмента определяется на основе статистического анализа. Представлены рекомендации, который основывается при разработке валидных и надежных инструментов оценивания. Результаты исследования является ценным для практики экспертов по оцениванию.

Ключевые слова: повышения квалификации, оценивание, валидность, надежность.

Abstract

VALIDITY AND RELIABILITY OF THE ASSESSMENT TOOL IN THE FRAMEWORK OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF TEACHING STAFF

Ilyassova M.

Center for Pedagogical Measurements of AEO "Nazarbayev Intellectual schools", Nur-Sultan, Kazakhstan

This study is aimed at determining the validity and reliability of the assessment tool within the professional development of teaching staff. Qualitative and quantitative research methods were used in the study. For statistical analysis, the results of the 118 portfolio' assessment developed in mathematics and computer science were considered. 15 experts took part in the survey obtained by the Likert method. The Focus Group consisted of experts, who carry out assessments and trainers who carry out training. The assessment is based on the principles of validity, reliability, sufficiency and authenticity of the assessment. The validity of the teachers' portfolio assessment tool is analyzed in the context of meaningful, constructive, criteria-based evidence. The reliability of the tool is determined based on statistical

analysis. Recommendations are presented, which is based on the development of valid and reliable assessment tools. The results of the study are valuable in the practice of experts in assessment.

Keywords: professional development, assessment, validity, reliability.

Кіріспе

Елімізде педагог кадрлардың біліктілігін арттыру шеңберінде курс соңындағы бағалау педагогтердің оқу кезінде қалыптастырған білімін, түсінігін және тәжірибелік дағдыларын қолдана алуын бағалауға бағытталады. Бағалау валидтілік, сенімділік, жеткіліктілік және түпнұсқалық бағалау қағидаларына негізделген. Валидтілік бағалау үдерісінің бағаланатын нәрсеге сәйкестігі, сенімділік бағалау тұрақтылығы, жеткіліктілік дәлелдемелердің толық зерделенуі, түпнұсқалық ұсынылған дәлелдеменің шынайылығы (аутентикалығы) арқылы қамтамасыз етіледі. Бағалау үдерісінде осы қағидаларды негізге алу бағалаудың әділдігін қамтамасыз етеді [1].

Біліктілік арттыру курстары шеңберіндегі жиынтық бағалау қорытындысында курс тыңдаушыларының табысты оқуының дәлелі ретінде сертификатқа ұсынылады. Көпшілік жағдайда бағалаудың бағаланушылар үшін салдары болады [2], сондықтан да бағалаудың валидті және сенімді болуына баса назар аударылады. Бағалау кезінде валидтілік пен сенімділікке әсер ететін қандайда факторлар кездесіп отырады. Курс кезінде педагогтердің әзірлеген портфолиосын бағалау үшін белгіленген бағалау критерийлерін қамтитын проформа қолданылады. Бір жыл ішінде «Есептелмеді» шешімі қабылданған 249 портфолио модерацияға түскен, оларды модерациялау нәтижесінде оның 5%-на «Есептелді» шешімі қабылданған. Осы шешімдер бойынша бағалау проформаларын талдау кейбір компоненттер бойынша қойылған бағалар арасында алшақтықты байқатты. Демек барлық бағалар дәл, нақты деп айта алмаймыз. Әртүрлі бағалаушылардың бағалары неғұрлым дәйекті болса, бағалау соғұрлым сенімдірек болады деп есептеледі [2]. Бағалаудың сенімділігі мен бағалау компонентері бойынша бағалардың нақты болмауында қарама-қайшылық орын алады. Бағалаудың сенімділігіне әсер ететін факторлардың бірі құралдың валидтілігі [3]. Бағалау құралының сенімділігі оның валидтілігінің қажетті шарты болып табылады. Шығарылған шешімнің сенімділігін қамтамасыз ету үшін құралдың валидтілігін, сенімділігін нысанаға алуымыз керек. Педагог кадрлардың біліктілігін арттыру шеңберінде жиынтық бағалауға арналған валидті және сенімді бағалау құралдарын қалай әзірленуі керек деген сұрақ туындайды. Зерттеу мақсаты валидті және сенімді құрал әзірлеуге ықпал ететін шараларды анықтау болып табылды. Зерттеу нәтижесінде бағалау құралдарын әзірлеу әдістемесі жетілдіріледі деп күтіледі. Егер бағалау құралын енгізуден бұрын алдын-ала оның сапасын бағалайтын болсақ, бағалаудың сапалы және бағалау қағидаларына сәйкес жүзеге асуына қол жеткізіледі. Бұл эксперттер командасының бағалау құралын әзірлеу және олардың сапасын бағалау тәжірибелерін жақсартуға үлес қосатыны анық. Бағалау құралдарын әзірлеу және оның валидтілігі мен сенімділігіне арналған бірқатар ғылыми зерттеулер бар. Moskal (2000) бағалау рубрикасының құрылымын ұсынып валидтілік пен сенімділік, Anders Jonsson (2007) эмпирикалық зерттеулерге шолу жасап баллдық рубрикаларды қолдану, Andrade H.G. (2005) рубрикалардың валидтілігі мен сенімділігі, техникалық оқу орындарында оқыту мен бағалау құралы ретінде қолдану мәселелерін қарастырған [2,9,10]. Студенттердің инновациялық күзиреттілігін бағалау рубрикасының валидтілігін, білім беру ресурстарын бағалауға арналған рубриканың валидациясын зерттеуге арналған еңбектер бар [4,10]. Зерттеулер оқушылардың, студенттердің оқуын бағалау құралдарын әзірлеуге, валидтілігі мен сенімділігін анықтауға, мұғалімдер портфолиосының мүмкіндіктеріне арналған, ал біліктілік арттыру курстары шеңберіндегі бағалау құралдарының валидтілігі мен сенімділік мәселесінің қарастырылмауы зерттеу өзектілігін растайды.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу педагогтердің біліктілігін арттыру курстары шеңберіндегі бағалау үдерісінде жүзеге асырылды. Зерттеу кезінде математика және информатика пәні мұғалімдері әзірлеген портфолионы бағалау деректері жиналды. Зерттеу кезінде бағалау құралының валидтілігі және сенімділігі аспектісіндегі теориялар негізге алынды. «Валидтілік» ұғымы екі аспектіні қамтиды: не өлшенуі керек және ол қаншалықты дәйекті өлшенеді [6]. Валидтілік бағалау нәтижелері негізінде қабылданатын шешім мен интерпретацияның сапасын бағалау, демек бағалау нәтижесінде біз қаншалықты дұрыс қорытынды жасайтынымызды немесе әрекет ететінімізді түсіну ретінде қарастырылады. Бұл тұста бағалау негізінде қабылданатын шешім мен қорытындының негізді болуы аса маңызды болып табылады. Демек, критерийлерге сәйкес бағаның нақты қойылуына, қабылданатын шешімдердің

негізді болуына қол жеткізу, бұл бағалау валидтілігін қамтамасыз етілуін меңзейді. Демек тек ғана нені бағалайтынызға ғана қатысты емес, портфолионы бағалау кезіндегі интерпретация қаншалықты сапалы жасалғанына, қаншалықты баға және шешім негізді шығарылуына мән беріледі.

Тестілеу теориясында валидтілік мазмұндық, конструктивтік, критериалдық болып бөлінеді [7]. Роберт Линн Дэвид Миллар (2005) валидтілікке қатысты мазмұн, конструктивтілік бойынша пікірлерді, критерийлік қатынастарды қарастыруды ұсынады. Бұл үшеуі дәстүлі, ал төртіншісі салдарлы ойлар [8]. Сондай-ақ В. Moskal (2000) бағалау құралының валидтілігін растау үшін дәлелдемелердің үш түрін, атап айтқанда мазмұн, құрылым және критерийі қарастырылатындығын айтады. Біліктілік арттыру курстарындағы жиынтық бағалау құралын әзірлеуде бағдарлама бойынша қандай мазмұн бағаланатыны қарастырылады. Мазмұнға қатысты дәлелдерді қарастыру кезінде бағалау құралы мазмұнының сәйкестігіне ғана емес, тыңдаушыдан курста игерген білімін, түсінігін және тәжірибелік дағдыларын құрал қаншалықты көрсете алатындығына және қаншалықты дәл өлшейтіндігіне айрықша мән берілді.

Конструкцияларды валидтілік дәлелінің бөлігі ретінде қарастырғанда, бағалау нәтижесін белгілі бір құрылымның немесе дизайнның бар екендігі туралы қорытынды жасау үшін қаншалықты қолдануға болатындығы зерттеледі [5]. В Moskal (2000) бағалаудың мақсаты пайымдауды бағалау болса, өнімнің екеуі де (яғни, жауап) және процесс (яғни, түсініктеме) сұралуы және зерттелуі керектігін айтады. Бұл идеялар бағалау құралының валидтілігін мазмұн жағынан ғана қарамай, құрылымдық жағынан қарастырудың маңыздылығын көрсетіп отыр. Критерийлерді қарастыру валидтілік аргументін әзірлеу біздің бағалау нәтижелерімізден бөлек бағалау немесе критерий бойынша жазылған басқа өлшемдермен қаншалықты жақсы салыстырылатынын немесе болжайтынын қарауды қамтиды [5]. Осыған қатысты айтатын болсақ, құралды критерийлерге қатысты қарастырғанда анықталған критерийлер қаншалықты өлшейді, оның түсініктілігі мен тұжырымдалуына мән беріледі. Демек дәлелдерді интерпретациялау мүмкіндігі бар екеніне, жұмыс туралы пайымдау жасай алатындығымызға көз жеткізу маңызды.

Сенімділік бағалау кезіндегі алынған нәтижелердің тұрақтылығын білдіреді. Уақытқа қатысты тұрақтылық, тапсырмалар арасындағы тұрақтылық, баға қоюшылар арасындағы келісім [3]. Бағалаушылардың қойған бағалары арасындағы тұрақтылық бағалау шешімінің сенімділігін көрсетеді. Әртүрлі бағалаушылар бағалау құралын пайдалана отырып, бір жұмысты бірдей критерийлермен бағалағанда, олар бірдей шешім шығару керек. Демек, бағалау қашан, қайда және кіммен жүргізілсе де тәуелсіз нәтижелер бірдей болуы керек. Сенімділікті тест нәтижелерінің дәйектілігі ретінде қарастырады. Тестіленушіде бағаланатын дағдының қандай да бір деңгейі бар болса, ол қайта тестілеу кезінде дағдының сол деңгейін көрсетеді. Бұл тұста сенімділік бар деп айта аламыз. Сонымен қатар, сенімділікке әсер ететін факторлар да кездеседі. Мысалы, педагогтің мазасындануы, оның портфолио әзірлеуге ынтасының болмауы, бағалаушының субъективтілігі, бағалау құралын пайдалану бойынша бірыңғай түсініктің болмауы. Олай болса, бағалау құралы педагогтер мен бағалаушылар үшін түсінікті болуы маңызды. Бағалау құралының түсініктілігі педагогтердің өз портфолиосын критерийлерге сәйкес дайындауына көмектеседі, ал бағалаушыларға әділ шешім шығаруға ықпал етеді. Зерттеулерде бағалаушылар арасындағы сенімділікті, ішкі сенімділікті анықтау кездеседі. Сенімділікті анықтауда келісім пайызы көрсеткіш ретінде пайдаланылды. Сәйкестікті бағалау әр түрлі корреляция коэффициенттерімен өлшенді. Бағалау құралының валидтілігі мен сенімділігін анықтауда Спирмен статистикалық талдауы үшін ® SPSS ® Statistics 23.0. бағдарламасы қолданылды. Статистикалық талдауға математика және информатика пәні бойынша әзірленген 118 портфолионы бағалау нәтижелері алынды. Лайкерта шкаласымен алынған сауалнамаға бағалауды жүзеге асыратын 15 эксперт қатысты. Сауалнама арқылы респонденттердің проформадағы бағалау компоненттерінің түсініктілігі және оның портфолионы бағалау үшін жарамдылығы 1-5 (өте төменнен өте жоғарыға дейін) аралығында бағаланды. Сауалнама нәтижелерін сенімді деп есептеуге болады, өйткені сауалнамаға қатысқан эксперттердің осы бағалау проформасын 3 жылдық қолдану тәжірибесіне негізделеді. Контент талдау үшін модерацияға түскен 34 портфолионы бағалау проформалары, шешім негіздемелері тандалды. Деректердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін фокус топта бейресми сұқбат жүргізілді. Фокус топтың негізгі құрамына 6 эксперт шақырылды, оның екеуі бағалау құралдарын әзірлеумен айналысатын және эксперттер тәлімгері. Зерттеу кезінде пікірдің бір жақты болмауын қамтамасыз ету үшін фокус топ құрамына тренерлер қамтылды.

Зерттеу нәтижелері

Бағалау құралының мазмұндық, құрылымдық валидтілігін талдауға тоқталайық. Педагогтер өз портфолиоларында математика, информатика пәні бойынша жиынтық бағалау тапсырмаларын ұсынады. Педагогтердің курс соңында бөлім бойынша және тоқсан бойынша тапсырмаларды әзірлей алу, тапсырмаларға сараптама жасау дағдылары қалыптасуы тиіс. Сонымен қатар критериалды бағалау жүйесін қолдана алуы күтіледі. Портфолио мазмұны бағдарлама мазмұнына сәйкес. Оқу нәтижелерін бағалау үшін мазмұн жеткілікті, демек педагогтердің оқу нәтижелері ретінде әзірленген жиынтық бағалау тапсырмалары талап етіледі. Пән бойынша тапсырмалар негізінде игерілген дағдыларды бағалау мүмкін, әрі тәжірибелік сипатқа ие. Алайда оқу нәтижелерін негізге алатын болсақ, тапсырмаларға сараптама жасау дағдыларын бағалау қамтылмаған. Портфолиода курс соңында педагогтердің алған білімін қолдана алуын растайтын мазмұн тандалған, бірақ шын мәнісінде педагогтің түсінігін бағалау мүмкіндігі қарастырылмағанын байқаймыз. Демек, портфолио мазмұндық жағынан валидті, бірақ құрылымдық тұрғыда валидтілігі әлсіз. Себебі өнім, яғни тапсырма бар, бірақ тыңдаушының сараптаманы қалай жасайтынын түсінуін не арқылы бағаланатынын қарастырылмағаны анықталды. Портфолионы бағалау проформасының валидтілігін мазмұндық, құрылымдық дәлелдер тұрғысынан қарастырайық. Құрылымға (конструкцияға) қатысты дәлелдер бағалау құралы толығымен және тек ғана осы құрылымды өлшейтінін растайтын дәлелдер болып табылады [2] деген идеяны басшылыққа алатын боламыз. Бағалау проформасындағы бағалау компоненттерінің жарамдылығын бағалау нәтижелері (1-сурет) 18 бағалау компонентінің 15-нің «өте жоғары» жарамдылығы көрсеткіштері 67-92% аралығын көрсетті, түсініктілігі бойынша (2-сурет) 16 компоненттің көрсеткіштері жоғары.

Шәкіл	Максаттар			Бағалау критерийлері					Тапсырмалар				Дескрипторлар			Тапсырмалар				Балл қою схемасы		
	Максаттар оқу бағдарламасының болып өткен сәйкес	Бағалау критерийлері оқу мақсаттарына сәйкес	Бағалау критерийлері оқу дағдылары деңгейіне сәйкес	Тапсырмалар бағалау критерийлеріне сәйкес	Тапсырмалар оқу дағдылары деңгейіне сәйкес	Тапсырмалар жас ерекшеліктеріне сәйкес	Тапсырмалар анық және түсінікті құрастырылған	Жауапты айқындайтын белгілерсіз құрылған	Жұмысты орындау уақыты рационалды белгіленген	Тапсырмаларды орындау жолдарының бақылауға және өлшеуге болатын	Тапсырманың күрделілік деңгейіне балл саны сәйкес келеді	Тапсырмалар спецификациевен сәйкес	Тапсырмалар мазмұны оқу мақсаттарына сәйкес	Тапсырмалар мазмұны оқу дағдылары деңгейіне сәйкес	Тапсырмаларды орындау уақыты рационалды түрде белгіленген	Жылытық бағалау тапсырмаларының сипаттауы ұсынылған	Балл қою схемасының құрылымында барлық маңызды компоненттер сақталған	Тапсырманың күрделілік деңгейіне балл саны сәйкес келеді				
Өте төмен	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	8%	8%	0%	0%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
Төмен	0%	0%	8%	0%	8%	0%	0%	8%	33%	0%	8%	8%	0%	0%	17%	17%	8%	8%				
Орташа	0%	8%	17%	8%	8%	33%	17%	17%	17%	8%	0%	17%	8%	8%	0%	17%	25%	8%				
Жоғары	8%	0%	17%	0%	8%	8%	17%	8%	25%	0%	17%	33%	8%	0%	17%	8%	17%	8%				
Өте жоғары	92%	92%	58%	92%	75%	42%	67%	58%	8%	92%	75%	25%	83%	92%	67%	58%	50%	75%				

Сурет 1. Бағалау проформасындағы бағалау компоненттерінің жарамдылығын бағалау нәтижелері

Шәкіл	Максаттар			Бағалау критерийлері					Тапсырмалар				Дескрипторлар			Тапсырмалар				Балл қою схемасы		
	Максаттар оқу бағдарламасының болып өткен сәйкес	Бағалау критерийлері оқу мақсаттарына сәйкес	Бағалау критерийлері оқу дағдылары деңгейіне сәйкес	Тапсырмалар бағалау критерийлеріне сәйкес	Тапсырмалар оқу дағдылары деңгейіне сәйкес	Тапсырмалар жас ерекшеліктеріне сәйкес	Тапсырмалар анық және түсінікті құрастырылған	Жауапты айқындайтын белгілерсіз құрылған	Жұмысты орындау уақыты рационалды белгіленген	Тапсырмаларды орындау жолдарының бақылауға және өлшеуге болатын	Тапсырманың күрделілік деңгейіне балл саны сәйкес келеді	Тапсырмалар спецификациевен сәйкес	Тапсырмалар мазмұны оқу мақсаттарына сәйкес	Тапсырмалар мазмұны оқу дағдылары деңгейіне сәйкес	Тапсырмаларды орындау уақыты рационалды түрде белгіленген	Жылытық бағалау тапсырмаларының сипаттауы ұсынылған	Балл қою схемасының құрылымында барлық маңызды компоненттер сақталған	Тапсырманың күрделілік деңгейіне балл саны сәйкес келеді				
Өте төмен	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	8%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
Төмен	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	8%	8%	0%	0%	8%	8%	8%	8%				
Орташа	0%	0%	0%	0%	0%	17%	8%	17%	25%	8%	0%	25%	8%	8%	17%	25%	17%	8%				
Жоғары	8%	8%	17%	8%	17%	17%	25%	25%	25%	8%	8%	33%	17%	8%	17%	8%	42%	17%				
Өте жоғары	92%	92%	83%	92%	83%	58%	67%	50%	25%	83%	83%	25%	75%	83%	58%	58%	33%	67%				

Сурет 2. Бағалау проформасындағы бағалау компоненттерінің түсініктілігін бағалау нәтижелері

Сонымен қатар 11 компонент бойынша статистикалық талдау нәтижесіндегі корреляция коэффициенттері эксперт және модераторлар бағалары арасында жоғары, орта оң байланыстың бар екенін көрсетті (3-сурет). Демек бұл компоненттер мазмұн жағынан валидті. Ал «Тапсырмалар жас

ерекшелігіне сәйкес» компонентінің «өте жоғары» жарамдылығы - 42%, «орташа» - 33%, түсініктілігі «өте жоғары» - 58%, бағалар арасында байланыс әлсіз, $r = 0,168$. Портфолионың А бөлімін бағалайтын «Жұмысты орындау уақыты рационалды белгіленген» компонентінің жарамдылығын 33%, «төмен» деп бағаланған, түсініктілігі орташа, бағалар арасында байланыс әлсіз, $r = 0,159$. Бұл деректер проформаның құрылымдық, критерийлік валидтілігінде мәселе бар екенін көрсетті. Ұсынылған құрылымды, демек портфолио тапсырмаларын (өнімін) өлшейтіндігіне күмән туындайды. Шынымен де бұл компонент маңызды еместігін байқатады, себебі біріншіден, жиынтық бағалау тапсырмаларын әзірлеу және сараптау дағдыларын тексермейді, бағалау мақсатына сәйкес емес. Екіншіден БЖҒ министрлігінің инструктивті хатында әрбір сыныпта бөлім бойынша жиынтық бағалау уақыты жалпы белгіленген. Негіздемелерді қарастыру уақыт көрсетілсе - «2», көрсетілмесе - 0 бағаға бағаланғанын анықтатты, мұнда сонымен қатар негіздемелердің 90%-да компонент атауын жазу арқылы негіздеме жасаған. Бұл мәселені фокус топтағы тренерлер де атап отыр. Компоненттің пайдалануына қатысты сұраққа фокус тобының Х мүшесі компонент бойынша «бір мәнді шешім шығару қиын», ал У мүшесі «компонентті түсінуде қиындық» бар екенін айтады. Компоненттің өлшеуге жарамсыздығын және оның тұжырымдалуының нақты еместігін аңғарамыз. Оның салдарынан бағалаушының жеке интерпретациясына ерік беріледі. Moskal (2000) егер бағалау критерийі бағалау мақсатына сәйкес емес дәлелге шоғырланғанса, онда бағалаушыны дұрыс емес интерпретацияға итермелейді деген пікірді айтады. Дұрыс емес интерпретация бағаның сенімді болмауына алып келетіні анық.

Рo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,343	,566*	,495**	,471**	,391**	,694**	,616**	,590**	,505**	,576**	,571**	-,372*	-,553**	-,532**	-,409**	-,375**	-,437**	-,416**
2	,368*	,691**	,485**	,289**	,360**	,442**	,470**	,312**	,365**	,274**	,164**	-,289**	-,222**	-,238**	-,123**	-,256**	-,253**	-,193**
3	,137**	,420**	,257**	,123**	,186**	,255**	,179**	,183**	,138**	,269**	,132**	-,060**	-,001**	-,056**	,035**	-,075**	,007**	,078**
4	-,029**	,319**	,209**	,803**	,375**	,043**	-,010**	,065**	-,007**	,029**	,092**	-,201**	-,146**	-,253**	-,123**	-,043**	-,184**	-,217**
5	,031**	,301**	,298**	,482**	,488**	,086**	,066**	,117**	,131**	,125**	,210**	-,257**	-,263**	-,366**	-,153**	-,119**	-,232**	-,287**
6	,276**	,180**	,023**	,210**	-,194**	,158**	,126**	-,028**	-,004**	,068**	-,040**	-,092**	-,098**	-,127**	-,017**	,014**	-,445**	-,353**
7	,066**	,218**	,021**	,119**	,092**	-,073**	-,081**	-,065**	-,200**	-,276**	-,315**	,080**	,098**	,069**	,111**	,016**	-,123**	-,112**
8	,214**	,213**	-,010**	,152**	,166**	,060**	,037**	-,115**	,007**	-,059**	-,069**	,074**	,007**	-,019**	,047**	,069**	-,281**	-,220**
9	,289**	,389**	,189**	,285**	,353**	,223**	,189**	,195**	-,159**	,088**	,073**	,005**	-,084**	-,085**	-,015**	,007**	-,270**	-,173**
10	,234**	,386**	,148**	,204**	,240**	,158**	,190**	,129**	,205**	,094**	,066**	-,208**	-,215**	-,211**	-,120**	-,100**	-,162**	-,114**
11	,295**	,477**	,319**	,362**	,337**	,211**	,091**	,194**	,245**	,087**	-,144**	-,148**	-,173**	-,212**	-,065**	-,005**	-,126**	-,096**
12	-,397**	-,155**	-,142**	-,374**	-,275**	-,455**	-,493**	-,282**	-,377**	-,538**	-,552**	,349**	,733**	,761**	,808**	,854**	,482**	,596**
13	-,454**	-,335**	-,332**	-,394**	-,401**	-,445**	-,440**	-,430**	-,517**	-,348**	-,512**	,822**	,348**	,720**	,813**	,578**	,397**	,550**
14	-,385**	-,209**	-,292**	-,424**	-,353**	-,405**	-,442**	-,361**	-,499**	-,439**	-,539**	,694**	,902**	,781**	,888**	,573**	,373**	,541**
15	-,313**	-,094**	,031**	-,384**	-,284**	-,330**	-,444**	-,363**	-,218**	-,455**	-,502**	,687**	,552**	,699**	,824**	,649**	,544**	,708**
16	-,216**	-,134**	-,244**	-,306**	-,296**	-,289**	-,288**	-,204**	-,186**	-,351**	-,418**	,575**	,528**	,545**	,597**	,599**	,358**	,501**
17	-,339**	-,279**	-,312**	-,461**	-,428**	-,299**	-,338**	-,199**	-,240**	-,326**	-,465**	,524**	,500**	,474**	,594**	,612**	,525**	,573**
18	-,315**	-,185**	-,225**	-,505**	-,388**	-,277**	-,307**	-,171**	-,207**	-,380**	-,517**	,494**	,465**	,443**	,599**	,583**	,531**	,579**

*. Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).
 **. Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

Сурет 3. Эксперт және модераторлар бағаларының корреляция көрсеткіштері

В бөлімі бойынша «Тапсырмалар спецификациямен сәйкес» компонентінің жарамдылығы «жоғары» - 33%, алайда «өте төмен» -17%, бағалар арасында байланыс жоғары оң, $r = 0,849$. Сол сияқты «Жиынтық бағалау тапсырмаларының сипаттамасы ұсынылған» компоненті жарамдылығы 50% «өте жоғары», алайда 25% «орташа», түсінікті, бағалар арасында байланыс орташа оң, $r = 0,599$. Бағалау проформасының бұл компоненттері бойынша мазмұндық, конструктивтілік валидті деуге болады. Дегенмен жарамдылығы «өте төмен» деп бағалаған респонденттер бар. Бағалау бойынша шығарылған бірнеше шешімдер негізделерінде жиынтық бағалау тапсырмаларының сипаттамасы ұсынылмаған

жағдайда, тапсырмалардың спецификацияға сәйкес еместігі туралы жазады немесе керісінше. Демек бұл компоненттердің функциясы бірін-бірін қайталайды. Сондай-ақ бұл компоненттер бойынша бағамдамалық пайымдау жасау мүмкін еместігін негіздемелер көрсетіп отыр. Мұны фокус топтың X мүшесінің «бұл компоненттерге иә немесе жоқ деп жауап беруге болады» деген пікірі де растайды. Сипаттама ұсынылуға қатысты компонент дағдыны бағалаудан гөрі талаптың орындалуын бағалайды. Демек бұл бағалау компоненттері критерийлерге қатысты валидті емес.

Бағалау құралының сенімділігін қарастырайық. Бағалаушылар арасындағы сенімділік екі немесе одан да көп эксперттер арасындағы келісім дәрежесін білдіреді. Ал ішкі сенімділік бір эксперттің бағаларының бірізділігі. Ішкі сенімділік бағалау кезінде сыртқы факторлардың осы эксперттің қалай бағалайтынына әсер етуі деп түсінеміз. Спирмен статистикалық талдау нәтижелеріне зер салайық (3-кесте). Бағалалар арасындағы байланыс жалпы алғанда сенімділікті көрсетеді. Жоғары оң байланыс $0,691 \leq r \leq 0,843$ аралығында, орташа оң байланыс $0,488 \leq r \leq 0,599$ аралығында. Дегенмен жоғарыда аталған компоненттер бойынша байланыс әлсіз болып отыр. Проформаларда бұл компоненттер бойынша эксперт жоғары баға қойса, модератор төмен немесе керісінше қойылған. Бұл құралдағы осы бағалау компоненттерінің сенімділігінің әлсіздігін көрсетеді. Құралдың валидтілігін талдау кезінде осы компоненттердің нақты тұжырымдалмауы және кейбір компоненттердің жарамсыздығы анықталды. Құралдың сенімділігіне әсер ететін фактордың бірі – рубриканың тұжырымдалуы деп көрсетілген [3]. Олай бұл тұста осы компоненттердің дұрыс тұжырымдалмау және мақсатқа сәйкес еместігі сенімділіктің әлсіздігіне алып келіп отыр деуге болады. В. Moskal (2000) жақсы құрастырылған рубрикалар бағалаушылар арасындағы айырмашылықтарды толығымен жоймаса да, осы сәйкессіздіктердің пайда болуын азайта алатындығын айтады. Олай болса бағалау құралдарын сапалы әзірлеу бағаның сенімділігіне де ықпал ете алатындығын байқаймыз. Осы бағалар айырмашылығы болған портфолиоардың негіздемелерін талдауда компоненттерге сәйкес бағамдамалық пайымдаулардың берілмеуі, атап айқанда «ішінара» сөзінің жиі кедесуі, бағалау компоненттерінің қайталануы байқалды. Бұл тыңдаушыға өз жұмысын жетілдіруге көмектеспейді және бағалау компоненттерін бағамдамалық пайымдау түрінде жазудың сәтсіз екенін көрсетті. Мысалы, «сәйкес» орнына «сәйкестігі» деп берілген дұрыс еді. Сәйкестігі десе, сәйкестігі туралы пікірлер жазылған болар еді. Жиынтық пікір болғандықтан «сәйкес», «сәкес емес» өте көп орын алады. Олай болса деңгейлер, яғни бағалар бойынша сипаттамалардың қажеттігін білдіреді. Ал сипатталарды беру бағалаушылар бағаларының арасындағы сәйкессіздіктердің пайда болуын азайтады. Соған қарағанда бұл да бағалау құралын әзірлеудегі мәселе болып отыр. Фокус топтың A, D, Z мүшелері баға сипаттамаларының болуы интерпретацияға көмектесетінін, шешім шығарудың жеңілдейтінін айтады. Дұрыс интерпретация болса, субъективтілікке жол берілмейді. Субъективтілік те бағалар арасындағы байланыстың әлсіздігінің себебі болуы мүмкін. Өйткені бұған осы бағалау компоненттерінің жарамдылығы, түсініктілігін бағалауда орта көрсеткіштер болған еді (1,2 кестелер). Демек бағалау құралдарының дұрыс әзірленуі бағалаушылар арасындағы және ішкі сенімділіктің жоғарылауына ықпал етеді деген тұжырым жасалады.

Бағалаушылар аналитикалық рубриканы қолданғанда мейлінше төмен балл беретіндігін анықтаған [9]. Сондай-ақ зерттеу нәтижелерінде холистикалық рубриканың сенімді, ал аналитикалық рубриканы пайдалану одан да сенімді екенін дәлелденген [10]. Біздің жағдайымыздағы проформа аналитикалық рубрикаға жатады, мұнда бағалау компоненттері әрбір бөлім үшін тағайындалған, әрі көп. Сондықтан да бағаның қатаң болуы, яғни төмен болуы бағаның сенімді болмауына алып келеді. Проформаларды талдауда модератор бағасына қарағанда эксперттердің бастапқы бағалауындағы бағалар мейлінше жоғары немесе төмен болғандығы анықталды. Фокус топтағы барлық мүшелер осы бағдарлама бойынша бағалау топтары көп болған кезде, бағалау уақытының аздығын айтты. Бұл факторлар ішкі сенімдікке әсер еткен. Бағалау құралдарын әзірлеуде құралдың жеңіл пайдалануын ескеру үшін маңызды.

Талқылау

Бағалау құралын әзірлеуде оның тек ғана жиынтық бағалауда қолдануы ғана емес қалыптастырушы бағалау үшін де валидті және сенімді болуын қарастыру маңызды, бағалау құралының дамытушылық сипатына ие болуына мән беру керек. Олай болса, жиынтық бағалау құралдарының қалыптастырушы бағалау үшін пайдалану мәселесі зерттеудің келесі бағыты болып табылады. Бағалау құралының валидтілігін және сенімділігін анықтау оның әлсіз тұстарын анықтатып, оның себептерін жоюға ықпал ететін ұсыныстарды тұжырымдауға алып келді.

Біліктілік артыру курстары шеңберіндегі бағалау құралдарын әзірлеуде келесі ұсыныстар басшылыққа алу ұсынылады: 1) конструктивті валидті болуы үшін бағаланатын құрылымды нақтылап алу; 2) критерийлік тұрғыда валидті болуы үшін бағалау компоненттерін өлшемді тұжырымдау және бағамдамалық пайымдауды қолданбау; 3) бағалау құралының сенімді болуы үшін деңгейлер, шәкілдер, бағалар бойынша сипаттамалар беру, олардың жиынтық негіздеу пікір беруден гөрі қалыптастырушы пікір беруге лайықты етіп сипаттау; 4) бағалау құралында компоненттер арасындағы байланысты тексеру; 5) ішкі сенімділікке әсер ететін факторларға жол бермеу жолдарын ескеру. Бұл ұсыныстарды екперттер командасы бағалау құралдарын әзірлеуде пайдалана алады.

Қорытынды

Біліктілік арттыру курстары шеңберіндегі бағалау құралы жалпы валидті және сенімді. Дегенмен конструктивтілік, критерийлерге қатысты валидтілік әлсіз. Зерттеу нәтижесінде бағалау құралының валидтілігін қарастыру бағалау құралындағы олқылықтарды анықтатты, құралдың валидтілігін анықтап алу бағалау құралына түзетулер енгізуге жол ашады. Демек бағалау құралын әзірлеуде мазмұндық, құрылымдық және критерийлерге қатысты дәлелдер тұрғысынан қарастыруды шара ретінде енгізу керек. Бұл валидті және сенімді құрал әзірлеудің қадамдарының бірі болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 «Назарбаев Зияткерлік мектептері» дербес білім беру ұйымы «Педагогикалық өлшеулер орталығы» филиалының бағалау рәсімдері, ДББҰ Басқармасының 2020 жылдың 4 қыркүйектегі (№42 хаттамасы) енгізілген өзгертулер мен толықтырулар, 2020, 3-4 б.
- 2 Barbara M. Moskal. Jon A. Leydens (2000). *Scoring Rubric Development: Validity and Reliability*. 2000. DOI <https://doi.org/10.7275/q7rm-gg74>
- 3 Charles Darr (2005). *A hitchhiker's guide to reliability*. 2005. DOI: <https://doi.org/10.18296/set.0623>
- 4 Frances Watts1, Juan A. Marin-Garcia2, Amparo Garcia Carbonell1, Lourdes E. Aznar Mas (2012). *Validation of a rubric to assess innovation competence*. 2012. Том 3 №1. <https://doi.org/10.4995/wpom.v3i1.1159>
- 5 Charles Darr (2005). *A hitchhiker's guide to validity*. 2005. DOI: <https://doi.org/10.18296/set.0639>
- 6 R. Ebel and D.A. Frisbie. *Essentials of Educational Measurement*. (5th Ed.). Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1991. Unirersity of Iowa.
- 7 Майоров А.Н. *Теория и практика создания тестов для системы образования*. М.: «Интеллект-центр», 2001. 296 с.
- 8 Linn, R. L., & Miller, M. D. (2005). *Measurement and assessment in teaching (9th ed.)*. New Jersey: Pearson Education.
- 9 Thikra K. Ghalib1 & Abdulghani A. Al-Hattami (2015). *Holistic versus Analytic Evaluation of EFL Writing: A Case Study*. Online Published: June 29, 2015. <http://dx.doi.org/10.5539/elt.v8n7p225>
- 10 Anders Jonsson, Gunilla Svingby (2007). *The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences*. *Educational Research Review*. 2 (2007) p. 130–144.
- 11 Black P. (1997). *Testing Friend or foe?* London: Falmer Press. <https://doi.org/10.4324/9780203137840>

References:

- 1 *The assessment procedures of the branch «Center for pedagogical measurements» under autonomous educational organization «Nazarbayev Intellectual schools», amendments and additions to the AEO Management Board dated by September 4, 2020 (Protocol No. 42), 2020, 3-4. (in Kazakh)*
- 2 Barbara M. Moskal. Jon A. Leydens (2000). *Scoring Rubric Development: Validity and Reliability*. 2000. DOI <https://doi.org/10.7275/q7rm-gg74>
- 3 Charles Darr (2005). *A hitchhiker's guide to reliability*. 2005. DOI: <https://doi.org/10.18296/set.0623>
- 4 Frances Watts1, Juan A. Marin-Garcia2, Amparo Garcia Carbonell1, Lourdes E. Aznar Mas (2012). *Validation of a rubric to assess innovation competence*. 2012. Том 3 №1. <https://doi.org/10.4995/wpom.v3i1.1159>
- 5 Charles Darr (2005). *A hitchhiker's guide to validity*. 2005. DOI: <https://doi.org/10.18296/set.0639>
- 6 R. Ebel and D.A. Frisbie. *Essentials of Educational Measurement*. (5th Ed.). Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1991. Unirersity of Iowa.
- 7 *Theory and practice of creating tests for the education system*. – М.: "Intelligence Center", 2001. - 296 p.(in Russian)
- 8 Linn, R. L., & Miller, M. D. (2005). *Measurement and assessment in teaching (9th ed.)*. New Jersey: Pearson Education.
- 9 Thikra K. Ghalib1 & Abdulghani A. Al-Hattami (2015). *Holistic versus Analytic Evaluation of EFL Writing: A Case Study*. Online Published: June 29, 2015. <http://dx.doi.org/10.5539/elt.v8n7p225>
- 10 Anders Jonsson, Gunilla Svingby (2007). *The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences*. *Educational Research Review*. 2 (2007) p. 130–144.
- 11 Black P. (1997). *Testing Friend or foe?* London: Falmer Press. <https://doi.org/10.4324/9780203137840>

МРНТИ 20.01.45
УДК 378.147:004.7

<https://doi.org/10.51889/3145.2022.47.85.036>

Ж.Қ. Қиынова¹, Н.Т. Ошанова^{2*}, Ә.Қ. Құрманқұлова¹

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: nurzhamal_o_t@mail.ru

ОРЫС ТІЛІ МЕН ӘДЕБИЕТІ ПӘНІН ОҚЫТУДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЦИФРЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аңдатпа

Мақалада білім беру жүйесіндегі цифрлық білім беру ресурстарының маңыздылығы туралы айтылған. Біраз уақыттан бері қазақстандық білім беру жүйесіне айтарлықтай өзгерістер енгізілгені баршамамызға белгілі. Бұл өзгерісті мектеп бағдарламасынан анық байқауға болады. Көптеген мектеп мұғалімдері инновациялық технологиялардың қарыштап алға дамыған заманында, сабаққа дайындалу мен сабақ өткізуге қажетті электрондық форматтағы материалдардың жетіспеушілігіне тап болады. Бұл жағдайда мектеп мұғалімі үшін цифрлық білім ресурстары таптырмас құрал болып табылатын - <https://auyl-school.kz> қарастырылған. Бұл құрал орыс тілі мен әдебиеті пәні бойынша оқу, графикалық, фото және бейнематериалдармен, оларды білім беру процесінде пайдалану мақсатында толтырылған; қашықтықтан оқытуды іске асыруда интерактивті тапсырмаларды, цифрлық тапсырмаларды, жаттықтырушыларды, тестілерді, аудио және бейнематериалдарды құрудың тиімділігіне мониторингті жүзеге асырады.

Түйін сөздер: цифрлық білім беру ресурстары, оқыту процесі, цифрлық платформа, білім беру, орыс тілі мен әдебиеті.

Аннотация

Ж.Қ. Қиынова¹, Н.Т. Ошанова², А.Қ. Курманқұлова¹

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

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

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРЕПОДАВАНИИ РУССКОГО ЯЗЫКА И ЛИТЕРАТУРЫ

В статье рассматривается о важности цифровых образовательных ресурсов в системе образования. Всем известно, что в течение некоторого времени в казахстанскую систему образования были внесены существенные изменения. Это изменение явно прослеживается в школьной программе. Многие учителя школ сталкиваются с прогрессивным развитием инновационных технологий, нехваткой материалов в электронном формате, необходимых для подготовки к урокам и проведения занятий. В этом случае для школьного учителя незаменимым инструментом являются цифровые образовательные ресурсы - <https://auyl-school.kz>. Данное пособие заполнено учебными, графическими, фото-и видеоматериалами по предмету русский язык и литература с целью их использования в образовательном процессе; осуществляет мониторинг эффективности создания интерактивных заданий, цифровых заданий, тренажеров, тестов, аудио-и видеоматериалов при реализации дистанционного обучения.

Ключевые слова: цифровые образовательные ресурсы, процесс обучения, цифровая платформа, образование, русский язык и литература.

Abstract

FEATURES OF DIGITAL EDUCATIONAL RESOURCES USED IN TEACHING RUSSIAN LANGUAGE AND LITERATURE

Kiynova Zh. K. ¹, Oshanova N.T. ², Kurmankulova A.K. ¹

¹Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

The article discusses the importance of digital educational resources in the education system. Everyone knows that significant changes have been made to the Kazakh education system for some time. This change is clearly visible in the school curriculum. Many school teachers are faced with the progressive development of innovative technologies, a shortage of materials in electronic format necessary for preparing for lessons and conducting classes. In this case, digital educational resources are an indispensable tool for a school teacher - <https://auyl-school.kz> is provided. This manual is

filled with educational, graphic, photo and video materials on the subject of Russian language and literature for the purpose of their use in the educational process; monitors the effectiveness of creating interactive tasks, digital tasks, simulators, tests, audio and video materials in the implementation of distance learning.

Keywords: digital educational resources, learning process, digital platform, education, Russian language and literature.

Кіріспе

Қазіргі ақпараттық қоғамның өміріндегі өзгерістер, әрине, оқу процесіне де, қазіргі мектепте де әсер етеді. Бұл ғасыр ақпараттық ғасыр болып табылады және компьютерлік технологиялар білім беру процесіне мықтап енгені орынды. Бірақ бұл оқытудың дәстүрлі формасы толығымен артта қалады дегенді білдірмейді, мақсаттардың үштұғырлығы (оқыту, дамыту және тәрбиелеу) кез – келген сабақтың міндетті компоненті болып табылады.

Қазіргі білім беру процесін оқу электронды материалдарымен сапалы қамтамасыз етудің елестету қиын. Бұл процесс педагогикалық теория мен оқу-тәрбие процесінің практикасында қазіргі заманғы техникалық мүмкіндіктерге сәйкес келетін және баланың ақпараттық қоғамға үйлесімді кіруіне ықпал ететін оқыту технологияларының мазмұнына түзетулер енгізуге байланысты елеулі өзгерістермен қатар жүреді.

Осыған байланысты компьютерлік технологиялар оқытуда қосымша емес, оның тиімділігін едәуір арттыратын тұтас білім беру процесінің ажырамас бөлігі болуға арналған. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың заманауи құралдарын пайдаланбай, қазіргі ақпараттық қоғамның талаптарына жауап беретін білім беру процесін елестету мүмкін емес. Бұл ретте білім берудің басты міндеті оқушылардың белгілі бір білім бөлшегін емес, олардың өз бетінше игеру дағдыларын қалыптастыру болып табылады.

Білім беруді цифрландыру дәуірінде онлайн-оқыту жағына қарай жаһандық өзгеріс (бетбұрыс) орын алуда. Қазіргі әлемде, әсіресе, бүкіл әлемді қамтыған қашықтан оқыту технологиялары өзекті болды. Осымен байланысты зерттеудің мақсаты қашықтықтан білім беру процесін ұйымдастыру жағдайында ауылдық орыс тілі мен әдебиеті мұғалімдеріне әдістемелік қолдау көрсету үшін цифрлық контентті әзірлеу болып табылады. Білім берудің цифрлық трансформациясы қазіргі заманғы шындыққа және барлық білім беру жүйесінің онлайн оқытуға көшуіне байланысты болып отыр.

Бүгінгі таңда таңдалған тақырып өте өзекті және оқу процесінде цифрлық білім беру ресурсын пайдалану оқуға деген қызығушылықты арттыруға және оқу материалын өз бетінше игеруге көмектесуге, сондай-ақ ақпараттық технологияларды басқа оқу пәндерімен кешенді пайдалануға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдіснамасы

Қазіргі таңда әлемде мемлекеттің ұлттық құндылығы мен бәсекелесу қабілеті туралы объективті ақпарат адам капиталының интеллектуалдық өлшемі арқылы анықталады. Бәсекелестіктің жоғарғы қабілетіне жету үшін заманауи, әрі тиімді білім беру жүйесін қолдау керек.

Н.Ә. Назарбаевтың 2018 жылғы 10 қаңтардағы Қазақстан халқына «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы дамудың жаңа мүмкіндіктері» Жолдауымен жаңа индустриалдық ақпараттық технологиялардың пайда болуына байланысты білім беру жүйесін дамытудың басымдылық жолдары анықталған [1]. Соның ішінде, қоғам мүшелерін өзінің кәсіби қызметін цифрлық технологияларды пайдалана отырып, тиімді іске асыруға даярлаудың маңыздылығына ерекше көңіл аударылған. Бұл педагогтарды, білім алушыларды ақпараттық технологиялар саласында ғана емес, кәсіби педагогикалық қызметті ең жаңа технологиялар мен құралдарды пайдалана отырып іске асыру саласында да даярлау жүргізілуге тиіс екендігін білдіреді.

Білім берудің заманауи сапасын қамтамасыз етудегі ақпараттық-коммуникациялық технологиялар мен цифрлық білім беру ресурстарының рөлі қазіргі білім беру процесін дамытудың негізгі элементі ретінде қарастырылады. Қазіргі уақытта білім беру процесін нақты қолдауды қамтамасыз ететін, пәндік саланың ерекшелігін ескере отырып, білім берудің дамытушылық, оқыту және тәрбиелеу функцияларын іске асыруға мүмкіндік беретін, оқу-тәрбие процесінің мазмұнды, процесік және бақылау-бағалау жағын толтыратын жоғары сапалы цифрлық оқу материалдарын жасау бойынша жұмыс жүргізілуде. Цифрлық білім беру ресурстарын қолдану оқушылардың танымдық белсенділігін барынша арттыруға мүмкіндік береді, белсенділікті, бастамашылықты, тәуелсіздікті дамытуға ықпал етеді. Ақпаратты талдаудың практикалық дағдыларын және оның әртүрлі көздеріне қызығушылықты

қалыптастыруға, өзін-өзі оқытуға жағдай жасайды, жауапты таңдау және жауапты қызмет тәжірибесін, өзін-өзі ұйымдастыру тәжірибесін, білім алу процесіне білім алушылардың белсенді қатысуын, әмбебап оқу әрекеттерін қалыптастырады.

Цифрлық білім беру ресурстары – бұл цифрлық нысанда ұсынылған фотосуреттер, бейнефрагменттер, статикалық және динамикалық модельдер, виртуалды шындық және интерактивті модельдеу объектілері, картографиялық материалдар, дыбыс жазбалары, символдық объектілер және іскерлік графика, мәтіндік құжаттар және оқу процесін ұйымдастыруға қажетті өзге де оқу материалдары.

Біраз уақыттан бері қазақстандық білім беру жүйесіне айтарлықтай өзгерістер енгізілгені баршамызға белгілі. Бұл өзгерісті мектеп бағдарламасынан анық байқауға болады. Көптеген мектеп мұғалімдері инновациялық технологиялардың қарыштап алға дамыған заманында, сабаққа дайындалу мен сабақ өткізуге қажетті электрондық форматтағы материалдардың жетіспеушілігіне тап болады. Бұл жағдайда мектеп мұғалімі үшін цифрлық білім ресурстары таптырмас құрал болып табылады [2].

Зерттеу нәтижелері

Оқушыларға арналған цифрлық білім беру контенті орналастырылған және бүгінде Қазақстан оқушылары білім алып жатқан негізгі платформа OnlineMekter цифрлық білім беру платформасы болып табылады.

500-ден астам НЗМ мұғалімдері мен 400 Bilimland мамандары (<https://bilimland.kz/ru>) құруға қатысып, 11 сыныпты және барлық 42 мектеп пәндерін қамтитын орта білім берудің жаңартылған мазмұнының оқу бағдарламасына сәйкес қазақ және орыс тілдерінде 24 240 бірегей цифрлық сабақтар мен 550 000 интерактивті жаттығулар әзірледі. Әр сабақ презентациядан тұрады-тақырыпты түсіндіру және 9 қиындық деңгейіндегі жаттығулар жиынтығы, бұл жүйеге әрқайсысының жеке оқу ерекшеліктеріне бейімделуге мүмкіндік береді [3].

Қазіргі уақытта OnlineMekter интернет-статистиканың қазақстандық рейтингі бойынша ең көп кіретін веб-ресурс болып қала береді Zero.kz. оқу жылы бойы күн сайын платформада 2 миллионға жуық оқушы оқиды. Бұл ретте трафиктің 80% - ы OnlineMekter мобильді қосымшаларына тиесілі.

OnlineMekter арқасында мектепті басқарудан бастап журнал/күнделікке дейін және BilimLand мазмұнын енгізуден бастап бүкіл білім беру процесін автоматтандыруға мүмкіндік туды. онда ресурстардың үлкен қоры бар – сабақтар, бейнематериалдар, дидактикалық материалдар, жаттығулар және барлық мектеп пәндері бойынша тапсырмалар. Бұл балаларды оқуға ынталандырады және мұғалімге жаңа материалды түсіндіруге көмектеседі. Мұғалім үшін бұл платформа ыңғайлы, өйткені онда сіз балалардың білім сапасын бақылай аласыз. Бұл оқушылар мен ата-аналар үшін өте ыңғайлы. Қажет болса, олар мұғалімнің сабақты онлайн режимінде таратуын таба алады және тағы да тыңдай алады. Оқушылар платформаға кіріп, мұғаліммен немесе өз бетімен жұмыс жасай алады, ал мұғалім сол жерде сабақ қалай жасайтынын көрсетеді. Сабақтарды асинхронды түрде жүргізуге болады. Сондай-ақ, OnlineMekter-тің басқа да көптеген артықшылықтары бар. Қазір мұндай әмбебап тиімді, өте қажет білім беру платформасынсыз мектеп оқушыларын қашықтықтан оқытуды елестету мүмкін емес. OnlineMekter контенті мен платформасы пандемиядан кейінгі Жаңа шындықта мұғалімдер мен оқушылардың сенімді цифрлық көмекшісі болатын қазақстандық электрондық оқыту жүйесін дамыту үшін іргетасқа айналды.

Информатика және басқа да пәндер бойынша цифрлық білім беру мазмұны бар басқа да танымал платформаларды атап өтуге болады. Бұл:

Daryn.kz - Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің "Дарын" республикалық ғылыми-практикалық орталығы сілтеме: <http://daryn.kz/> [4]

Opiq.kz -жетекші мамандар құрастырған жоғары сапалы оқу әдебиетімен. Сондықтан тек үздік баспагерлер өздерінің оқу материалдарын Opiq-ке орналастыруға шақырылады. Сілтеме: <https://www.opiq.kz> [5]

Қашықтықтан оқыту форматында оқу процесін ұйымдастыру, сондай-ақ интерактивті жаттығулар мен тест тапсырмаларын құру тұрғысынан жекелеген платформалар мен сервистердің мүмкіндігі ерекше қызығушылық тудырады.

Орыс тілі мен әдебиеті пәнінде цифрлық білім беру ресурстарын қолдану оқу процесінің сапасын арттыруға, оқытуды дараландыруға және саралауға, сыныпта жағымды эмоционалды фон құруға, кері байланысты бақылауға көмектеседі. Цифрлық білім беру ресурстарының көмегімен мұғалім

дидактикалық оқу материалдарын өзі жасай алады немесе сайттан қажетті цифрлық білім беру ресурстарының бірыңғай жинағын таба алады [6].

Орыс тілі мен әдебиеті сабақтарында танымдық белсенділікті арттыру үшін цифрлық білім беру ресурстарын қолдану сабақтың әртүрлі кезеңдерінде жүзеге асырылуы мүмкін.

1. Білімді өзектендіру кезеңі.
2. Жаңа материалды түсіндіру кезеңі.
3. Білімді, дағдыларды бекіту және жетілдіру кезеңі.
4. Білімді, іскерлікті, дағдыларды бақылау және бағалау кезеңі.

Жаңа материалды зерттеу барысында сабақтарда проблемалық жағдай тудыру үшін демонстрациялық материалды қолдануға болады. Балалар тапсырманы тыңдап, қойылған сұраққа жауап табуға тырысады. Сабақтың соңында рефлексия кезеңінде осы материалға оралуға болады. Сабақта қызықты түрде (жаңа білімді ашу кезеңінде) көрсету және талқылау үшін интерактивті кестелер қолданылады [7].

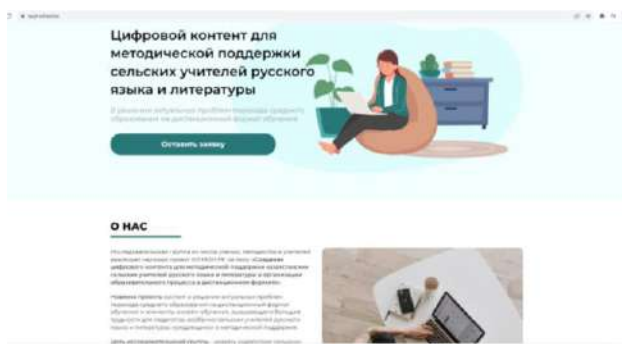
Цифрлық білім беру ресурстарды пайдалану көрнекіліктің ролін арттыруға мүмкіндік береді, оқушыларға зерттелетін процестер туралы толық және сенімді ақпарат береді, оларды белсенді жұмысқа қосады. ЦББР-ты тек жаңа білім беру мүмкіндіктері ретінде қарастыруға болмайды. Олар жаңа дағдыларды қалыптастырады. Оқушылар сабаққа дайындалу және өзін-өзі дайындау үшін басқа материалдарды пайдалануға мүмкіндік алды. Бұл оқушыны өзгертетін цифрлық білім беру ресурстарын қолдану арқылы білім беру процесі. Процестің нәтижелері оқушының жетістіктерінде (оқу және жеке) көрінеді. Ең алдымен, жаңа білім алу процесі емес, жаңа дағдыларды қалыптастыру процесі жүреді. Дәл осы нәтижеге өзгертетін цифрлық білім беру ресурстарын қолдану арқылы сабақтар бағытталуы керек [8].

Оқу материалын ұсынудың дәстүрлі түрі - оқушыларға білім берудің ең үнемді тәсілдерінің бірі. Бұл әдістің тиімділігі көпжылдық тәжірибемен сыналған және ол барлық елдердің мектептерінде, оқытудың барлық кезеңдерінде берік орынға ие болды. Бірақ бұл әдісті шамадан тыс қолдануға болмайды. Егер сабақта тек мұғалім жұмыс жасаса, оқушылар белсенді емес, қатыспайтын, сыныпта болып жатқан барлық нәрсеге немқұрайлы қарайтын болса, мұндай сабақтың мәні жоқ [9, 10]. Мультимедиялық ресурстарды пайдалану кезінде студенттер жаңа білім мен дағдыларды игеріп қана қоймай, сонымен қатар олардың танымдық күштерін дамытудың жоғары деңгейіне жететін танымдық іс-әрекетті ұйымдастыруға ұмтылу керек. Оқушыны мұғалім мен оқушыны біріктіретін мақсатқа - шығармашылық тұлғаны қалыптастыруға бағытталған танымдық іс-әрекетке қосу керек.

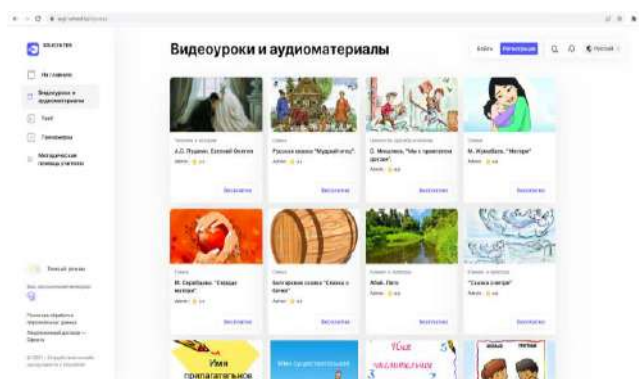
Интернетте ұсынылған ақпараттық ресурстардың мысалдары веб-сайттар, ақпараттық және анықтамалық порталдар, электрондық кітапханалар мен мамандандырылған мәліметтер базасының ресурстары болуы мүмкін. Порталдар әртүрлі форматтағы көптеген ресурстарды біріктіреді-электронды кітаптар, мақалалар, сөздіктер, анықтамалық материалдар, мәліметтер базасы, аудио және бейне файлдар, белгілі бір мәселелерді талқылауға арналған форумдар және т. б. сонымен қатар, порталдар пайдаланушыларға ұқсас мәселелерге арналған веб-сайттарды тақырыптық іздеу, белгілі бір саладағы мамандардың кеңестері және т. б. сияқты мүмкіндіктер ұсынады. т. б.

Зерттеудің мақсаты орта білім берудің қашықтықтан оқыту форматына және онлайн оқыту элементтеріне көшудің өзекті мәселелері шешіледі, бұл – педагогтарға, әсіресе әдістемелік қолдауды қажет ететін ауылдық орыс тілі мен әдебиеті мұғалімдеріне, сондай-ақ олардың цифрлық құзыреттілігін қалыптастыру мен жетілдіруге үлкен қиындық туғызады.

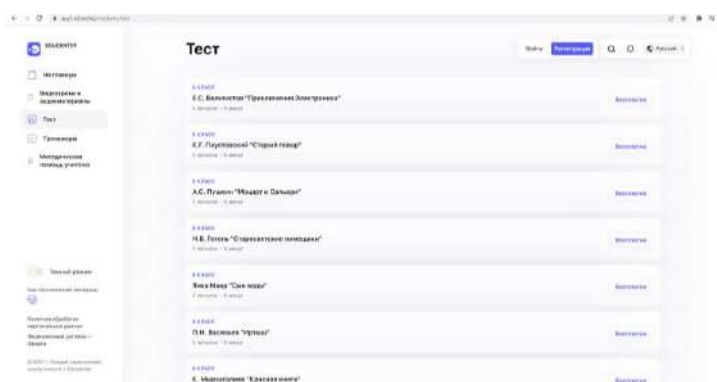
Біз жаңа материалды бекіту үшін де, тақырып бойынша аралық және қорытынды бақылау үшін де қолданатын цифрлық білім беру ресурсына тоқталғым келеді. Бұл цифрлық білім беру ресурсы [11] <https://auyl-school.kz> орыс тілі мен әдебиеті пәні бойынша оқу, графикалық, фото және бейнематериалдармен, оларды білім беру процесінде пайдалану мақсатында толтырылған; қашықтықтан оқытуды іске асыруда интерактивті тапсырмаларды, цифрлық тапсырмаларды, жаттықтырушыларды, тестілерді, аудио және бейнематериалдарды құрудың тиімділігіне мониторингті жүзеге асырады (1-5 суреттер). Цифрлық білім беру ресурсы (ЦББР) орыс тілі мен әдебиеті бойынша кең функционалдық мүмкіндіктері мен білім беру материалдарының жиынтығымен, негізінен, орыс тілінде оқытпайтын ауылдық жалпы білім беретін және шағын жинақталған мектептер үшін құрастырылған. Білім беру ресурсының әлеуетті пайдаланушылары барлық қазақстандық мектептердің мұғалімдері мен оқушылары бола алады.



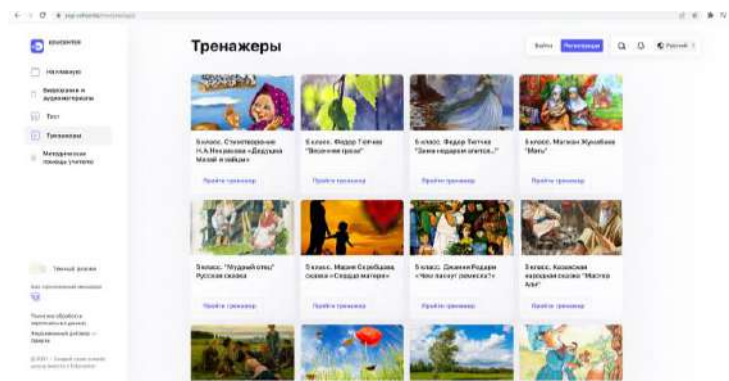
Сурет 1. <https://aaryl-school.kz> цифрлық білім беру ресурсының басты беті



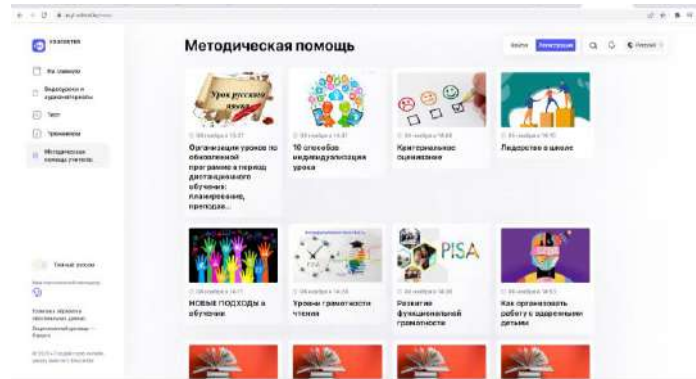
Сурет 2. Бейнесабақтар мен аудиоматериалдар



Сурет 3. Сынып бойынша тест тапсырмалары



Сурет 4. Сынып бойынша оқу материалдарына сәйкес жаттықтырушылар



Сурет 5. Мұғалімдерге әдістемелік көмек

Орыс тілі мен әдебиеті сабақтарында оқу процесінде ықтимал қолданылатын бағдарламалық өнімдерді зерттеу тәжірибесі оларды талдаудың келесі критерийлерін тұжырымдауға мүмкіндік берді:

1. Пайдаланушылар санатына, яғни оқушының жасына назар аудару.

2. Бағдарламаның мамандану деңгейі, яғни оның пәндік салаға бағдарлану дәрежесі және дидактикалық мақсаттарға сәйкестігі. Бұл жағдайда бағдарламалық өнімдердің барлық алуан түрлілігінде оқушыларды оқытуда қолдануға болатын екі түрді ажыратуға болады: мамандандырылған, тақырыпты мақсатты түрде зерттеуге арналған және мамандандырылмаған [12-14]. Орыс тілі мен әдебиеті сабақтарында ЦББР-дың келесі түрлерін жиі қолдануға болады:

- презентациялар (оларды жаңа материалды түсіндіру кезінде, білімді бекіту кезінде және шығармашылық тапсырмаларды орындау кезінде қолдануға болады);

- анимациялар мен иллюстрациялар (жаңа материалды түсіндіруде қолданылады, оқу материалын көрнекі түрде көрсетеді, тілдің әртүрлі құбылыстарын байқауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, бұл ресурстарды шығармашылық жұмысты ұйымдастыру үшін пайдалануға болады (мысалы, сурет негізінде әңгіме құрастырыңыз);

- интерактивті электрондық кестелер (жалпылау және қайталау сабақтарында қолданған жөн; зерттелген материалды жүйелеуге көмектеседі; жаңа материалды түсіндіру кезінде де қолдануға болады);

- интерактивті тесттер (Материалды қайталау және бекіту кезеңдерінде интерактивті тестілерді қолданған жөн);

- электрондық оқу құралдары (репетиторлар, жаттықтырушылар, бағдарламалар, интерактивті жинақтар, сөздіктер, анықтамалықтар; оқушылардың білімін бақылауға арналған электрондық басылымдар; электрондық кітапханалар мен дерекқор ресурстары).

Қорытынды

Жаңа технологиялардың дамуымен мұғалімдерге оқушылардың оқуға деген қызығушылығын сақтау қиындай түсуде. Олар әр оқушының жан-жақты дамуына ықпал ететін оқу процесінде жағдайларды жасауы керек. Қазіргі педагогтар оқушыларды оқу іс-әрекетіне тартудың тетіктері мен технологияларын белсенді іздестіруде, бұл олардың пәндік, оқу және өмірлік құзыреттіліктерін қалыптастыру қажеттілігіне байланысты [15]. Қазіргі заманғы педагог цифрлық білім беру материалдары мен ресурстарын тиімді пайдалануы, әзірлеуі және құруы тиіс.

ЦББР қолдану арқылы білім беру процесінің артықшылықтары:

- Сабақтарда ЦББР қолдану оқудың оң мотивациясын күшейтеді, оқушылардың танымдық белсенділігін белсендіреді.

- ЦББР қолдану сабақтарды жоғары эстетикалық және эмоционалды деңгейде өткізуге мүмкіндік береді; көрнекілікті, визуализацияны, көптеген дидактикалық материалдарды тартуды қамтамасыз етеді.

- Сабақта орындалатын жұмыс көлемі 1,5-2 есе артады; оқытуды саралаудың, дараландырудың жоғары дәрежесі қамтамасыз етіледі.

- Өз бетінше қызмет ету мүмкіндігі кеңейеді; шынайы жобалау-зерттеу қызметінің дағдылары қалыптасады.

- Түрлі анықтамалық жүйелерге, электрондық кітапханаларға, басқа да ақпараттық ресурстарға қолжетімділік қамтамасыз етіледі.

ЦББР қолдану арқылы оқу процесі логикалық және сыни ойлауды, қиялды, тәуелсіздікті дамытуға бағытталған. ЦББР пайдалану білім беру сапасын арттыруға ықпал етеді, интеграцияланған сабақтар өткізу мүмкіндігін арттырады, жобалау қызметінің, сондай-ақ педагог пен білім алушылардың бірлескен медиа-жобалау қызметінің тиімділігін арттырады.

Оқушылардың танымдық белсенділігі мен тәуелсіздігін сәтті дамыту оқу процесі әр баланың интеллектуалды белсенділігі ретінде ұйымдастырылған кезде, оның ерекшеліктері мен мүмкіндіктерін ескере отырып, әр түрлі заманауи құралдарды қолдана отырып мүмкін болады.

Қорыта келгенде, ақпараттық технологияларды қолдану кезінде сөздік мұғалімнің алдында тұрған міндеттер басқа пән мұғалімдерінің мақсаттары мен міндеттерінен айтарлықтай ерекшеленеді. Бұл міндеттер мәтінмен, көркем сөзбен, кітаппен жұмыс істеуді қамтиды. Орыс тілі мұғалімі орфографиялық және пунктуациялық дағдыларды қалыптастырып, оқушылардың сөздік қорын байытып, оларды әдеби тіл нормаларын меңгеруге үйретіп, балаларға лингвистикалық және әдеби терминдер туралы білім беруі керек. Бұл мәселелерді шешудегі сөзсіз көмекші -цифрлық білім беру ресурстары болып табылады. Оқу процесінде цифрлық білім беру ресурстарын пайдалану қажеттілігі күмән тудырмайды, өйткені қазіргі заманғы оқушылар заманауи ақпараттық технологияларды (дербес компьютер, Интернет сервистері, электрондық оқулықтар және т.б.) белсенді пайдаланады, олар аудио және бейне өнімдерде, компьютерлік ойындарда және компьютерлік мәдениеттің басқа элементтерінде тәрбиеленеді. Сондықтан оқу процесі толыққанды болуы керек және бұл үшін әр мұғалімнің цифрлық білім беру ресурстарын қолдана отырып сабақ дайындап, өткізуі маңызды. ЦББР-ын ұтымды пайдалану кезінде мұғалімнің де, оқушының да еңбек жағдайлары жақсарады: сабақ жарқын, қызықты, бай, тиімдірек болады, оқу кеңістігі мен уақыты өзгереді, иллюстрациялық материал айтарлықтай кеңейеді. ЦББР проблемалық жағдайларды жасайды және оқушылардың іздеу қызметін ұйымдастырады, оқушылардың оқу мотивациясын қалыптастырады, оқу процесін даралайды және саралайды.

Мақала АР 08855826 «Қашықтан оқыту форматында білім беру үдерісін ұйымдастыруда қазақстандық орыс тілі мен әдебиеті ауылдық мұғалімдеріне әдістемелік қолдау көрсетуде цифрлық контент құру» тақырыбына сәйкес «Ғылымды дамыту» 217 бюджеттік бағдарламасы, ҚР БҒМ Ғылым комитетінің «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» 102 кіші бағдарламасы бойынша жоба аясында орындалды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Ошанова Н.Т., Бидайбеков Е.Ы., Гринишун В.В., Сагимбаева А.Е., Бостанов Б.Г. (2018) Педагогикалық бағыттағы бакалаврларға білім берудегі цифрлық технологияларды оқытудың ерекшеліктері // *Научно-методический журнал Педагогика и Психология, №2. 142-151.*
- 2 Панюкова С.В. (2020) *Цифровые инструменты и сервисы в работе педагога. Учебно-методическое пособие. М.: «Про-Пресс». 2020. 33с.*
- 3 <https://bilimland.kz/ru> (қаралым мерзімі: тамыз, 2022)
- 4 <http://daryn.kz/> (қаралым мерзімі: тамыз, 2022)
- 5 <https://e.edu.kz> (қаралым мерзімі: тамыз, 2022)
- 6 Уваров А.Ю. (2020) *Цифровая трансформация и сценарии развития общего образования. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт образования. М.: НИУ ВШЭ. 108 с.*
- 7 Warschauer M. (2012) *The Digital Divide and Social Inclusion // Americas Quarterly. Vol. 6. No. 2. P. 131.*
- 8 Goldin, C. (1998) *The origins of technology-skill complementarity [Electronic resource] C. Goldin, L. Katz. The Quart. J. of Economics. Vol. 113, № 3.P. 693-732.*
- 9 Трайнев, В. А. (2018) *Электронно-образовательные ресурсы в развитии информационного общества (обобщение и практика) Москва : Дашков и К. 256 с.*
- 10 Оспенникова Е.В. (2008) *Цифровые образовательные ресурсы в школе: методика использования. Естествознание: Сб. учебно-методических материалов для педагогических вузов. М.: Издательский Дом «Университетская книга». 480 с.*
- 11 <https://auyl-school.kz/> (қаралым мерзімі: қазан, 2022)
- 12 <http://psychology.snauka.ru/2015/05/4949> (дата обращения 23.09.2022).
- 13 *Облако знаний. Универсальная образовательная платформа. https://www.itumk.ru* (дата обращения 09.09.2022).
- 14 *VirtuLab. Виртуальная образовательная лаборатория. - http://www.virtulab.net* (дата обращения 11.09. 2022).
- 15 *Факторы успеха. Что важнее: soft skills или hard skills? http://www.colloquium.ru/article/hard_soft/hard_soft.php* (дата обращения 21.09.2022).

References:

- 1 Oshanova N.T., Bidajbekov E.Y., Grinshkun V.V., Sagimbaeva A.E., Bostanov B.G. (2018) *Pedagogikalyk bagyttagy bakalavrlarga bilim berudegi cifrlyk tekhnologiyalardy okytudyn erekshelekteri // Nauchno-metodicheskij zhurnal Pedagogika i Psihologiya, №2. 142-151.*
- 2 Panyukova S.V. (2020) *Cifrovye instrumenty i servisy v rabote pedagoga. Uchebno-metodicheskoe posobie. M: «Pro-Press». 2020. 33с.*
- 3 <https://bilimland.kz/ru> (karalym merzimi: tamyz, 2022)
- 4 <http://daryn.kz/> (karalym merzimi: tamyz, 2022)
- 5 <https://e.edu.kz> (karalym merzimi: tamyz, 2022)
- 6 Uvarov A.Yu. (2020) *Cifrovaya transformaciya i scenarii razvitiya obshchego obrazovaniya. Nacional'nyj issledovatel'skij universitet «Vysshaya shkola ekonomiki», Institut obrazovaniya. M.: NIU VSHE. 108 s.*
- 7 Warschauer M. (2012) *The Digital Divide and Social Inclusion // Americas Quarterly. Vol. 6. No. 2. P. 131.*
- 8 Goldin, C. (1998) *The origins of technology-skill complementarity [Electronic resource] C. Goldin, L. Katz. The Quart. J. of Economics. Vol. 113, № 3.P. 693-732.*
- 9 Trajnev, V. A. (2018) *Elektronno-obrazovatel'nye resursy v razvitii informacionnogo obshchestva (obobshchenie i praktika) Moskva :Dashkov i K. 256 s.*
- 10 Ospennikova E.V. (2008) *Cifrovye obrazovatel'nye resursy v shkole: metodika ispol'zovaniya. Estestvoznanie: Sb. uchebno-metodicheskikh materialov dlya pedagogicheskikh vuzov. M.: Izdatel'skij Dom «Universitetskaya kniga». 480 s.*
- 11 <https://auyl-school.kz/> (karalym merzimi: kazan, 2022)
- 12 URL: <http://psychology.snauka.ru/2015/05/4949> (data obrashcheniya 23.09.2022).
- 13 *Oblako znaniy. Universal'naya obrazovatel'naya platforma. URL: https://www.imumk.ru* (data obrashcheniya 09.09.2022).
- 14 *VirtuLab. Virtual'naya obrazovatel'naya laboratoriya. - http://www.virtulab.net* (data obrashcheniya 11.09. 2022).
- 15 *Factory uspekha. CHto vazhnee: soft skills ili hard skills?http://www.colloquium.ru/article/hard_soft/hard_soft.php* (data obrashcheniya 21.09.2022).

МРНТИ 14.01.29
УДК 004.896

<https://doi.org/10.51889/6840.2022.56.30.037>

*А.Р. Турганбаева, А.Ә. Тұрғантай**

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

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

ЭЛЕКТРОНДЫҚ ПОРТФОЛИО БОЛАШАҚ МҰҒАЛІМДЕРДІҢ ҚҰЗЫРЕТТІЛІГІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ

Аңдатпа

Қазіргі ақпараттық қоғам жағдайында, цифрлық индустрияның дамуы, білім беру саласына қарқынды жаңартылған жоғары технологиялық компьютерлік құралдар мен коммуникациялық жүйелер белсенді түрде енгізілуде, педагог кадрларды даярлауға жаңа талаптар қойылуда. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың (АКТ) қарқынды таралуы және білім беруді ақпараттандыру жағдайында студенттерді болашақтың цифрлық экономикасына дайындау қазіргі жоғары білімнің негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Мақалада студенттердің – болашақ мұғалімдердің электронды портфолио құруының мақсаты көрсетілген. Мақала педагогикалық мамандықтар студенттерінің портфолио әдісі арқылы ақпараттық-коммуникациялық құзыреттілігін қалыптастырудың педагогикалық негіздерін талдауға арналған. Электрондық портфолионың педагогикалық мүмкіндіктері және педагогикалық университеттің оқу қызметіне портфолио технологиясын енгізу тәжірибесі қарастырылады.

Түйін сөздер: электронды портфолио, құзыреттілік, мұғалімдер, ақпараттық-коммуникациялық құзыреттілік, ақпараттық білім беру ортасы.

Аннотация

А.Р. Турганбаева, А.А. Тургантай

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

ЭЛЕКТРОННОЕ ПОРТФОЛИО КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ

В современном информационном обществе, развитии цифровой индустрии, в сферу образования активно внедряются интенсивно обновляющиеся высокотехнологичные компьютерные средства и системы связи, предъявляются новые требования к подготовке педагогических кадров. В условиях стремительного распространения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и информатизации образования подготовка студентов к цифровой экономике будущего является одной из основных задач современной высшей школы. В статье показаны цели создания электронного портфолио студентов - будущих учителей. Статья посвящена анализу педагогических основ формирования информационно-коммуникативной компетентности студентов педагогических специальностей с использованием метода портфолио. Рассмотрены педагогические возможности электронного портфолио и опыт внедрения технологии портфолио в образовательную деятельность педагогического вуза.

Ключевые слова: электронное портфолио, компетентность, педагоги, информационно-коммуникативная компетентность, информационная образовательная среда.

Abstract

ELECTRONIC PORTFOLIO AS A TOOL FOR BUILDING THE COMPETENCE OF FUTURE TEACHERS

Turganbayeva A.R., Turgantay A.A.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

In the current information society, the development of the digital industry, intensively updated high-tech computer tools and communication systems are being actively introduced into the field of education; new requirements are being set for the training of teaching staff. In the conditions of the rapid spread of information and communication technologies (ICT) and informatization of education, preparing students for the digital economy of the future is one of the main tasks of modern higher education. The article shows the purpose of creating an electronic portfolio of students - future teachers. The article is devoted to the analysis of pedagogical bases of formation of information and communication competence of students of pedagogical specialties using the portfolio method. Pedagogical possibilities of electronic portfolio and the experience of introducing portfolio technology into educational activities of a pedagogical university are considered.

Keywords: electronic portfolio, competence, teachers, information and communication competence, information educational environment.

Кіріспе

Қазақстанның білім беру жүйесін дамытудың басым бағыттарының бірі ақпараттандыру болып табылады. Қазақстан Республикасында педагогикалық білім беруді жаңғырту кезеңінде қазіргі заманғы ақпараттық-коммуникациялық технологияларды пайдалану қазіргі қоғамның қажеттіліктері мен мемлекеттің талаптарын қанағаттандыратын өзекті бола түсуде.

Педагогикалық білім беруді жаңғырту жағдайында, ең алдымен, білім беру үдерісінің сапасын арттыру, оның сабақтастығын қамтамасыз ету, даралау және даралау қажеттілігіне байланысты бірқатар ағымдағы тенденциялар дәстүрлі түрде қарастырылады, олардың ішінде:

- білім беруді ақпараттандыру;
- инновациялық АКТ(ақпараттық-коммуникациялық технологиялар) қолдану;
- болашақ мұғалімдердің АКТ құзыреттілігін дамыту.

Электронды портфолио – заманауи жоғары білім беру талаптарына жауап беретін танымал педагогикалық өнім. Ол студенттерді мақсатты түрде қолдауға негізделген, әрбір оқушының сабақтағы және одан тыс уақыттағы оқу, мәдени, әлеуметтік, ғылыми және басқа да іс-әрекеттерінің нақты жағдайын көрсетеді. Электрондық портфолионың жетекші міндеті – оқу процесін, оның ішінде өзін-өзі тәрбиелеуді ұйымдастыру және қол жеткізілген нәтижелерді бақылау [1]. Портфолио студенттің оқу процесіндегі жетістіктерін құжаттауға арналған. Ол студентке өз жетістіктерін бағалауға кәсіби тұрғыдан келуге, табыстың жеке және шығармашылық траекториясын құруға мүмкіндік береді, бұл еңбек нарығындағы болашақ маман рейтингінің маңызды құрамдас бөлігі болады. Оқытушылардың АКТ құзіреттілігінің құрылымы портфолио құру кезінде алар орны ерекше (1-кесте).

Кесте 1. Оқытушылардың АКТ құзыреттілігінің құрылымы

<i>Үш тәсілдің әр біріндегі алты модуль</i>	<i>Акт қолдану</i>	<i>Білімдерді дамыту</i>	<i>Білімді өндіру</i>
<i>Білім берудегі акт-ның ролін түсіну</i>	<i>Білім беру саясатына кіріспе</i>	<i>Білім беру саясатын түсіну</i>	<i>Инновацияның бастамасы</i>
<i>Оқу бағдарламасы және бағалау</i>	<i>Базалық білім</i>	<i>Білімді қолдану</i>	<i>Білім қоғамының дағдылары</i>
<i>Педагогикалық практикалар</i>	<i>АКТ қолдану</i>	<i>Күрделі есептерді шешу</i>	<i>Өзін-өзі тәрбиелеу қабілеті</i>
<i>АКТ құралы және бағдарламалық құралдар</i>	<i>Негізгі құралдар</i>	<i>Күрделі құралдар</i>	<i>Кең таралған технологиялар</i>
<i>Оқу процесін ұйымдастыру және басқару</i>	<i>Тәрбие жұмысының дәстүрлі формалары</i>	<i>Ынтымақтастық топтары</i>	<i>Оқытуды ұйымдастыру</i>
<i>Кәсіби дамыту</i>	<i>Компьютерлік сауаттылық</i>	<i>Көмек және тәлімгерлік</i>	<i>Мұғалім оқу шебері ретінде</i>

Зерттеу бойынша, студент портфолиосының маңызды мақсаттарының бірі оның кәсіби өзін-өзі анықтауын қалыптастыру болып табылады. Өзін-өзі анықтау болашақ жұмыс орнына, мамандығына, білім алуы одан әрі жалғастыруға бағытталау деп түсінілетін болады [2].

Педагог мамандығы әрқашан іс-әрекет нәтижесінің жоғары маңыздылығымен байланысты, яғни болашақ мұғалімнің тұлғасына қойылатын талаптар жоғары. Университетке келген жас жігіт өзінің болашақ мамандығын шешіп қойғандай, өмірін балалармен байланыстырып, сол арқылы жас ұрпақтың болашағына әсер етуді жоспарлап отырған көрінеді. Бірақ, өкінішке орай, бұл әрдайым бола бермейді. Университетке «қалдық принципі», «конкурстан өткен жері» бойынша түсетін студенттер бар. Мұндай студенттер көбінесе мұғалімдік мамандыққа бағдарланбайды, олар білім алуға қызығушылық танытпайды, олар өздерінің кейбір, әдетте сыртқы мотивтері бойынша көбірек «міндеттерді» орындайды. Айта кету керек, көптеген студенттер саналылықпен, қабылданған шешімдердің ұтымдылығымен ерекшеленеді, бұл олардың оқу іс-әрекетіне қатысуынан көрінеді [3].

ЖОО-да оқу барысында болашақ маманның мамандығына деген көзқарасы қалыптасады, құндылықтар жүйесі өзгереді, кәсіби қызметке мотивация пайда болады (күшейеді). Мұндай нәтиже көптеген факторларға, соның ішінде оқушылармен жұмыстың формаларына, технологияларына және әдістеріне байланысты. Білім беру жүйесін дамытудың стратегиялық бағытына сәйкес, ол 21 ғасырда жоғары білім беруге жаңа серпін беретін студентке бағдарланған көзқарасқа негізделген заманауи

ақпараттық-коммуникациялық технологияларды біріктіру болып табылады. Дәстүрлі бағалаулармен қатар соңғы уақытта бағалаудың жаңа кумулятивтік, кіріктірілген, рефлексиялық түрлері кең тарады, оның ішінде оқушы портфолиосы да бар. Қазіргі білім беруде портфолио нәтижеге бағытталған ең жиі қолданылатын технологиялардың біріне айналуға [4].

Әдістер

Электрондық портфолио технологиясының дидактикалық және мотивациялық әлеуеті айтарлықтай жоғары деп есептейміз, бұл оны студенттердің қолдауымен университеттің электронды ақпараттық білім беру ортасында студенттердің тұлғалық және кәсіби дамуын ескере отырып пайдалануға мүмкіндік береді. Электрондық портфолио құрудың ең танымал нұсқалары:

- PowerPoint бағдарламасындағы презентация. Бұл жағдайда бірінші слайд тақырыптары бар бет болып табылады, онда басқа портфолио слайдтарына апаратын гиперсілтемелер жасалады.

- CMS – мазмұнды басқару жүйелерін қолдану. Бұл құжаттарды белгілі бір жолмен ұйымдастыруға мүмкіндік беретін және сол арқылы ыңғайлы навигацияны және қажетті деректерді іздеуді қамтамасыз ететін компьютерлік бағдарламалық құрал. CMS – веб-ресурстарды және олардың мазмұнын басқару үшін пайдаланылатын веб-бағдарлама.

- Joomla – басқа мазмұнды басқару жүйесі. Ол PHP тілінде жазылған және MySQL деректер қоры үшін ақпарат қоймасы ретінде пайдаланылады. Жүйені басқару оңай және өте сенімді, сонымен бірге ол сайттарды өндіруде шексіз дерлік мүмкіндіктер береді.

Портфолио жасау кезінде мыналарды ескеру қажет:

- ресурс жылдамдығы, оның ішінде жаңа материалдарды тиеу кезіндегі жылдамдық;
- веб-порталдың сыртқы дизайны, оның ішінде интерфейстің ыңғайлылығы, қаріптердің өлшемі мен қаріп түрі;

- материалды құрылымдау жүйесі;

- материалдарға қолдау және қолдау көрсету (кері байланыс нысандарының болуы, форумдарды жүргізу, материалдарға түсініктеме беру опциясының болуы);

- ресурстың мазмұндық мазмұны (оқырман қызығушылығын сақтау, портал аудиториясы, жарияланған материалдардың өзектілігі, сайтта қателер мен қателердің болуы);

- графикалық мазмұн (мағыналы және қызықты графиканың, сондай-ақ инфографиканың болуы).

Тағы бір маңызды мәселе – материалды орналастыру кезінде авторлық құқықты сақтау. Атап айтқанда, портал басқа авторлардың материалдарын тек олардың рұқсатымен немесе материал жарияланатын ресурсқа тікелей сілтеме арқылы жүктеп алуға немесе жариялауға рұқсат беруі керек.

Зерттеушілер электронды-портфолионың келесі дидактикалық қасиеттерін анықтайды: интерактивтілік, мультимедиялық, жариялылық, сызықтық еместік, интеграциялық. Ал болашақ мұғалімдердің оны қолданудағы негізгі дидактикалық мақсаттары жүйелеуші, рефлексиялық-бағалаушы, ұйымдастырушылық-мотивациялық, көрнекілік-тиімділік. Электрондық портфолионың тірек материалдары (жобалар, есептер, құжаттар, шолулар, шолулар, оқу және ғылыми қызмет өнімдері және т.б.) болашақ мұғалім рефлексияны қолдау, оқу үдерісіне қатысушылармен өзара әрекеттесуді қамтамасыз етіп жобалау үшін жасайды, өзгертеді және ұсынады. Электрондық портфолио арқылы оқудың барлық кезеңінде жеке білім беру бағыттарын жүзеге асыруға болады [5]. «Оқушы портфолиосы» түсінігінің аспектілері 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. «Оқушы портфолиосы» түсінігінің аспектілері

Біріншіден, портфолио – бұл әртүрлі материалдар түрінде ұсынылған студенттің оқу немесе оқу және кәсіптік қызметінің нәтижелерінің жиынтығы. Оны оқу процесіне енгізу қажеттілігін зерттеушілер, әдетте, динамикасын қадағалауға және студенттің әртүрлі салалардағы жеке

жетістіктерін тіркеуге мүмкіндік беретін дәлелдер жиынтығы бола отырып, оны мүмкін ететіндігімен түсіндіреді. Бұл жүйе білім алушының оқу, тәрбиелік, кәсіптік және басқа да маңызды іс-әрекеттерінің нәтижелерін оның процесінде туындайтын қиындықтарды анықтай отырып және одан әрі білім беру перспективаларын белгілей отырып тіркеуді қамтиды. Көптеген авторлар мұндай тіркеудің түпкілікті мақсатын оқу үлгерімін оның нәтижелерімен, сондай-ақ портфолиоға жинақталған дәлелдемелерде іске асырылған оларға жету үшін жасалған күш-жігермен дәлелдеуден көреді.

Электрондық портфолионың келесі негізгі үлгілерін бөледі:

- Жетістік портфолиосы. Өзіңіз үшін де, басқалар үшін де әзірленген. Оның мақсаты – ғылыми-зерттеу, шығармашылық немесе кәсіби қызметтегі прогресті бағалау.

- Портфолио презентациясы. Модель тек оқырмандарға арналған және басқа мұғалімдерге автордың оқырманға күшті әсер қалдыра алатын ең жақсы жұмысын көрсету үшін қажет.

- Портфолионы өзін-өзі бағалау. Ол мұғалімнің жеке қажеттіліктері үшін құрастырылған және кәсіби қызметтің кез келген түрінде немесе белгілі бір аспектілерінде прогресс/регрессияны көрсетуге бағытталған.

- Портфолио туралы есеп. Ол басқалар үшін құрастырылған және ғылыми-зерттеу, шығармашылық және кәсіби қызметтегі жетістіктерді дәлелдеу үшін қажет.

- Толық портфолио. Мұғалімнің, сонымен қатар оның аудиториясының жеке қажеттіліктеріне арналған, мұғалімнің кешенде жұмыс істеуіне мүмкіндік береді, ал автордың өзі кәсіби қызметінде өзінің жетістіктерін көрсетуге мүмкіндік алады.

Жоғарыда айтылғандар қойылған мәселенің өзектілігін растайды: педагогикалық мамандықтар студенттерінің оқу және кәсіптік жетістіктерін бағалау құралы ретінде портфолио технологиясын пайдаланудың мүмкіндіктері мен шарттары қандай.

Бұл мәселені шешу үшін портфолио технологиясы келесі принциптерді жүзеге асыруы маңызды:

- оқытуға барлық қатысушылардың теңдігі: мұғалім мен оқушының оқытушының жетекшілік қызметімен өз бетінше білім алу басымдылығымен оқу үдерісін ұйымдастыруда серіктестікке айналуы;

- жеке мотивацияны тудыру арқылы таным процесіне күш қолданбай араласу, білім іздеу;

- бағалаудың, бәсекелестіктің, бәсекелестіктің болмауы; оның орнына ынталандыру ретінде – өзін-өзі бағалау, өзін-өзі түзету, өзін-өзі тәрбиелеу;

- коммуникативті мәдениет деңгейінің жоғарылауына ықпал ететін, шындыққа көтерілудің диалогтік жолы туралы нақты түсінік беретін ынтымақтастық, өзара түсіністік атмосферасын құру бойынша жеке және ұжымдық жұмыстың үйлесімі;

- материалды, қызмет түрін, нәтижені көрсету әдісін таңдай білу;

- инновациялық әдістер негізінде проблемалық оқытудың заңдылықтары жүзеге асырылатын шығармашылық ізденіс нәтижесінен гөрі оның процесінің маңыздылығы.

Портфолио құрылымы студенттің жалпы және кәсіби құзыреттілігін қалыптастыруға негізделген. Сонымен, ақпараттық-коммуникациялық құзіреттілік – бұл әртүрлі техникалық құралдарды пайдалана отырып, ақпаратты құру, сақтау және беру саласында білім беру және оқыту арқылы алынған дағдылар мен дағдыларды пайдалана білу. Бұл құзіреттілікті қалыптастыру нәтижелері студенттің өмірбаяны, сертификаттар мен дипломдар, презентация және басқа да ақпаратты ұсыну түрлері болуы мүмкін. Ал ғылыми-зерттеу құзіреттілігінің жетістіктеріне әртүрлі есептер, рефераттар, жобалар және т.б. жатқызылады. Кәсіби модульдерді әзірлеу нәтижелерін ұсыну үшін өндірістік тәжірибе бойынша құжаттар мен шолулар, оқыту бағытындағы жобалар мен әдістемелік әзірлемелер маңызды орын алады (2-кесте). Зерттеушілер атап өткен портфолионың құндылығын мойындамау мүмкін емес, бұл оларға мұғалім жасаған құндылық пайымдауларын негіздеу мүмкіндігінде жатыр.

Соңғысы қамтамасыз етіледі:

- сандық және сапалық бағалаудың үйлесімі арқылы;

- сыртқы бағалауды өзара бағалаумен және білім беру немесе білім беру және кәсіптік қызметті өзін-өзі бағалаумен біріктіру;

- оқушының сабақтан тыс іс-әрекетінің мазмұны мен құрылымын қарастыру кезінде оның нәтижелерін бағалау базасын кеңейту; дәстүрлі бағалау рәсімдерімен салыстырғанда оның қызметі туралы дәлелдемелерді жинау ұзақтығын арттыру;

- осы әрекеттің әртүрлі дәлелдемелерінің жинақталуына байланысты, олар бірге ол туралы жан-жақты ақпарат береді және т.б.

Кесте 2. Портфолионы бағалау критерийлері

№	Жетістіктер	Жетістіктердің деңгейі	Балл
1.	Педагогикалық	Оқу орнындағы	1
		Аудандық	2
		Қалалық	3
		Республикалық	4
		Халықаралық	5
2.	Мамандық бойынша	Оқу орнындағы	1
		Аудандық	2
		Қалалық	3
		Республикалық	4
		Халықаралық	5
3.	АКТ бойынша	Оқу орнындағы	1
		Аудандық	2
		Қалалық	3
		Республикалық	4
		Халықаралық	5

Нәтиже және талқылау

Портфолио келесі қадамдық әрекеттерді ұйымдастыруды білдіреді: портфолио әзірлеу мақсаттарын белгілеу, оған кіретін материалдардың жалпы құрылымын құру, акпаратты таңдау, портфолио үшін материалдарды жобалау [6]. Электрондық портфолио студенттердің кәсіби-педагогикалық дайындығын ұйымдастырудың, кәсіби-педагогикалық іс-әрекетке ішкі мотивациясын қалыптастыруға, сыни ойлауды, өзін-өзі тануды, өзін-өзі ұйымдастыруды, өзін-өзі басқаруды дамытуға ықпал ететін «әлеуетті қуатты құрал» деп санауға болады (3-кесте).

Кесте 3. Болашақ кәсіптік оқыту мұғалімдерінің шығармашылық құзіреттілігін қалыптастыруда цифрлық құралдарды қолдану бойынша эксперименттік жұмыстың нәтижелері

Шығармашылық құзыреттілік индексі	Эксперимент нәтижелері, % студенттер		
	Бастапқы нәтиже	Соңғы нәтиже	Өзгеріс
Оқыту мен өздігінен білім алуды ұйымдастыруда шығармашылық технологиялар саласындағы білім, білік және дағдыларды кіріктіру арқылы өзіндік шығармашылық құзыреттілік деңгейін арттыруға, өзін-өзі жүзеге асыруға дайындығы.	13,5	67,9	+54,4
Өзінің шығармашылық қабілеттерін адекватты бағалау	22,8	64,1	+41,3
Оқушылардың шығармашылық дамуы үшін технологияның мүмкіндіктерін түсіну	12,3	64,8	+52,5
Шығармашылық құзыреттілікті қалыптастыруға бағытталған өзгерістерге тұлғаның дайындығы	11,3	51,3	+40,0
Шығармашылық тұлғаны дамытуға бағытталған шығармашылық оқу процесін ұйымдастыру технологиясын түсіну	21,4	60,9	+39,5
Инновациялық білім беру жағдайында оқу үрдісінің мазмұнын құрастыра білу	10,4	58,3	+47,9
Оқушылардың шығармашылық әлеуетін дамыту үшін оқу-әдістемелік қамтамасыз етуді жобалау қабілеті	14,7	51,2	+36,5
Студенттердің жеке тұлғасын шығармашылықпен дамытуға ықпал ететін технологиялар саласындағы білімді қолдана білу	16,4	61,9	+45,5
Өнімді инновациялық формаларды, әдістерді, әдістерді пайдалана отырып, стандарттан тыс әдістемелік технологияларды әзірлеу қабілеті	20,3	42,5	+22,2

Электрондық портфолио пайдалану студенттерге жұмыс берушілермен тікелей қарым-қатынас жасауға, шығармашылық портфолио қалыптастыруға және кәсіби ортада тәжірибе жинақтауға, курстың, ғылыми-зерттеу және дипломдық жобалардың өзекті мәселелерін шешуге, тағылымдамадан өтуді ұйымдастыру шеңберінде болашақ жұмыс берушілермен ынтымақтасуға мүмкіндік береді [7].

Зерттеушілер электронды портфолиомен жұмыс істеу өзін-өзі бағалауды дамытатынын, өзін-өзі жетілдірудің маңыздылығын ішкі түсінуге әкелетінін алға тартады. Электронды портфолио арқылы болашақ мұғалімдердің АКТ құзыреттілігін қалыптастырып, оның қалыптасу деңгейлерін бағалауға болады. Электрондық портфолио білім беруді ақпараттандыру жағдайында болашақ мұғалімдердің АКТ құзыреттілігін дамытудың тиімді құралдарының бірі болып табылады деген ұстанымға сүйене отырып, университеттің ақпараттық білім беру ортасын дамытудың қазіргі тенденцияларына талдау жасалынады: электрондық оқыту және қашықтықтан оқыту технологияларын енгізудің дидактикалық, ұйымдастырушылық-әдістемелік аспектілері.

Зерттеушілер ақпараттық технологиялар саласындағы тенденцияларды енгізу мүмкіндігін анықтайтын екі компонентті көрсетеді: біріншісі – жаңа ақпараттық технологияларды енгізу және дамыту, екіншісі – білім беру тәжірибесін тарату [8]. Оларды жүзеге асырудың табыстылығына факторлардың екі тобы әсер етеді: сыртқы (білім беру ұйымдарында АКТ-ны қолдану жағдайларының дамуы) және ішкі (білім беру мекемелерінің АКТ-ны пайдалана отырып, жаңа білім беру тәжірибесін енгізуге дайындығы мен қабілеттілігі). А.Г. Асмолова, А.Л. Семенова, А.Ю. Уваровтың зерттеулерін талдай келе, білім беруді ақпараттандыруға әсер ететін негізгі ішкі факторларды зерттей отыра, келесідей сипаттауға болады:

- дидактика мәселелерін дамыту (мазмұнын анықтау, АКТ арқылы оқытудың жаңа әдістері мен формаларын пайдалану, оқу-әдістемелік қамтамасыз ету, оның ішінде электрондық білім беру ресурстары);

- мұғалімдердің АКТ құзыреттілігінің даму деңгейі және олардың кәсіби өсу динамикасы;

- мұғалімдердің АКТ арқылы жаңа тиімді педагогикалық тәжірибелерді қолдану қабілеті мен дайындығы;

- электрондық технологиялар мен жүйелерді (LMS, е-портфолио және т.б.) пайдалана отырып, формальды, бейресми және бейресми білім берудің білім беру нәтижелерін бағалау жүйесінің икемділігі;

- мұғалімдердің АКТ құралдарын пайдалана отырып оқытудың тиімді ұйымдастыру формаларын, әдістері мен технологияларын анықтау және меңгеру қабілеті.

Жаһандық экологиялық қор жобасының [9] зерттеу нәтижелеріне сәйкес жаңа технологиялар мен тәжірибелер туатын үш негізгі бағыт анықталды:

- коммуникациялық инфрақұрылым (АКТ саласы);

- өндіріс пен тұтыну инфрақұрылымы (қаржы-инвестициялық сфера);

- физикалық инфрақұрылым (спорт, денсаулық және т.б.).

Осы жұмыстардың негізінде білім беруді ақпараттандыру аясында білім беру саласын денсаулық сақтауда дидактикалық мүмкіндіктерін іске асыруға бағытталған заманауи АКТ құралдарын оқу процесінде оңтайлы дамыту және пайдалану бойынша әдістемемен және практикамен қамтамасыз ету үдерісін түсінуге болады. Белгіленген бағыттар оқу үрдісіне және білім туралы идеялар жүйесіне әсер етеді. Білім беру мекемелері, соның ішінде педагогикалық университеттер тек дәстүрлі рөлдерді ғана емес, сонымен қатар жаңа функцияларды орындайды, соның ішінде:

- дүниенің нақты бейнесін қалыптастыру;

- азаматтық тәрбие және мәдениетаралық диалог құру;

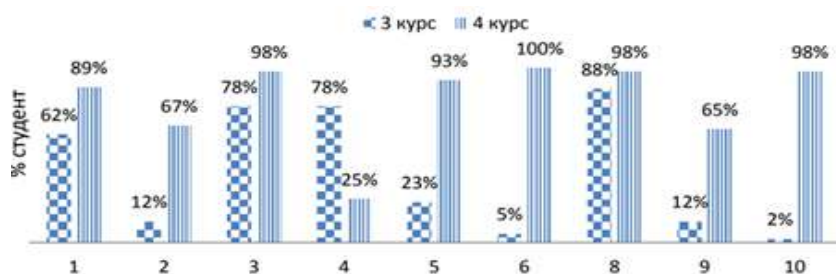
- кешенді оқыту және жан-жақты дамыту;

- формальды, бейресми және бейресми білім беруді бағалау (аралық, қорытынды).

Білім беруді ақпараттандыру және АКТ құралдарын тиімді пайдалану жағдайында электрондық оқыту және қашықтықтан оқыту технологияларының, аралас оқытудың, интерактивті педагогикалық технологиялардың, білім берудің үздіксіздігін, өзгермелілігін және дербестендіруін қамтамасыз ететін электрондық білім беру платформалары мен ресурстарының рөлі, жобалау және студенттердің барлық санаттары үшін жеке білім беру траекториясын қолдау ұлғаюда. Зерттеу бойынша электронды портфолио заманауи стандарттар талаптарына жауап беретін ЖОО-ның заманауи электрондық ақпараттық-білім беру ортасын дамыту жағдайында оқытуды ақпараттандыру контекстінде аралас оқыту үлгілерін енгізу кезінде АКТ құзыреттілігін дамыту құралдарының бірі ретінде әрекет ете алады

деген көзқарасты ұстанады. Аралас оқыту моделі негізінде құрылған e-learning курстарының қолдауымен бейіндік пәндерді енгізу аясында болашақ оқытушылардың – бакалаврлардың жеке электронды портфолиоларын құру және одан әрі дамыту арқасында АКТ құзыреттілігін тиімді қалыптастыру жүзеге асырылуда [10].

Электронды портфолио болашақ мұғалімдердің АКТ құзыреттілігін қалыптастыру құралы ретінде қолдану туралы жүргізілген 3,4-курстар арасында кеңестер бойынша нәтижесі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. Электронды портфолио бойынша жүргізілген сауалнаманың нәтижесі

Алынған сауалнаманың нәтижесінде эксперимент соңында электронды портфолио бойынша келісетін студенттердің саны айтарлықтай өсті деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Студенттің электрондық портфолиосын университеттің электрондық білім беру ақпараттық ортасының маңызды құрамдас бөлігі ретінде көрсететін бірқатар зерттеулерге қарамастан, қазіргі уақытта электрондық портфолио АКТ-ны дамыту құралы ретінде қарастырылатын ғылыми жұмыстар жоқ. Оқытуды ақпараттандыру жағдайында болашақ педагог-тьюторлардың құзыреттілігі қарастырылады.

Болашақ мұғалімдердің АКТ құзыреттілігін қалыптастыру жағдайында электрондық портфолионы пайдаланудың негізгі дидактикалық мақсаттарының ішінде мыналарды атап өтуге болады:

- жүйелеу (электрондық ортада қажетті оқу және білім беру ақпаратын жүйелеу, орналастыру және сақтау);
- рефлексиялық-бағалаушы (болашақ мұғалімдердің жеке және кәсіби даму үшін жеке электрондық портфолионы пайдаланудың маңыздылығын сезінуі, әртүрлі қызмет түрлерінде электрондық портфолио құралдарын пайдалануға дайындығын көрсету);
- мағыналы (оқытылған және бұрын оқытылатын пәндер арасындағы пәнаралық көзқарас пен сабақтастықты жүзеге асыруға мүмкіндік береді);
- ұйымдастырушылық және мотивациялық (мақсат қою, жоспарлау және болжау дағдыларын дамытуға, іс-әрекетті өзін-өзі ұйымдастыруға, оқу үдерісіне және әртүрлі қызмет түрлеріне (ғылыми-зерттеу, әлеуметтік, мәдени, шығармашылық, спорттық) қызығушылықты қалыптастыру және қолдауға ықпал етеді);
- демонстрациялық - өнімді (ол білім беру процесінің әр түрлі қатысушылары үшін 24/7 режимінде болашақ мұғалімнің оқу нәтижелерін, жеке және кәсіби жетістіктерін көрсетуге мүмкіндік береді).

Қорытынды

Осылайша, Қазақстандағы білім беру жүйесінің дамуының қазіргі кезеңі білім беруді ұйымдастыруға, басқаруға, мазмұнына, нысандары мен әдістеріне инновациялық тәсілдерді енгізу негізінде оның құрылымы мен мазмұнын жаңарту қажеттілігімен, сондай-ақ білім беруді бағалаумен сипатталады. Осыған байланысты жеке-бағдарлы оқыту парадигмасын қабылдау және дамыту білім беру үдерісіне қатысушылардың қызметін бағалаудың баламалы әдістерін кеңінен қолдануға әкеледі. Білім беру ұйымдарының тәжірибесіне белсенді түрде енгізіліп жатқан портфолио технологиясы құзіреттілікке негізделген тәсілді қолдануға негізделген бағалау технологияларының біріне айналды. Деректерді өңдеу мен сақтау процестері технологиясының электрондық нұсқасын автоматтандырудың өзектілігі бірінші орынға шықты. Өзін-өзі тәрбиелеу бойынша жұмыс істеу дағдысына ие болған мұғалімнің ғылыми, практикалық және ғылыми-зерттеу қызметін жүзеге асыруға тез дайындалып, көшуі жоғары кәсіби және білім деңгейін көрсетеді. Ал бұл оқу-тәрбие процесінің сапасына және педагогикалық қызметтің тиімділігіне оң әсерін тигізеді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 Безызвестных Е.А. Электронный портфолио как средство формирования ИКТ-компетентности будущих педагогов-тьюторов: дис. канд. пед. наук. Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, 2019. 290 с.
- 2 Нестерова Н.С., Сверкунов С.Б. Разработка электронного портфолио студента, 2016. № 1. С. 17—20.
- 3 Базаржапова Т.Ж. Совершенствование информационной компетентности педагогов условиях инфокоммуникационной среды интеграции: автореф. дис ... канд. пед. наук / Т. Ж. Базаржапова. – Улан-Удэ, 2013. – 2 с.
- 4 Трепакова Е.В. Электронное портфолио как один из видов оценочных средств студента// Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 127—129.
- 5 Чиркова Н.И., Павлова О.А. Электронный портфолио как средство формирования и контроля сформированности профессиональных компетентностей будущих педагогов // Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского, 2019. С. 143—146.
- 6 Гусева В. Е., Гребнева А. Д. Способы мотивации студентов в формировании электронного портфолио в электронной информационно-образовательной среде // Новое слово в науке: стратегии развития: сборник материалов IX Международной научнопрактической конференции. Чебоксары: Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2019. С. 48—50.
- 7 Кирьякова А. В., Каргапольцева Н. А., Ольховая Т. А., Реунова М. А. Технология «портфолио» в компетентностно-ориентированном образовании: учебно-методическое пособие / Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2011. 113 с.
- 8 Болотина Г.К. Научно-методическое портфолио педагога. //Методист. -2006. -№9. -С.57.
- 9 Зеленко Н.В., Могилевская А.Г. Портфолио будущего педагога. // Стандарты и мониторинг в образовании. -2009. -№1. -С.61.
- 10 Михайловский О.С. Портфолио учителя. Обобщение и систематизация педагогических достижений. // Образование в современной школе. -2006. -№9. -С.19.

References:

- 1 Bezyzvestnyh E. A. Elektronnyj portfolio kak sredstvo formirovaniya IKT-kompetentnosti budushchih pedagogov-t'yutorov: dis. kand. ped. nauk. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. V. P. Astaf'eva, 2019. 290 s.
- 2 Nesterova N. S., Sverkunov S. B. Razrabotka elektronnoho portfolio studenta, 2016. № 1. S. 17—20.
- 3 Bazarzhapova, T.ZH. Sovershenstvovanie informacionnoj kompetentnosti pedagogov usloviyah infokommunikacionnoj srede integracii: avtoref. dis ... kand. ped. nauk / T. ZH. Bazarzhapova. – Ulan-Ude, 2013. – 2 s.
- 4 Trepakova E. V. Elektronnoe portfolio kak odin iz vidov ocenochnyh sredstv studenta// Nauka i obrazovanie: sohranyaya proshloe, sozdayom budushchee: sbornik statej XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Penza: Nauka i prosveshchenie, 2017. S. 127—129.
- 5 CHirkova N. I., Pavlova O. A. Elektronnyj portfolio kak sredstvo formirovaniya i kontrolya sformirovannosti professional'nyh kompetentnostej budushchih pedagogov // Nauchnye trudy Kaluzhskogo gosudarstvennogo universiteta imeni K.E. Ciolkovskogo, 2019. S. 143—146.
- 6 Guseva V. E., Grebneva A. D. Sposoby motivacii studentov v formirovanii jelektronnoho portfolio v jelektronnoj informacionno-obrazovatel'noj srede // Novoe slovo v nauke: strategii razvitija: sbornik materialov IX Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoy konferencii. Cheboksary: Centr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv pljus», 2019. S. 48—50.
- 7 Kir'jakova A. V., Kargapol'ceva N. A., Ol'hovaja T. A., Reunova M. A. Tehnologija «portfolio» v kompetentnostno-orientirovannom obrazovanii: uchebno-metodicheskoe posobie / Orenburgskij gos. un-t. Orenburg: OGU, 2011. 113 s.
- 8 Bolotina G.K. Nauchno-metodicheskoe portfolio pedagoga. //Metodist. -2006. -№9. -S.57.
- 9 Zelenko N.V., Mogilevskaja A.G. Portfolio budushhego pedagoga. // Standarty i monitoring v obrazovanii. -2009. -№1. -S.61.
- 10 Mihajlovskij O.S. Portfolio uchitelja. Obobshhenie i sistematizacija pedagogicheskikh dostizhenij. // Obrazovanie v sovremennoj shkole. -2006. -№9. -S.19.