ISSN(online) 2959-5894
ISSN (print) 2959-5886

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(91)

Алматы, 2025

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті

ХАБАРШЫ
«Физика-математика ғылымдары» сериясы №3 (91), 2025 ж.

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

Редакция алқасы:
Бас ред.орынбасары:
п.ғ.д., профессор **Е.Ы. Бидайбеков,**
ф.-м.ғ.д., профессор **В.Н. Косов**

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

Ғылыми редактор
тех.ғ.д., профессор, **Н.С. Заурбеков,**
PhD доктор, қауымд. профессор м.а.,
А.Р. Рысқан

Редакциялық алқа мүшелері:
Phd.d., Professor **A. Cabada** *(Spain),*
ф.-м.ғ.д., профессор **Ф.Ф. Комаров** *(Республика Беларусь),*
Phd.d., Professor **M. Ruzhansky** *(Belgium),*
Phd.d **E. Kovatcheva** *(Bulgaria),*
ф.-м.ғ.д., профессор, РҒА корреспондент-мүшесі, **С.И. Кабанихин** *(Ресей),*
п.ғ.д., **профессор В.В. Гриншкун** *(Ресей),*
ф.-м.ғ.д., профессор **В.М. Лисицин** *(Ресей),*
п.ғ.д., профессор **Н.И. Пак** *(Ресей),*
ф.-м.ғ.д., профессор **А.Л. Семенов** *(Ресей),*
п.ғ.д., профессор, РБА академигі
А.Е. Абылқасымова,
PhD d., профессор **К. Алимхан**,
т.ғ.д., профессор **Б.С. Ахметов**,
ф.-м.ғ.д., профессор **А.С. Бердышев**,
т.ғ.д., профессор **К. Бисембаев**,
ф.-м.ғ.д., профессор **М.Н. Калимолдаев**,
т.ғ.д., профессор **М.К. Кулбек**,
ф.-м.ғ.д., профессор **С.Т. Мухамбетжанов**,
Phd.d., қауым., профессор м.а.
Ж.М. Нурмухамедова,
п.ғ.д., профессор **Б.Д. Сыдықов**,
т.ғ.д., профессор **А.К. Тулешов**

© Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, 2025

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

Басуға 27.09.2025 қол қойылды
Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 43,125 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 ЖӘНЕ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

Беркимбаева С.Б., Дальбекова К.С., Каденова З.А., Искакова А.К., Аккозиева Р.С.
Квазиоптимальное управление одного класса систем с распределенными параметрами …… 7

Биргебаев А.Б., Жұмағұл Ғ.О.
〚L〛$_p$(R) кеңістігіндегі бір операторды бөліктенуі туралы .. 20

Yeshkeyev A.R., Ulbrikht O.I., Koshekova A.K.
Properties of categoricity for Kaiser class ……. 29

Касенов С.Е., Тұрлыбек Ж.Ғ., Тлеулесова А.М., Кабулова А.А., Темирбеков А.Н.
Численное моделирование распространения вредных примесей в атмосфере ……... 43

Муссабек А., Рахимжанова А., Кызырханов А., Алимбаева Б.
Интегрированный подход SNTHERM и ML к моделированию снежного покрова и таяния в ВКО ……. 53

Тлеулесова А., Жұматов С.
Бағдарламалық көпбейнеліктің орнықтылығын зерттеудегі матрицалық салыстыру жүйелері …… 69

Shapen K.M., Gabbassov M.B., Rakhymova A.T., Kasymkhanov A.M.
Assessment of fish population dynamics in Lake Zaisan using a cohort approach ……... 79

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

Абиқызы Г., Сыдыхов Б.Д.
Об обучении обыкновенным дробям в основной школе в условиях цифровизации образования ……. 91

Әбілқасымова А.Е., Қосанов Б.М., Халимбетов Б.Я.
Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстанда математикалық білім берудің жағдайына тарихи шолу ……. 101

Казахский национальный педагогический университет имени Абая

ВЕСТНИК
Серия «Физико-математические науки»
№3 (91), 2025 г.

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

Редакционная коллегия:

Зам.главного редактора:
д.п.н., профессор **Е.Ы. Бидайбеков,**
д.ф.-м.н., профессор **В.Н. Косов**

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

Научный редактор
д.т.н., профессор, **Н.С. Заурбеков**,
PhD д., и.о. профессор **А.Р. Рысқан**

Члены редколлегии:
Phd.d. **A.Cabada** *(Spain),*
д.ф.-м.н., профессор **Ф.Ф. Комаров** (Республика Беларусь),
Phd.d. **M. Ruzhansky** *(Belgium),*
Phd.d **E. Kovatcheva** *(Bulgaria),*
д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН **С.И. Кабанихин** *(Ресей),*
д.п.н., профессор **В.В. Гриншкун** *(Россия),*
д.ф.-м.н., профессор **В.М. Лисицин** *(Ресей),*
д.п.н., профессор **Н.И. Пак** *(Россия),*
д.ф.-м.н., профессор **А.Л. Семенов** *(Россия),*
д.п.н., профессор, академик РАН **А.Е. Абылкасымова,**
PhD d., профессор **К. Алимхан**
д.т.н., профессор **Б.С. Ахметов**,
д.ф.-м.н., профессор **А.С. Бердышев**,
д.т.н., профессор **К. Бисембаев**,
д.ф.-м.н., профессор **М.Н. Калимолдаев**,
д.т.н., профессор **М.К. Кулбек**,
д.ф.-м.н., профессор **С.Т. Мухамбетжанов**,
Phd.d., асс., профессор и.о. **Ж.М. Нурмухамедова**,
д.т.н., профессор **Б.Д. Сыдықов**,
д.т.н., профессор **А.К. Тулешов**

© Казахский национальный педагогический университет им. Абая, 2025

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

Подписано в печать 27.09.2025.
Формат 60x84 1/8. Об. 43,125 уч.-изд.л.
Тираж 300 экз. Заказ 621.

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

Zhunussova R.A., Kireyeva A.K.,
Bokayeva M.S., Naimanov B.A., Naimanova A.B.
Development of students' research competencies when studying analytical and projective geometry ……. 111

Назарова К.Ж., Еркишева Ж.С.
Maple компьютерлік математикалық жүйелерін қолдану арқылы интегралдық есептеулер теориясын оқытуды жетілдіру …… 121

Шмигирилова И.Б., Костина А.А.
Приложение теории когнитивной нагрузки к обучению школьников математике …….. 133

Тенгаева А., Анафина А., Овсянников И.
Современные подходы к преподаванию математики с помощью smart-технологий …… 150

ИНФОРМАТИКА

COMPUTER SCIENCE

Абдувалова А.Д., Ахметжанова Ш.Е.,
Оралбекова Ж.О., Ешмаханова Т.К., Шымырбек А.
Интернет заттар технологияларын пайдаланып медициналық қалдықтарды басқару үшін әдістемелік тәсілдер мен құралдарды әзірлеу 164

Алиева С.Г., Альжанов А.К.,
Жамалова С.А., Мырзаева Ж.Л.
Онтологиядағы пәндік білімнің құрылымы 173

Bektemessov A., Ibrayev A.,
Abizov N., Omarov B.
Advances in path planning and obstacle avoidance for autonomous mobile robots 182

Бостанбеков К., Нурсеитов Д.Б.,
Сакыпбекова М.Ж., Шекербаева Ш.Н., Шайя И.
Тематические исследования по сбору и обработке данных для обнаружения людей в городском транспорте 192

Zholdybay A.T., Aituov A.
Python concurrency for high-load multicore processing 203

Капалова Н.А., Абишева А.Ж.
Криптографиялық кілттерді басқарудың және сандық қолтаңбаны қолданудың заманауи тәсілдері бойынша мәселелері 213

Курмангалиева Н.А., Ерсін М.Е.,
Камалова Г.Б., Сейдуәлі Қ.
STEAM-жоба ретінде 3D принтердің филаментін жасауға арналған экструдерді әзірлеу 221

Рахимова Д.Р., Дүйсенбекқызы Ж.,
Сағынтай О.А., Турарбек Ә., Төлеуғали Ш.
Балалардың сөйлеуін тану жүйелеріндегі шуды азайту алгоритмдерін талдау және жақсарту 230

Abai Kazakh National Pedagogical University

BULLETIN
Ser. Physics & Mathematical Sciences

№3 (91), 2025.

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

Deputy Editor-in-Chief:
Dr. Sci. (Ped.), **Ye.Y. Bidaibekov,**
Dr. Sci. **V.N. Kosov**

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

Scientific editor
Ph.D., professor, **N.S. Zaurbekov**,
PhD, associate Professor **A.R. Ryskan**

Editorial board:
Phd.d. **A. Cabada** *(Spain),*
Dr. Sci. **F.F. Komarov** *(Republic of Belarus),*
Phd.d. **M. Ruzhansky** (Belgium),
Phd.d **E. Kovatcheva** (Bulgaria),
Dr.Sc. **S.I. Kabanikhin** (Russia),
Dr.Sci. **V.V. Grinshkun** (Russia),
Dr. Sci. **V.M. Lisicin** (Russia),
Dr. Sci. (Ped.) **N.I. Pak** (Russia),
Dr. Sci. **A.L. Semenov** (Russia),
Dr. Sci. (Ped.) **A.Ye. Abylkasymova**,
*Dr.Sci***. K. Alimhan**,
Dr.Sci. **B.S. Akhmetov**,
Dr. Sci. **A.S. Berdyshev**,
Dr. Sci. **K. Bisembaev**,
Dr. Sci. **M.N. Kalimoldayev**,
Dr.Sci.(Engineering) **M.K. Kulbek**,
Dr. Sci. **S.T. Mukhambetzhanov**,
Phd.d. **Zh.M. Nurmukhamedova**,
Dr. Sci. (Ped.) **B.D. Sydykov**,
Dr.Sci.(Engineering) **A.K. Tuleshov**

© Abai Kazakh National Pedagogical University, 2025

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 27/09/2025
Format 60x84 1/8. Vol. 43,125 p.
Printing 300 copies. Order 621.

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

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION

Алипова А.К., Турганбаева А.Р.
Информатиканы цифрлық ойындарды пайдалану арқылы оқытудың даму кезеңдері 243

Бидайбеков Е.Ы., Қалданов Б.Б.
Электрондық иерархиялық құрылымдар негізінде бастауыш сынып оқушыларына информатиканы оқыту моделі 250

Бостанов Б.Г., Уксикбаев Е.З., Беркімбаев К., Шектібаев Н.Ә., Түреқұлова А.Қ.
Болашақ мұғалімдердің STEM бойынша дағдыларын дамытуда пәнаралық байланыстың ықпалы 264

Найманова Д.С., Ткач Г.М., Даутова А.З., Жаксылыков А.Е.
IT мамандығы студенттерінің оқу үлгерімі мен мансаптық траекториясын интеллектуалды болжау моделі 275

Оспанова Н.Н., Куанышева Р.С., Каирбаева А.Қ., Токжигитова Н.К., Байжуманов С.Д.
АКТ саласындағы формалды емес білім беру бағдарламаларына қатысушылардың мотивациялық факторларын зерттеу 287

Salgozha I., Turashova Sh., Amangeldin A., Babakhan B., Bitibayeva Zh.
Integration of Internet of Things technologies into education and prospects of their application in Kazakhstan 296

Текесбаева Н.А., Ошанова Н.Т., Буканова А.К., Байзакова Е.М., Қами А.Е.
Болашақ информатика мұғалімдерін бағдарламалауға бейімделген оқытудың нәтижелілігін эксперименттік зерттеу 307

Уәлихан А.Ш., Скаков М.К., Раманкулов Ш.Ж., Чорух А.
Білім беру бағдарламаларында STEM элементтерін интеграциялау тәжірибесі 319

Шекербекова Ш.Т., Базарбаева Ү.Қ.
Білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындау қажеттігі 335

МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

МРНТИ 28.15.15

10.51889/2959-5894.2025.91.3.001

С.Б. Беркимбаева[1], К.С. Дальбекова[1*], З.А. Каденова[2], А.К. Искакова[1], Р.С. Аккозиева[1]

[1]Университет международного бизнеса, г. Алматы, Казахстан
[2]Институт Математики Национальной академии наук Республики Кыргызстан, г.Бишкек
[*]*e-mail: dks7777@mail.ru*

КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОДНОГО КЛАССА СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Аннотация

Понятие абсолютной устойчивости является одним из важных явлений при изучении различных процессов в реальной действительности. Абсолютная устойчивость систем с распределенными параматрами означает стабильную работу системы при любых допустимых нелинейностях, что делает ее важной для практического применения. Как следствие возникает потребность изучить такие методы исследования, которые обеспечивали бы устойчивость в некоторой области изменения параметров системы. Абсолютную устойчивость гибридной системы описываемой гиперболическими уравнениями в частных производных можно получить в виде частотного неравенства. Так как проверка частотного условия в пространстве параметров системы является довольно сложной задачей, то для ее решения можно осуществить переход от частотного условия к алгебраическому критерию абсолютной устойчивости на основе метода Штурма, применяемого к квазиполиномам. В данной статье рассматривается гибридная система, описываемая гиперболическими уравнениями в частных производных. Абсолютную устойчивость такой системы можно получить в виде частотного неравенства, согласно частотного критерия типа В.М. Попова. Так как проверка частотного условия в пространстве параметров системы является довольно сложной задачей, в предлагаемой работе осуществлен переход от частотного условия к алгебраическому критерию абсолютной устойчивости.

Ключевые слова: уравнения в частных производных, граничные условия, гурвицева матрица, абсолютная устойчивость движения, системы с распределенными параметрами, квазиоптимальное управление.

С.Б. Беркімбаева[1], Қ.С. Дальбекова[1], З.А. Каденова[2], А.К. Искакова[1], Р.С. Аккозиева[1]
[1]Халықаралық бизнес университеті, Алматы қ., Қазақстан
[2]Қырғыз Республикасы Ұлттық ғылым академиясының Математика институты, Бішкек қ.

ТАРАТЫЛҒАН ПАРАМЕТРЛІ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ БІР КЛАСЫН КВАЗИТИІМДІ БАСҚАРУ

Аңдатпа

Нақты болып жатқан әртүрлі үрдістерді зерттеу кезінде маңызды ұғымдардың бірі-қозғалыс тұрақтылығы туралы ұғымымен кездесуіміз мүмкін. Таратылған параметрлері бар жүйелердің

абсолютті тұрақтылығы жүйенің кез келген рұқсат етілген бейсызықтық жағдайында тұрақты жұмыс істеу қабілетін білдіреді, бұл жағдай оны практикалық қолдану үшін маңызды етеді. Нәтижесінде жүйе параметрлерінің белгілі бір өзгерістер диапазонында тұрақтылықты қамтамасыз ететін әдістерін зерттеу қажеттілігі туындайды. Қозғалыс тұрақтылығы теориясының негіздерін өткен ғасырдың соңында ұлы орыс ғалымы А.М. Ляпунов жасаған. Өзімізге белгілі, Ляпуновтың тұрақтылығы шексіз уақыт аралығында қарастырылады, бұл көптеген қосымшалар үшін үлкен кедергі болып табылады, өйткені зерттеу объектілерінің көпшілігі шектеулі уақыт аралығында жұмыс істейді. Жұмыстың мақсаты-сызықты емес жүйелердің қозғалысының тұрақтытылығын шектеулі уақыт аралығында зерттеу. Мақалада гиперболалық дербес дифференциалдық теңдеулер арқылы сипатталған гибридті жүйе қарастырылады. Мұндай жүйенің абсолютті тұрақтылығын В.М. Поповтың жиілік критерийі негізінде жиілік теңсіздік түрінде алуға болады. Бірақ, жүйелік параметрлер кеңістігінде жиілік критериін тексеру өте күрделі есеп болып табылады. Осыған байланысты ұсынылып отырған жұмыс жиілік шартынан абсолютті тұрақтылықтың алгебралық критерийіне көшуді жүзеге асырады.

Түйін сөздер: дербес дифференциалдық теңдеулер, шекаралық шарттар, Гурвиц матрицасы, қозғалыстың абсолютті тұрақтылығы, бөлінген параметрлері бар жүйелер, квазиоңтайлы басқару.

S.B. Berkimbaeva[1], K.S. Dalbekova[1], Z.A. Kadenova[2], A.K. Iskakova[1], R.S. Akkozieva[1]
[1]University of international business, Almaty, Kazakhstan
[2]Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek

QUASI-OPTIMAL CONTROL OF ONE CLASS OF SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

Abstract

The concept of absolute stability is one of the important phenomena in the study of various processes in reality. Absolute stability of systems with distributed parameters means stable operation of the system under any admissible nonlinearities, which makes it important for practical application. As a consequence, there is a need to study such research methods that would ensure stability in a certain range of changes in the system parameters. Absolute stability of a hybrid system described by hyperbolic partial differential equations can be obtained in the form of a frequency inequality. Since checking the frequency condition in the space of system parameters is a rather complex task, then for its solution it is possible to make a transition from the frequency condition to an algebraic criterion of absolute stability based on the Sturm method applied to quasi-polynomials. This article considers a hybrid system described by hyperbolic partial differential equations. Absolute stability of such a system can be obtained in the form of a frequency inequality, according to the frequency criterion of the V.M. Popov type. But checking the frequency condition in the space of system parameters is a rather complex task. In this regard, the proposed work makes a transition from the frequency condition to the algebraic criterion of absolute stability.

Keywords: partial differential equations, boundary conditions, Gurvits matrix, absolute stability of motion, systems with distributed parameters, quasi-optimal control.

Введение

Абсолютная устойчивость систем с распределенными параматрами равносильно стабильной работе системы при любых допустимых нелинейностях, что означает ее важность практического применения. Из сказанного следует потребность в изучении таких методов исследования, которые обеспечивали бы устойчивость в некоторой области изменения параметров системы. Абсолютную устойчивость гибридной системы описываемой гиперболическими уравнениями в частных производных можно получить в виде частотного неравенства. Так как проверка частотного условия в пространстве параметров системы является довольно сложной задачей, то для ее решения можно осуществить переход от частотного условия к алгебраическому критерию абсолютной устойчивости на основе метода Штурма, применяемого к квазиполиномам.

Как известно, задача абсолютной устойчивости возникла в теории автоматического регулирования и в общей теории устойчивости движения примерно в 40-е годы двадцатого века. В конце 50-х и начале 60-х годов интерес к проблеме начал ослабевать, так как казались

исчерпанными возможности прямого метода Ляпунова, который повсеместно использовался для решения задач абсолютной устойчивости [1]-[3]. В 60-е годы появились исследования румынского ученого Василе-Михая Попова, в которых был развит новый подход к проблеме абсолютной устойчивости и были получены весьма изящные и сильные результаты в этой области. Эти работы вновь стимулировали интерес к проблеме абсолютной устойчивости и породили ряд новых исследований [4],[5].

Методология исследования

В работе рассматривается гибридная система, описываемая гиперболическими уравнениями в частных производных. Для достижения абсолютной устойчивости данной системы осуществляется переход от частотного критерия типа В.М. Попова к алгебраическому критерию абсолютной устойчивости. Рассмотрим систему, описываемую совокупностью обыкновенного дифференциального уравнения, уравнения в частных производных и алгебраического уравнения [6]. Пусть звено с распределенными параметрами описывается гиперболической системой уравнений:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a\frac{\partial v}{\partial x}\ , \qquad \frac{\partial v}{\partial t} = b\frac{\partial u}{\partial x} \tag{1}$$

$$\big(u = u(x,t), \qquad v = v(x,t)\big) \tag{2}$$

где a, b −постоянные, $x \in (0,l),\ t > 0,$

$$u(x,0) = 0, \qquad v(x,0) = 0.$$

Звено с сосредоточенными параметрами описывается обыкновенным дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{dy}{dt} = Ay + B\varphi(u) + Cw(0,t) + Dw(l,t) \tag{3}$$

$$y(0) = y_0,$$

где $w(x,t) = (u(x,t),\ v(x,t))^*,$

$A -$ постоянная матрица порядка $n \times n;$ $B - n -$ мерный вектор;

$C, D -$ постоянные матрицы порядка $n \times 2;$ $\varphi(u) -$ характеристика нелинейного элемента, удовлетворяющая условию

$$k_1 u^2 \le \varphi(u)u \le k_2 u^2, \quad k_1 \ge 0, k_2 \ge 0 \tag{4}$$

Уравнения (1) и (3) связаны граничным условием

$$\Gamma_1 w(0,t) + \Gamma_2 w(l,t) = h\sigma(t) + Hy(t),\ \ \sigma = c^* y \tag{5}$$

где h −постоянный вектор 2×1, $H -$ постоянная матрица $2 \times n$, $c -$ вектор $n \times 1,$

$$\Gamma_1 = \begin{pmatrix} m_0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \qquad \Gamma_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & n_0 \end{pmatrix}$$

или

$$m_0 u(0,t) + v(0,t) = H_1^* y$$

$$u(l,t) + n_0 v(l,t) = H_2^* y,$$

где

$$hc^* + H = T = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix},$$

$d_1, d_2 -$ векторы $l \times n.$

Частным примером систем, описываемых уравнениями (1) – (5), является система регулирования скорости турбины.

Задача. Для систем, записываемых совокупностью уравнений (1) – (5) найти управление

$$u(t) = s(t) - \alpha\sigma(t)$$

из условия минимума функционала $I(s, \alpha, c)$, где

$$J = \int_0^\infty \sigma^2(t)dt \le I(s, \alpha, c) \tag{6}$$

при условии, что несобственный интеграл сходится. Здесь $I(s, \alpha, c)$ – квадратичный функционал, определенный ниже, $\alpha -$ постоянное число, $c -$постоянный вектор, $u \in L_2(0, \infty)$.

Решение задачи. Из условия (4) следует, что

$$\varphi(u) = k_1 u + \psi(u)$$

где $0 \le \psi(u)u \le ku^2, \ k = k_2 - k_1.$

Подставляя значение $\varphi(u)$ в уравнение (3) и применяя преобразование Лапласа, получим

$$\tilde{y} = (pE - A)^{-1}y_0 + (pE - A)^{-1}B\left(k_1\tilde{u} + \tilde{\psi}\right) +$$

$$+(pE - A)^{-1}Cw(0, p) + (pE - A)^{-1}Dw(l, p) \tag{7}$$

Обозначим

$$u(x, p) = \int_0^\infty u(x, t)e^{-pt}dt, \qquad v(x, p) = \int_0^\infty v(x, t)e^{-pt}dt,$$

и учитывая, что согласно преобразованию Лапласа

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \frac{du(x, t)}{dx}, \qquad \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} + \frac{dv(x, t)}{dx},$$

при нулевых начальных условиях $u(x, 0) = v(x, 0) = 0,$ предполагая здесь и в дальнейшем все условия для существования преобразования Лапласа из (1) имеем:

$$w(x, p) = \Phi(x, p)w(0, p),$$

$$\Phi(x, p) = \begin{pmatrix} \dfrac{e^{-\tau px} + e^{\tau px}}{2} & \dfrac{e^{-\tau px} - e^{\tau px}}{2} \\ \dfrac{b\tau(e^{-\tau px} + e^{\tau px})}{2} & \dfrac{e^{-\tau px} + e^{\tau px}}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ch(\tau px) & sh(\tau px) \\ b\tau\, sh(\tau px) & ch(\tau px) \end{pmatrix},$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{ab}}, \ \ w(x, p) = (u(x, p), v(x, p))^*, \quad w(0, p) = (u(0, p), v(0, p))^*.$$

Здесь $\Phi(x, p)$ –фундаментальная матрица решений системы (1).

Тогда из (1) и (5) имеем:

$$w(0,p) = W_1(p)\tilde{\sigma} + W_2(p)\tilde{y},$$
$$w(l,p) = W_3(p)\tilde{\sigma} + W_4(p)\tilde{y}, \tag{8}$$

На основе выражений (7),(8) получим:

$$\tilde{\sigma} = \chi_2(p) + \chi_1(p)\left(k_1\tilde{u} + \tilde{\psi}\right), \tag{9}$$

где

$$\chi_2(p) = -F^{-1}(p)y_0//N(p), \quad \chi_1(p) = -F^{-1}(p)b//N(p),$$
$$F(p) = pE - A - CW_2(p) - DW_4(p),$$
$$N(p) = 1 - F^{-1}(p)(CW_1 + DW_2).$$

Переходя к оригиналу с помощью интеграла свертки из (9) имеем:

$$\sigma(t) = f(t) + \int_0^t W(t-\tau)[k_1\, u(\tau) + \psi(u(\tau))]d\tau, \tag{10}$$

где $\chi_2(p) \to f(t), \quad \chi_1(p) \to W(t).$

Тогда из условия задачи, управление

$$u(t) = s(t) - \alpha f(t) - \alpha \int_0^t W(t-\tau)[k_1\, u(\tau) + \psi(u(\tau))]d\tau,$$
$$\mu = k_1 + \frac{k}{2},$$

Учитывая $\int_0^t W(t-\tau)(k_1\, u + \psi)d\tau = \int_0^t \mu W(t-\tau)ud\tau + \int_0^t W(t-\tau)(\psi - \frac{k}{2}u)d\tau$

и применяя преобразование Лапласа, получим

$$\tilde{u} = \widetilde{s_1} - \alpha\widetilde{f_1} - \alpha W_1(p)(\tilde{\psi} - \frac{k}{2}\tilde{u}), \tag{11}$$

где

$$\widetilde{s_1} = \tilde{s}/L_1, \quad \widetilde{f_1} = \chi_2(p)/L_1, \quad W_1(p) = \chi_1(p)/L_1, \quad L_1 = 1 + \alpha\mu\chi_1.$$

Переходя из (11) снова к оригиналу, имеем

$$u(t) = s_1(t) + \alpha f_1(t) - \alpha \int_0^t W_1(t-\tau)\left[\psi(u(\tau) - \frac{k}{2}u(\tau)\right]d\tau \tag{12}$$

Из неравенства треугольника для норм и по формуле Парсеваля, получим

$$\|u(t)\| \le \|s_1(t) - \alpha f_1(t)\| + |\alpha|\frac{k}{2}\max_{\omega}|W_1(i\omega)|\,\|u\|.$$

где $\|u\| = \left(\int_0^\infty u^2(t)dt\right)^{\frac{1}{2}}$

Следовательно,

$$\frac{1}{\beta} = 1 - |\alpha|\frac{k}{2}\max_{\omega}|W_1(i\omega)|.$$

Коэффициент α выбирается из условия $\beta > 0$. Как следует из выражения $W_1(p)$ такое α всегда существует.

Так как

$$\sigma^2 = \frac{1}{\alpha^2}\big(s(t) - u(t)\big)^2 \le \frac{2}{\alpha^2}\big(s^2(t) + u^2(t)\big),$$

то

$$J = \int_0^\infty \sigma^2(t)dt \le \frac{2}{\alpha}\int_0^\infty [s^2(t) + \beta^2(s_1 - \alpha f_1)^2]\,dt \tag{13}$$

Теперь переходим к определению дифференциальных уравнений, из которых можно было бы найти $s_1(t),\ f_1(t)$.

Как следует из структурных преобразований, функцию из $f_1(t)$ можно найти из совокуности дифференциальных уравнений:

$$\dot{z} = (A - \alpha\mu bc^*)z + Cw(0,t) + Dw(l,t), \qquad z(0) = y_0 \tag{14}$$

$$f_1(t) = c^*z(t) \tag{15}$$

$$\Gamma_1 w(0,t) + \Gamma_2 w(l,t) = hf_1(t) + Hz(t) \tag{16}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a\frac{\partial v}{\partial x}, \quad \frac{\partial v}{\partial t} = b\frac{\partial u}{\partial x}. \tag{17}$$

В справедливости формул (14) - (17) не трудно убедиться, применив преобразования Лапласа [7]:

$$\widetilde{f_1} \to f_1(t),$$

$$\widetilde{f_1} = \frac{\chi_2(p)}{1 + \alpha\mu\chi_1(p)} = \frac{c^*F^{-1}(p)y_0}{[1 - c^*F^{-1}(p)(CW_1 + DW_3)\alpha\mu c^*F^{-1}(p)b]},$$

$$\{1 - c^*F^{-1}(p)[CW_1 + DW_3 - \alpha\mu b]\}\widetilde{f_1} = c^*F^{-1}(p)y_0$$

$$F(p) = (pE - A) - CW_2(p) - DW_4(p),$$

$$\widetilde{f_1} = c^*F^{-1}(p)\{[CW_1 + DW_3 - \alpha\mu b]\widetilde{f_1}\},$$

$$\widetilde{f_1} = c^*\tilde{z},$$
$$\tilde{z} = F^{-1}(p)\{[CW_1 + DW_3 - \alpha\mu b]c^*\tilde{z} + y_0\},$$

$$[(pE - A) - CW_2(p) - DW_4(p)]\tilde{z} = [CW_1 + DW_3 - \alpha\mu b]c^*\tilde{z} + y_0,$$

$$p\tilde{z} = A\tilde{z} + \left[\left(CW_2(p) - DW_4(p)\right) + [CW_1 + DW_3 - \alpha\mu b]c^*\right]\tilde{z} + y_0,$$

$$\dot{z} = (A - \alpha\mu bc^*)z + Cw(0,t) + Dw(l,t), \qquad z(0) = y_0.$$

Аналогичным путем получим совокупность дифференциальных уравнений, из которых можно определить $s_1(t)$:

$$\dot{v} = (A - \alpha\mu bc^*)v + bs + Cw_1(0,t) + Dw(l,t), \;\; v(0) = 0 \tag{18}$$

$$\Gamma_1 w_1(0,t) + \Gamma_2 w_1(l,t) = h\theta + Hv, \qquad \theta = c^* v(t) \tag{19}$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = a\frac{\partial v_1}{\partial x}, \quad \frac{\partial v_1}{\partial t} = b\frac{\partial u_1}{\partial x} \tag{20}$$

$$s_1(t) = s(t) - \alpha\mu\theta \tag{21}$$

где $w_1(x,t) = \left(u_1(x,t), v_1(x,t)\right)^*$.

Рассмотрим разность:

$$s_1(t) - \alpha f_1(t) = s(t) - \alpha c^*(\mu v(t) + z(t).$$

Обозначим

$$\xi(t) = \alpha\left(\mu v(t) + z(t)\right).$$

Тогда

$$s_1(t) - \alpha f_1(t) = s(t) - c^*\xi(t).$$

Производная

$$\begin{gathered}\dot{\xi} = A_1\xi + \alpha\mu bs + C[\alpha\mu w_1(0,t) + \alpha w(0,t)] + D[\alpha\mu w_1(l,t) + \alpha w(l,t)], \\ \xi(0) = \alpha y_0.\end{gathered} \tag{22}$$

где $A_1 = A - \alpha\mu bc^*$.

Умножая (20) на $\alpha\mu$, а (17) на α и складывая получим:

$$\left(\alpha\mu\frac{\partial u_1}{\partial t} + \alpha\frac{\partial u}{\partial t}\right) = a\left(\alpha\mu\frac{\partial v_1}{\partial x} + \alpha\frac{\partial v}{\partial x}\right),$$

$$\left(\alpha\mu\frac{\partial v_1}{\partial t} + \alpha\frac{\partial v}{\partial t}\right) = b\left(\alpha\mu\frac{\partial u_1}{\partial x} + \alpha\frac{\partial u}{\partial x}\right).$$

Вводя вектор $V(x,t) = \{V_1(x,t), V_2(x,t)\}^*$, где

$$V_1(x,t) = \alpha\mu u_1(x,t) + \alpha u(x,t),$$
$$V_2(x,t) = \alpha\mu v_1(x,t) + \alpha v(x,t),$$

Имеем

$$\frac{\partial V_1(x,t)}{\partial t} = a\frac{\partial V_2(x,t)}{\partial x}, \quad \frac{\partial V_2(x,t)}{\partial t} = b\frac{\partial V_1(x,t)}{\partial x} \tag{23}$$

Тогда уравнение (22) запишется в виде:

$$\dot{\xi} = A_1\xi + \alpha\mu bs + CV(0,t) + DV(l,t), \ \ \xi(0) = \alpha y_0. \tag{24}$$

Анологично, умножая (19)) на $\alpha\mu$, а (16) на α и складывая, получим:

$$\Gamma_1 V(0,t) + \Gamma_2 V(l,t) = h(\alpha\mu c^* v + \alpha c^* z) + H\xi = (hc^* + H)\xi \tag{25}$$

Учитывая, что $s_1 - \alpha f_1 = s - c^*\xi$ и сделав замену

$$s_2 = \sqrt{1+\beta^2}s - \frac{\beta^2}{\sqrt{1+\beta^2}}c^*\xi$$

функционал (13) можно представить в виде:

$$J \le I = \frac{2}{\alpha^2}\int_0^\infty [\xi^*(\delta cc^*)\xi + s_2^2(t)]\,dt, \tag{26}$$

где $\delta = \beta^2/(1+\beta^2)$. Подставляя значение

$$s = \frac{s_2}{\sqrt{1+\beta^2}} + \delta c^*\xi$$

в формуле (22), получим

$$\dot{\xi} = A_2\xi + b_2 s_2 + CV(0,t) + DV(l,t), \ \ \xi(0) = \alpha y_0,$$

где

$$A_2 = A_1\alpha\mu bc^*\delta, \qquad b_2 = \alpha\mu b^*/\sqrt{1+\beta^2}.$$

Таким образом, получили следующую задачу оптимального управления: найти оптимальное управление s_2(t) из условия минимума функционала [8]

$$I(s_2,\alpha,c)=\frac{2}{\alpha^2}\int_0^\infty [\xi^*(\delta cc^*)\xi + s_2^2(t)]dt \tag{27}$$

при ограничениях вида

$$\dot{\xi}= A_2\xi + b_2 s_2(t) + CV(0,t) + DV(l,t), \xi(0) = \alpha y_0 \tag{28}$$

$$\Gamma_1 V(0,T) + \Gamma_2 V(l,T) = (hc^* + H)\xi = T\xi \tag{29}$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial t} = a\frac{\partial V_2}{\partial t}, \ \frac{\partial V_2}{\partial t} = b\frac{\partial V_1}{\partial t}, \ V(x,0) = 0 \tag{30}$$

Для решения этой задачи на основе метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов необходимо построить определенно-положительный функционал Р такой, что

$$\min_{s_2(t)}\left(\frac{dP}{dt}+G\right)=0,\ G=\xi^*Q\xi+\frac{2}{\alpha^2}s_2^2(t)\ ,\ Q=\frac{2\delta}{\alpha^2}cc^*\geq 0 \tag{31}$$

С учетом первой части (27) и граничного условия выбираем функцию Р в виде:

$$P(t)=\xi^*Q\xi+\int_0^l[\alpha_1V_1^2(x,t)+\alpha_2V_2^2(x,t)+\alpha_3V_1(x,t)V_2(x,t)]dx+$$
$$+\int_0^l[\delta_0V_2(0,\tau)+f_2\zeta(\tau)]^2d\tau+\int_0^l[\gamma V_1(l,\tau)+f_3\zeta(\tau)]^2d\tau \tag{32}$$

где $\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\delta_0,\gamma$- произвольные постоянные, f_2,f_3 – векторы строки размерности 1xn, S-симметричная положительно-определенная матрица, подынтегральная функция неотрицательная квадратичная форма относительно переменных $V_1(x,t)$, $V_2(x,t)$ [9]. Полная производная функции Р взятая в силу системы (28)-(30) при $a\alpha_1=b\alpha_2=\alpha_0$ имеет вид:

$$\frac{dP}{dt}=\xi^*(A_2^*S+SA^2)\xi+2b_2Ss_2(t)+2V(0,t)C^*S\zeta+$$
$$+2V(l,t)D^*S\zeta+2\alpha_0[V_1(l,t)V_2(l,t)-V_1(0,t)V_2(0,t)]\ +$$
$$+\frac{a\alpha_3}{2}[V_2^2(l,t)-V_2^2(0,t)]+\frac{b\alpha_3}{2}[V_1^2(l,t)-V_1^2(0,t)]+ \tag{33}$$
$$+[\delta_0V_2(0,\tau)+f_2\zeta]^2+[\gamma V_1(l,\tau)+f_3\zeta]^2.$$

Учитывая вид матриц Γ_1,Γ_2 из граничного условия (28) получим [10]

$$V_1(0,t)=d_1\xi\text{-}m_0V_2(0,t),\ V_2(l,t)=d_2\xi\text{-}n_0V_1(l,t) \tag{34}$$

где $T=\begin{pmatrix}d_1\\d_2\end{pmatrix}$, d_1, d_2- векторы строки $1\times n$.

Подставляя (34) в формулу (33), имеем

$$\frac{dP}{dt}=\xi^*\left(A_2^*S+SA^2+2d_1^*d_3+2d_2^*d_6-\frac{a\alpha_3}{2}d_2^*d_2-\frac{b_1\alpha_3}{2}d_1^*d_1\right)\xi+$$
$$+2b_2S\xi s_2(t)+V_2(0,t)[2(1-m_0)d_4-2\alpha_0d_1+b\alpha_0m_0d_1\ )]\xi\ +$$
$$+V_1(l,t)[2(1-n_0)d_6+2\alpha_0d_2-\alpha_3n_0ad_2\ )]\xi+ \tag{35}$$
$$+V_1^2(l,t)\left[\frac{a\alpha_3}{2}\ n_0^2-2\alpha_0n_0+{}_2^{b\alpha_3}\right]+\ V_2^2(0,t)\left[2\alpha_0m_0-\ \frac{b\alpha_3}{2}\ n_0^2-{}_2^{a\alpha_3}\right]+$$
$$+[\delta_0V_2(0,\tau)+f_2\zeta]^2+[\gamma V_1(l,\tau)+f_3\zeta]^2,$$

где $C^*S=\begin{pmatrix}d_3\\d_4\end{pmatrix}$, $D^*S=\begin{pmatrix}d_5\\d_6\end{pmatrix}$, $d_3\ -d_6$- вектор строки $1\times n$.

Выбирая произвольные постоянные $\alpha_0,\alpha_3,\delta_0,\gamma$, векторы f_2,f_3 из условия:

$$2(1-m_0)d_4-2\alpha_0d_1+b\alpha_3m_0d_4\ =2\delta_0f_2\ ,$$

$$2(1-n_0)d_6 + 2\alpha_0 d_2 - a\alpha_3 n_0 d_2 \ = -\ 2\gamma f_3\ ,$$

$$\frac{b\alpha_3}{2} - 2\alpha_0 n_0 - \ n_{0_2}^{2a\alpha_3} = -\gamma^2, \tag{36}$$

$$2\alpha_0 m_0 - \frac{b\alpha_3}{2} - \frac{b\alpha_3}{2} m_0 = -\sigma_0^2.$$

Тогда формула (35) принимает вид:

$$\frac{dP}{dt} = \xi^*(A_2^* S + SA_2 + 2d_1^* d_3 + d_3^* d_1 + d_2^* d_6 + d_6^* d_2)\xi -$$

$$- \xi^* \left(\frac{a\alpha_3}{2} d_2^* d_2 \ + \frac{b\alpha_3}{2} d_1^* d_1 - f_2^* f_2 + \ f_3^* f_3 \right)\xi + 2b_2 S\xi s_2(t)$$

Управление $s_2(t)$ определяем из условия:

$$\min_{s_{2(t)}} \Big[\xi^*(A_2^* S + SA_2 + 2d_1^* d_3 + d_3^* d_1 + d_2^* d_6 + d_6^* d_2)\xi - \frac{a\alpha_3}{2} d_2^* d_2 \ + \frac{b\alpha_3}{2} d_1^* d_1 -$$

$$- f_2^* f_2 + \ f_3^* f_3)\xi + 2b_2 S\xi s_2(t) + \frac{2}{\alpha^2} s_2^2(t)\Big]=0$$

Отсюда

$$s_2(t) = -\frac{1}{2}\alpha^2 b_2^* S\xi, \tag{37}$$

где матрица S определяется из матричного уравнения:

$$(A_2 + \mathrm{C}_1^* d_1 + D_2^* d_2)^*\mathrm{S} + \mathrm{S}(A_2 + \mathrm{C}_1^* d_1 + D_2^* d_2) + \left(Q - \frac{a\alpha_3}{2} d_2^* d_2 \ + \frac{b\alpha_3}{2} d_1^* d_1 + f_2^* f_2 + \ f_3^* f_3\right) -$$

$$-\alpha^2 S b_2 b_2^* S = 0. \tag{38}$$

Здесь

$$C^* S = \begin{pmatrix} \mathrm{C}_1 S \\ \mathrm{C}_2 S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_3 \\ d_4 \end{pmatrix}, \quad D^* S = \begin{pmatrix} D_1 S \\ D_2 S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_5 \\ d_6 \end{pmatrix}$$

Положим

$$Q = \frac{a\alpha_3}{2} d_2^* d_2 \ + \frac{b\alpha_3}{2} d_1^* d_1 - f_2^* f_2 - \ f_3^* f_3,$$

т.е.

$$\mathrm{c}=\frac{|\alpha|}{\sqrt{2\delta}}\left[\sqrt{\frac{a\alpha_3}{2} d_2^*} + \sqrt{\frac{b\alpha_3}{2} d_1^*} - f_2^* - \ f_3^*\right], \tag{39}$$

при этом Q-неотрицательно-определенная и (38) имеет вид:

$$A_3^* S + SA_3 - \alpha^2 S b_2 b_2^* S = 0, \qquad A_3 \ = A_2 + C_1^* d_1 + D_2^* d_2$$

или

$$S^{-1} A_3^* + A_3 S^{-1} - \alpha^2 S b_2 b_2^* = 0 \tag{40}$$

Если $(-A_3)$- Гурвицева матрица, то матрица S будет положительно-определенной и

$$S^{-1} = -\alpha^2 \int_0^{\infty} e^{-A_3 t}\, b_2 b_2^* e^{-A_3^* t} dt \tag{41}$$

$$\alpha_1\ a_3 > \frac{\alpha_2^2}{4} \tag{42}$$

Тогда подынтегральное выражение в (32) будет положительно-определенной относительно $V_1(\mathrm{x}, t), V_2(\mathrm{x}, t)$ [11].

Результаты исследования

Справедлива следующая теорема:

Теорема. Если матрица $(-A_3)$ гурвицева и вектор с выбирается из условия (39), а α выбирается из условия положительности $\beta > 0$ и выполняются условия (42), (36), то при управлении вида (37), (42) переходный процесс в системе (28)-(30) от начального условия $\xi(0) = \alpha y_0$ является оптимальным.

Поскольку

$$\mathrm{s(t)}=\frac{1}{\sqrt{1+\beta^2}}\alpha_2(t) + \frac{\beta^2}{1+\beta^2}\ c^*\xi,$$

то на основе (37) имеем:

$$\mathrm{s(t)}=\left[\frac{\beta^2}{1+\beta^2}c^*\ - \frac{\alpha^2}{2\sqrt{1+\beta^2}}\ b_2\ S\right]\xi = C_0\xi(t) \tag{43}$$

Отсюда, искомое управление

$$u(t) = s(t) - \alpha\sigma(t) = C_0[\alpha\mu v(t) + \alpha z(t)] - \alpha c^* y(t) \tag{44}$$

Вернемся теперь к функционалу (27):

$$\mathrm{I}=\min_{s_2}\mathrm{I}(s_2, \alpha, c) = \frac{2}{\alpha^2}\int_0^{\infty}\left[\xi^*(\delta cc^*)\xi + \frac{1}{4}\alpha^4\xi^* S^* b_2\ b_2^*\ S\xi\right]dt = \frac{2}{\alpha^2}\ \int_0^{\infty}\xi^*\bar{Q}\ \xi dt \tag{45}$$

где

$$\bar{Q} = \delta cc^* + \frac{1}{4}\alpha^4 S^* b_2\ b_2^*\ S,$$

и управление (28) имеет вид:

$$\dot{\xi} = A_4\xi + CV(0,t) + DV(l,t), \xi(0) = \alpha y_0 \tag{46}$$

где

$$A_4 = A_2 - \frac{1}{2}\alpha^2 b_2\ b_2^*\ S.$$

Тогда

$$\xi(t) = \alpha e^{A_4 t} y_0 + \int_0^t e^{A_4 (t-\tau)}\,[CV(0,\tau) + DV(l,\tau)]d\tau \tag{47}$$

Подставляя (47) в (45) получим задачу минимизации функционала $\bar{I}$ в пространстве параметров системы **Ω**:

$$\bar{I} = \frac{2}{\alpha^2}\int_0^{\infty}[\xi^*(t) + \bar{Q}\xi(t)]dt \to \min_{\Omega} \tag{48}$$

при условии гурвицевости матрицы A_4. При этом сходится несобственный интеграл (48).

Следовательно, в нашей задаче мы пришли к проверке гурвицевости матриц (A_3) и (A_4). Поскольку здесь рассматривается система с распределенными параметрами, то требуется найти алгебраические условия гурвицевости квазиполиномов, а не обычных полиномов.

Дискуссия

Абсолютная устойчивость гибридной системы, описываемой гиперболическими уравнениями в частных производных, устанавливается в виде частотного неравенства. Но проверка частотного условия в пространстве параметров системы является весьма сложной задачей, поэтому для ее решения можно осуществить переход от частотного условия к алгебраическому критерию абсолютной устойчивости применяемого к квазиполиномам.

В данной работе осуществлен переход от частотного условия к алгебраическому критерию абсолютной устойчивости.

Заключение

Для рассматриваемой гибридной системы, описываемой гиперболическими уравнениями в частных производных получен метод квазиоптимального управления нелинейных систем: совокупность уравнении в частных производных гиперболического типа заменены алгебраическими уравнениями при наличии нелинейного оператора $\varphi(u)$ в системе [12]. Таким образом осуществлен переход от частотного условия к алгебраическому критерию абсолютной устойчивости.

Список использованных источников

[1] Якубович В.А., Абсолютная устойчивость нелинейных систем с распределенными параметрами. Автоматика и телемеханика, 1983, выпуск 6, 53–61

[2] Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. С.-П., М., Краснодар: Лань, 2003.

[3] Aisagaliev S.A., Zhunussova Z., Akca H. Construction of a solution for optimal control problem with phase and integral constraints//International Journal of Mathematics and Physics,2019, 10(1), P. 11–22

[4] M. R. Liberzon, "Essays on the absolute stability theory", Autom. Remote Control, 67:10 (2006), 1610–1644

[5] Jeon P.R. Hong M.S. Braatz R.D., "Compact Neural Network Modeling of Nonlinear Dynamical Systems Via the Standard Nonlinear Operator Form", Comput. Chem. Eng., 159 (2022), 107674

[6] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. -М.:Наука, 1975, С.418-420.

[7] Денисова А.В. Применение операторного метода и метода переменных состояния для расчета переходных процессов. Учебное пособие. ИТМО Санкт-Петербург, 2012

[8] BakirovaE.A., IskakovaN.B., KadirbayevaZ.M. Numerical implementation for solving the boundary value problem for impulsive integro-differential equations with parameter, KazNU Bulletin. Mathematics, Mechanics, Computer Science Series, Vol. 119, No. 3 (2023), 19–29.DOI: https://doi.org/10.26577/JMMCS2023v119i3a2.

[9] Абгарян К.А. К проблеме устойчивости линейных нестационарных систем //ДАН СССР.- 1989.- Т.308, вып.6.

[10] Айсагалиев С.А. Анализ и синтез автономных нелинейных систем автоматического управления. – Алма-Ата, Наука КазССР, 1980.-244 с.

[11] Дальбекова К.С., Гусманова Ф.Р., Беркимбаева С.Б., ИскаковаА.К. Проблемы устойчивости линейных нестационарных систем на конечном отрезке времени. // Вестник КазНПУ, Серия «Физико-математические науки».–2020.-No4(72).–С.52-58-https://doi.org/10.51889/2020-3.1728-7901.07

[12] Гелиг А.Х. Абсолютная устойчивость нелинейных регулируемых систем с распределенными параметрами // Автоматика и телемеханика, №3, 1965. -С.401-409.

References

[1] Iakubovich, B. A. (1983). Absolutnaya ustoichivost' nelineinykh sistem s raspredelennymi parametrami [Absolute stability of nonlinear systems with distributed parameters]. Avtomatika i Telemehanika, (6), 53–61.

[2] Merkin, D. R. (2003). Vvedenie v teoriyu ustoychivosti dvizheniya [Introduction to the theory of sustainable motion]. Krasnodar: Lan. (In Russian).

[3] Aisagaliev, S. A., Zhunussova, Z., & Akca, H. (2019). Construction of a solution for optimal control problem with phase and integral constraints. International Journal of Mathematics and Physics, 10(1), 11–22.

[4] Liberzon, M. R. (2006). Essays on the absolute stability theory. Automation and Remote Control, 67(10), 1610–1644.

[5] Jeon, P. R., Hong, M. S., & Braatz, R. D. (2022). Compact neural network modeling of nonlinear dynamical systems via the standard nonlinear operator form. Computers & Chemical Engineering, 159, 107674. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107674

[6] Besekersky, V. A., & Popov, E. P. (1975). Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [Theory of automatic control systems]. Moscow: Nauka, 418–420. (In Russian).

[7] Denisova, A. B. (2012). Primenenie operatornogo metoda i metoda peremennykh sostoyanii dlya rascheta perekhodnykh protsessov [Application of the operator method and state variable method for calculating transient processes]. Saint Petersburg: ITMO University.

[8] Bakirova, E. A., Iskakova, N. B., & Kadirbayeva, Z. M. (2023). Numerical implementation for solving the boundary value problem for impulsive integro-differential equations with parameter. KazNU Bulletin. Mathematics, Mechanics, Computer Science Series, 119(3), 19–29. https://doi.org/10.26577/JMMCS2023v119i3a2

[9] Abgarian, K. A. (1989). K probleme ustoichivosti lineinykh nestatsionarnykh sistem [On the problem of stability of linear nonstationary systems]. Doklady Akademii Nauk SSSR, 308(6).

[10] Aisagaliev, S. A. (1980). Analiz i sintez avtonomnykh nelineinykh sistem avtomaticheskogo upravleniya [Analysis and synthesis of autonomous nonlinear automatic control systems]. Alma-Ata: Nauka KazSSR.

[11] Dal'bekova, K. S., Gusmanova, F. R., Berkimbaeva, S. B., & Iskakova, A. K. (2020). Problemy ustoichivosti lineinykh nestatsionarnykh sistem na konechnom otrezke vremeni [The problem of stability of linear non-stationary systems on a finite segment of time]. Vestnik KazNPU. Seriya "Fiziko-matematicheskie nauki", (4)(72), 52–58. https://doi.org/10.51889/2020-3.1728-7901.07

[12] Gelig, A. Kh. (1965). Absolutnaya ustoichivost' nelineinykh reguliruemykh sistem s raspredelennymi parametrami [Absolute stability of nonlinear controlled systems with distributed parameters]. Avtomatika i Telemehanika, (3), 401–409.

ҒТАХР 44.31

10.51889/2959-5894.2025.91.3.002

А.Б. Биргебаев[1], Ғ.О. Жұмағұл[1*]

[1]Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[*]*e-mail: zhumagul.gaziza@bk.ru*

$\mathbf{L}_{\boldsymbol{p}}(\boldsymbol{R})$ КЕҢІСТІГІНДЕГІ БІР ОПЕРАТОРДЫҢ БӨЛІКТЕНУІ ТУРАЛЫ

Аңдатпа

Табиғаттың физикалық заңдарының көпшілігін жай және дербес туындылы теңдеулер тілінде тұжырымдауға болады. Мысал ретінде Штурм-Лиувилл, Навье - Стокс теңдеуін, кванттық механикадағы Шредингер теңдеулерін келтіруге болады. Бұл теңдеулердің барлығында да физикалық құбылыстар кеңістіктің және уақыттың туындылары тілінде сипатталады. Теңдеулердегі туындылардың қатысуы маңызды физикалық шамаларды сипаттайды. Олар жылдамдық, үдеу, күш, үйкеліс, ағым, ток және т.б. Сонымен, құрамында анықтауды қажет ететін дифференциалдық теңдеу пайда болады. Дифференциалдық теңдеулер үшін қойылатын есептердің ішінде шешімі бар, жалғыз болуы, тегістігі және есептің бастапқы шарттарынан үзіліссіз түрде тәуелді қисынды қойылатын есептер класы ерекше маңызды. Бұл мақаланың мақсаты салмақты коэфицентті Штурм-Лиувилл теңдеуінің шешімінің бар болуының және шешімнің тегістігінің жеткілікті шарттарын анықтау. Мақсатқа жету барысында берілген дифференциалдық теңдеу операторлар әдісіммен зерттелді. Есеп Банах кеңістігінде қарастырылып операторлардың, функционалдық кеңістіктердің қасиеттері пайдаланылды. Кванттық механиканың көптеген сұрақтары дербес жағдайда Гильберт кеңістігінде элетромагниттік толқындардың сәуле шашуы сингулярлы дифференциалдық операторлардың кері операторларының бар болуы және бөліктенетін есептерге келетіні мәлім. Сондай операторлардың бірі реті жоғары туындыларында салмақтылығы бар Штурм-Лиувилл операторлары. Бұл жұмыста функционалдық анализ әдістерімен аталған оператор зерттелген. Банах кеңістігінде осы операторға сәйкес дифференциалдық теңдеудің шешімінің бар болатындығы және операторлардың бөліктенуінің жеткілікті шарттары табылған.

Түйін сөздер: функционалдық талдау, Банах кеңістігі, операторлардың бөліктенуі, Штурм-Лиувилль операторы, ерекшеленген дифференциалдық операторлар, шешімнің тегістігі.

А.Б. Биргебаев[1], Г.О. Жумагул[1]
[1]Казахский Националный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

О РАЗДЕЛИМОСТИ ОДНОГО ОПЕРАТОРА В ПРОСТРАНСТВЕ $\mathbf{L}_{\boldsymbol{p}}(\boldsymbol{R})$

Аннотация

Большинство физических законов природы можно сформулировать на языке простых и независимых производных уравнений. Примерами служат уравнения Штурма-Лиувилля, Навье-Стокса и уравнения Шредингера в квантовой механике. Во всех этих уравнениях физические явления описываются на языке производных пространства и времени. Наличие производных в уравнениях описывает важные физические величины. Это скорость, ускорение, сила, трение, поток, ток и так далее. Среди задач, поставленных для дифференциальных уравнений, особое значение имеет класс логически поставленных задач, которые имеют решение, являются единственными, гладкими и непрерывно зависят от начальных условий задачи. Цель этой статьи - определить достаточные условия существования решения уравнения Штурм-Лиувилля с весомым коэффициентом и гладкостью решения. В ходе достижения цели заданное дифференциальное уравнение изучалось методом операторов функциональном пространстве. Задача рассматривалась в Банаховом пространстве, использовались свойства функциональных пространств. Известно, что многие вопросы квантовой механики сводятся к задачам, в которых излучение элетромагнитных волн в гильбертовом пространстве в частном случае определяется наличием обратных операторов сингулярных дифференциальных операторов и разделимостью. Одним из таких операторов является оператор Штурма-Лиувилля с весом при старшей производной. Данной работе исследуется названный оператор

методами функционального анализа. Найденый достаточные условия существовании решении и разделимости оператора в Банаховом пространстве.

Ключевые слова: функциональный анализ, Банахово пространство, разделимость оператора, оператор Штурма-Лиувилля, сингулярные дифференциальные операторы,гладкость решений.

A.B. Birgebaev[1], G.O. Zhumagul[1]
[1]Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

ON THE SEPARATION OF A SINGLE OPERATOR IN THE SPACE $\mathbf{L}_{\boldsymbol{p}}(\boldsymbol{R})$

Abstract

Most of the physical laws of nature can be formulated in the language of simple and independent derived equations. Examples are the Sturm-Liouville, Navier-Stokes, and Schrodinger equations in quantum mechanics. In all these equations, physical phenomena are described in the language of derivatives of space and time. The presence of derivatives in equations describes important physical quantities. These are speed, acceleration, force, friction, flow, current, and so on. Among the problems posed for differential equations, a class of logically posed problems is of particular importance, which have a solution, are the only ones that are smooth and continuously depend on the initial conditions of the problem. The purpose of this article is to determine sufficient conditions for the existence of a solution to the Sturm-Liouville equation with a weighty coefficient and smoothness of the solution. In the course of achieving the goal, the given differential equation was studied by the method of operators in a functional space. The problem was considered in a Banach space, and the properties of functional spaces were used. It is known that many questions of quantum mechanics are reduced to problems in which the emission of electromagnetic waves in a Hilbert space is determined in the special case by the presence of inverse operators of singular differential operators and separability. One of these operators is the Sturm-Liouville operator with weight at the highest derivative. In this paper, the named operator is investigated by the methods of functional analysis. Sufficient conditions for the existence of a solution and separability of an operator in a Banach space are found.

Keywords: functional analysis, Banach space, operator separability Sturm-Liouville, operator Singular differential operators.

Кіріспе

Әлемде болып жатқан келген физикалық құбылыстардың, жаратылыстану ғылымдарының, медицина саласының шешетін мәселелері математикалық моделдеуге әкелетіні мәлім. Бұл ретте, берілген мәліметтер бойынша дифференциалдық теңдеулер құрылады. Мысал ретінде Штурм-Лиувилл, Навье - Стокс теңдеуін, кванттық механикадағы Шредингер теңдеулерін келтіруге болады, қала берді, медицина апараттарының (МРТ, УЗИ т.б) өзі математикадағы кері есептер негізінде жұмыс істейді. Бұл теңдеулердің барлығында да физикалық құбылыстар жылдамдық, үдеу кеңістіктің элементтері және уақыттың туындылары тілінде сипатталады.Сол себептен де жоғары туындылары салмақты Штур-Лиувилл теңдеуін зерттеу маңызды. Кәзіргі таңда функционалдық анализдің қарқынды дамуына байланысты дифференциалдық теңдеулерді сәйкес дифференциалдық операторлар түрінде жазып, оны функционалдық анализдің теоремаларын пайдаланып операторлар әдісімен шешу нақты нәтижелер беруде. Оған мақала соңындағы әдебиеттер және ондағы сілтемелер дәлел. Бұл жұмыста Штурм-Лиувилл операторының модифкациясы болып табылатын оператор қарастырылып оның шешімінің бар болуының және тегіс болуының жеткілікті шарттары, Банах кеңістігінде табылған. Алынған нәтижелер жаңа және оның әдістері жоғары ретті салмақты туындылары бар сызықтық емес оператор үшінде жалпыланады.

Зерттеу әдіснамасы

Есептің қойылымы және зерттеу әдісі. Берілген мақалада $C_0^\infty(R)$ кеңістігінде анықталып $L_p(R)$ кеңістігінде тұйықталуы болып табылатын

$$L_o y = -(\rho y')' + q(x)y \ , \qquad (1.1)$$

$$\rho(x) \in C'(R)\ ,\ q(x) \in C(R)\ ,\ \rho(x) > 0\ ,q(x) \geq 1$$

теңдігімен анықталған дифференциалдық операторлың бөліктенуі қарастырылған.

Анықтама Штурма –Лиувилл операторы бөліктенеді деп аталады егер

$Ly \in L_p(R)$, у $\in L_p(R)$ жататынынан $y'' \in L_p(R)$ шықса. Бұл есептің қойылуы ең алғаш рет $[1,2]$ жұмыстарда қарастырылып $[3-5]$ жұмыстарда жалғасын тапқан.

Мұнда біз [6] Титчмарш жұмысының моддификациясы болып табылатын [7] жұмыстың әдістерін пайдаланамыз. Осыған ұқсас жұмыстар $[8-11]$ зерттелген. Ол жұмыстарда тақ ретті туындылары бар сызықты немесе сызықты емес дифференциалдық теңдеулер Гильберт кеңістіктерінде шешіліп, шешімдердің бар болуы және тегістігінің қажетті шарттары табылған.

Алдымен $\rho(x)$, $q(x)$ функцияларына қойылатын талаптарды қарастырайық.

$C \geq 1$ $(C < \infty)$ тұрақты сандары табылып, мына төмендегі шарттар орындалсын

$$C^{-1} \leq \frac{\rho(x)}{\rho(\eta)}\ ,\frac{q(x)}{q(\eta)}\ \leq C, \text{ при } |x-\eta| \leq 2 \tag{1.2}$$

$$\sup_{|x-\eta|\leq 2}\ \frac{\rho(x)}{(q(\eta)+\lambda)^{\frac{\alpha}{2}-\varepsilon}} < \infty\ \ , \varepsilon > 0\ , \tag{1.3}$$

$$\sup_{|x-\eta|\leq 2}\ \frac{\rho^{+}(\eta)}{(q(x)+\lambda)^{\frac{\alpha}{2}-\varepsilon}} < \infty\quad ,\quad \rho^{+}(\eta) = \sup_{|x-\eta|\leq 2}\ |\rho'(x)|\ , \tag{1.4}$$

$$|(q(\eta)+\lambda)\rho(\eta)^{-1} - (q(x)+\lambda)\rho(x)^{-1}| \leq C_1\lambda|x-\eta|^{\alpha}|q(x)|^{\mathrm{a}}\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}\ , \tag{1.5}$$

$0 < \mathrm{a} < \frac{\alpha}{2}$, $\alpha \in (0,1]$.

Зерттеу нәтижелері

Теорема 1.1. (1.2)-(1.5) шарттары орындалсын. Онда $\lambda \geq \lambda_o$болғанда (λ_o-жеткілікті деңгейдегі оң сан).

а) $L + \lambda\mathrm{E}$ операторының $L_p(R)$ кеңістігінде шенелген кері операторы бар болады.

б) L операторы бөліктенеді.

Теореманы дәлелдеу үшін төмендегі екі лемма қажет болады:

Лемма 1.1. К ядросы $\mathrm{K}(x,\eta)$ локалді үзіліссіз болатын интегралдық оператор болсын

$$(\mathrm{K}f)(x) = \int \mathrm{K}(x,\eta)f(\eta)d\eta\ , \text{ онда}$$

$$\|\mathrm{K}\|_p \leq \sup_{\eta\in R}\int_{-\infty}^{+\infty}(|\mathrm{K}(x,\eta)| + |\mathrm{K}(\eta,x)|)\,d\eta\ .$$

Бұл лемманың дәлелдеуін [7] жұмыстан көруге болады.

Мынандай ядроларды енгізейік $(\lambda > 0)$

$$M_0(x,\eta,\lambda) = \begin{cases} \frac{1}{2}\ \rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left[\frac{-(\eta-x)\sqrt{q(x)+\lambda}}{\sqrt{\rho(x)}}\right] \text{ при } \eta > x \\ \frac{1}{2}\ \rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left[\frac{(\eta-x)\sqrt{q(x)+\lambda}}{\sqrt{\rho(x)}}\right] \text{ при } \eta < x \end{cases}$$

$$M_1(x,\eta,\lambda) = \rho(\eta)[\rho(\eta)^{-1}(q(\eta)+\lambda) - (q(x)+\lambda)\rho(x)^{-1}]M_0(x,\eta,\lambda)\tau(\eta-x)\ ,$$

$$M_2(x,\eta,\lambda) = -\rho(\eta)\left[2M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau'^{(\eta-x)} + M_0(x,\eta,\lambda)\tau''(\eta-x)\right],$$

$$M_3(x,\eta,\lambda) = M_0(x,\eta,\lambda)\tau(\eta-x),$$

$$M_4(x,\eta,\lambda) = \rho'(\eta)\left[M_0(x,\eta,\lambda)\tau'^{(\eta-x)} + sgn(x-\eta)\tau(\eta-x)\rho(x)^{-1}exp\left(\frac{-(\eta-x)\sqrt{q(x)+\lambda}}{\sqrt{\rho(x)}}\right)\right]$$

мұндағы $\tau(t) \in C_0^\infty(R)$

$$\tau(t) = \begin{cases} 1\ , \text{при}\ \ |t| \le 1 \\ 0\ , \text{при}\ \ t > 2 \end{cases} \tag{1.6}$$

шартын қанағаттандыратын функция.

$M_j(\lambda)$ операторын мына формуламен анықтайық

$$\left(M_j(\lambda)f\right)(\eta) = \int_{-\infty}^{+\infty} M_j(x,\eta,\lambda)f(x)dx \quad (j = 1,2,3,4) \tag{1.7}$$

Лемма 1.2. Егер $f(x) \in C_0^\infty(R)$, онда $M_3(\lambda)f \in D(L)$ және мына теңдік

$$(L+\lambda E)M_3(\lambda)f = f + M_1(\lambda)f + M_2(\lambda)f + M_4(\lambda)f,$$

орынды болады

Дәлелдеуі. $M_3(\lambda)$ операторының анықтамасынан $(M_3(\lambda)f)(\eta) = \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\eta}\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{(x-\eta)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau(\eta-x)f(x)dx +$

$\frac{1}{2}\int_{\eta}^{\infty}\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}\binom{q(x)+}{\lambda}^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau(\eta-x)f(x)dx$ болатыны шығады.

Осыдан және (1.6) теңдігінен $M_3(\lambda)f \in C_0^1(R)$ жататыны белгілі.

Сонымен қатар мынандай қарапайым теңдіктер орынды,

$$M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda) = \begin{cases} \frac{1}{2}\frac{1}{\rho(x)}exp\left(\frac{-(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right), \eta > x \\ \frac{1}{2}\frac{1}{\rho(x)}exp\left(\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right), \eta < x \end{cases} \tag{1.8}$$

$$M''_{o\eta}(x,\eta,\lambda) = \begin{cases} \frac{1}{2}\frac{\sqrt{q(x)+\lambda}}{\rho(x)\sqrt{\rho(x)}}exp\left(\frac{-(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right), \eta > x \\ \frac{1}{2}\frac{\sqrt{q(x)+\lambda}}{\rho(x)\sqrt{\rho(x)}}exp\left(\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right), \eta < x \end{cases}$$

немесе

$$M''_{o\eta}(x,\eta,\lambda) = (q(x)+\lambda)\rho(x)^{-1}M_o(x,\eta,\lambda)\ . \tag{1.9}$$

Енді $M_3(\lambda)f$ өрнегіне $(L+\lambda E)$ операторымен әсер ету келесі түрде жүргізіледі

$$(L+\lambda \mathrm{E})M_3(\lambda)f=-\frac{d}{d\eta}\left(\rho\frac{d}{d\eta}M_3(\lambda)f+q(\eta)+\lambda\right)M_3(\lambda)f=-\rho'(\eta)\frac{d}{d\eta}M_3(\lambda)f-\rho(\eta)\frac{d}{d\eta^2}M_3(\lambda)f+(q(\eta)+\lambda)M_3(\lambda)f\ ,$$

$$\frac{d}{d\eta}M_3(\lambda)f=\frac{d}{d\eta}\ \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\eta}\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{-(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau(\eta-x)dx+\frac{d}{d\eta}\ \frac{1}{2}\int_{\eta}^{\infty}\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)f(x)=\frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{\sqrt{\rho(\eta)}\sqrt{q(x)+\lambda}}-\frac{1}{\sqrt{\rho(\eta)}\sqrt{q(\eta)+\lambda}}\right)\right]f(\eta)-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\eta}\frac{d}{d\eta}\left[\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}\times(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{-(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau(\eta-x)\right]f(x)dx+\frac{1}{2}\int_{\eta}^{\infty}\frac{d}{d\eta}\left[\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau(\eta-x)\right]f(x)dx=\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\left[M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau(\eta-x)+M_o(x,\eta,\lambda)\tau'(\eta-x)f(x)\right]dx\ ,$$

$$\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\eta}\frac{d}{d\eta}\left[-\frac{1}{\rho(x)}exp\left(-\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau(\eta-x)+\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{-(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau'(\eta-x)\right]f(x)dx+\int_{\eta}^{\infty}\int_{-\infty}^{\eta}\frac{d}{d\eta}\left[\frac{1}{\rho(x)}exp\left(\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau(\eta-x)+\rho(x)^{-\frac{\alpha}{2}}(q(x)+\lambda)^{-\frac{\alpha}{2}}exp\left(\frac{(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)\tau'(\eta-x)\right]f(x)dx=-\frac{f(x)}{\rho(x)}+\int_{-\infty}^{+\infty}M''_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau(\eta-x)+2M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau'(\eta-x)+M_o(x,\eta,\lambda)\tau''(\eta-x)f(x)dx\ .$$

Жоғарыдағы өрнектен мынаны табамыз

$-\rho'(\eta)\frac{d}{d\eta}M_3(\lambda)f=-\int_{-\infty}^{\infty}\rho'(\eta)\left[M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau(\eta-x)+M_o(x,\eta,\lambda)\tau'(\eta-x)\right]f(x)dx-\rho(\eta)\frac{d^2}{d\eta^2}\ M_3(\lambda)f=f(\eta)-\int_{-\infty}^{\infty}\rho(\eta)\left[M''_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau(\eta-x)+2M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau'(\eta-x)+M_o(x,\eta,\lambda)\tau''(\eta-x)\right]f(x)dx\ .$

Бұдан шығатыны

$(L+\lambda \mathrm{E})M_3(\lambda)f=f(\eta)+\int_{-\infty}^{\infty}(q(\eta)+\lambda)M_3(x,\eta,\lambda)\,f(x)dx-\int_{-\infty}^{\infty}\rho(\eta)\rho(x)^{-1}\,(q(x)+\lambda)M_3(x,\eta,\lambda)\,f(x)dx-2\int_{-\infty}^{\infty}\rho(\eta)\left[M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau'(\eta-x)+M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau''(\eta-x)\right]f(x)dx-\int_{-\infty}^{\infty}\rho'(\eta)[sgn(x-\eta)M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau(\eta-x)+M_o(x,\eta,\lambda)\tau'(\eta-x)]\ f(x)dx=f+M_1(\lambda)f+M_2(\lambda)f+M_4(\lambda)f.$

Лемма дәлелденді.

Енді $\left\|M_j(\lambda)\right\|_{\rho\to \mathrm{p}}$ нормасын бағалайық $(j=1,2,3,4)$.

Леммы 1.1 пайдаланып

$$\|M_1(\lambda)\|_P\le\sup_{\eta\in R}\int_{-\infty}^{\infty}(|M_1(x,\eta,\lambda)|+|M_1(\eta,x,\lambda)|)\,dx \qquad (1.10)$$

табамыз. (1.2) , (1.5) шарттардан және (1.6) теңдігінен $\lambda>0$ болғанда

$|M_1(x,\eta,\lambda)|+|M_1(\eta,x,\lambda)|\le\lambda C_1\left|(q(\eta)+\lambda)^{\mathrm{a}-\frac{1}{2}}(x-\eta)^{\alpha}\left(\rho(\eta)\right)^{-\frac{\alpha-1}{2}}exp\left[-(x-\eta)\frac{\sqrt{q(x)+\lambda}}{\sqrt{\rho(x)}}\right]\right|$

теңсіздігі шығады.

Сондықтан (5.10) пайдаланып,

$$\|M_1(\lambda)\|_P \le \mathrm{C}_1\lambda(q(\eta)+\lambda)^{\mathrm{a}-\frac{1}{2}}\big(\rho(\eta)\big)^{-\left(\frac{\alpha-1}{2}\right)}\int_{(x-\eta)}(x-\eta)^{\alpha}exp\left(\frac{-(x-\eta)}{\sqrt{\frac{\rho(x)}{C}}}\sqrt{\frac{q(x)}{C}+\lambda}\right)dx$$

бағалауы анықталады.

Мынандай ауыстыруларды пайдаланайық: $x-\eta=t$, $t\sqrt{\frac{q(\eta)+\lambda}{\rho(\eta)}}=u$.

Бұл ауыстыруларды $M_j(\lambda)$, $j=1,2,3,4$ операторларын бағалағанда да пайдаланамыз, онда

$$\|M_1(\lambda)\|_P \le \mathrm{C}_2\lambda(q(\eta)+\lambda)^{\mathrm{a}-\frac{\alpha}{2}+1} \le \mathrm{C}_4\lambda^{-\gamma}\ ,\gamma=\frac{\alpha}{2}-\mathrm{a}>0\ .$$

Лемма 1.1. пайдалансақ $M_2(\lambda)$ операторы үшін

$$\|M_2(\lambda)\|_P \le \sup_{\eta\in R}\int_{-\infty}^{\infty}\big(\big|\rho(x)M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\tau'(\eta-x)\big|+\big|\rho(\eta)M'_{o\eta}(\eta,x,\lambda)\tau'(\eta-x)\big|\big)xdx+$$
$$\int_{-\infty}^{\infty}(|\rho(x)M_o(x,\eta,\lambda)\tau''(\eta-x)|+|\rho(\eta)M_o(\eta,x,\lambda)\tau''(\eta-x)|)dx$$ теңсіздігі орынды.

$M_o(x,\eta,\lambda)$ ядросының өрнегіне байланысты және (1.8) ден

$$\big|\rho(x)M'_{o\eta}(x,\eta,\lambda)\big| \le C_0exp\left(\frac{-(\eta-x)\sqrt{q(x)+\lambda}}{\sqrt{\rho(x)}}\right)(q(x)+\lambda)^{-\frac{1}{2}}\ ,$$

$$|\rho(x)M_o(x,\eta,\lambda)| \le C_1exp\frac{\sqrt{\rho(x)}}{\sqrt{q(x)+\lambda}}\left(\frac{-(\eta-x)\sqrt{q(x)+\lambda}}{\sqrt{\rho(x)}}\right)(q(x)+\lambda)$$ бағалауы шығады.

Онда (1.2), (1.3) шарттары орындалғанда және $\tau(\eta-x)$ функциясының қасиетін пайдаланып, келесі бағалауды аламыз

$$\|M_2(\lambda)\|_P \le \frac{C}{\lambda^{\varepsilon}}\ ,\quad \varepsilon>0\ .$$

Мына теңсіздікті ескерсек

$$M_3(x,\eta,\lambda) \le C(q(x)+\lambda)^{-\frac{1}{2}}exp\left(\frac{-(\eta-x)\sqrt{q(x)+\lambda}}{\sqrt{\rho(x)}}\right),$$

(1.2) шартынан 1.2 лемманы пайдаланып, $\|M_3(\lambda)\|_P \le \frac{C}{\sqrt{\lambda}}$ бағалауын аламыз.

$M_4(\lambda)$ операторы келесі үш операторлардың қосындысы түрінде өрнектеледі

$$K_1f=\int_{-\infty}^{\infty}\rho'(\eta)\tau'(\eta-x)M_o(x,\eta,\lambda)f(x)dx\ ,$$

$$K_2f=\int_{-\infty}^{\eta}\rho'(\eta)\tau(\eta-x)\big(\rho(x)\big)^{-1}exp\left(\frac{-(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)f(x)dx,$$

$$K_3f=\int_{\eta}^{\infty}\rho'(\eta)\tau(\eta-x)\big(\rho(x)\big)^{-1}exp\left(\frac{-(\eta-x)}{\sqrt{\rho(x)}}\sqrt{q(x)+\lambda}\right)f(x)dx.$$

$\rho^+=\sup\limits_{|x-\eta|\le 2}\rho'(\eta)$ деп белгілейік. Лемма 1.1 бойынша

$$\|K_1\|_p \le C\rho+\sup_{t\in R}\int_{|\eta-x|\le 2}(|M_o(x,\eta,\lambda)|+|M_o(\eta,x,\lambda)|)dx.$$

(1.2) , (1.4) ескере отырып (1.8) теңсіздігінен

$\|K_1\|_p \le \frac{C}{\lambda^{\varepsilon}}$, $\varepsilon > 0$ болады.

Осындай жолменен $\|K_2\|_p$ және $\|K_3\|_p$ бағаланады.

Сонымен (1.2)-(1.5) шарттары орындалған жағдайда мына бағалаулар орынды болады

$$\|M_1(\lambda)\|_P \le C\lambda^{-\gamma}\ ,\ \gamma = \frac{\alpha}{2} - \mathrm{a} > 0 \tag{1.11}$$

$$\|M_2(\lambda)\|_P \le C\lambda^{-\varepsilon}\ ,\ \varepsilon > 0 \tag{1.12}$$

$$\|M_3(\lambda)\|_P \le \frac{C}{\sqrt{\lambda}} \tag{1.13}$$

$$\|M_4(\lambda)\|_P \le \frac{C}{\lambda^{\varepsilon}}, \varepsilon > 0 \tag{1.14}$$

Бұл жерде $\lambda \ge \lambda_o$ болғанда $M_j(\lambda)$ ($j = 1,2,3,4$) операторларының қосындысы бірден кіші болатынын атап өту керек.

Теореманы дәлелдеу үшін келесі теңдіктің орынды болатынын көрсетейік:

$$(L + \lambda\mathrm{E})^{-1} = M_3(\lambda)[E + B(\lambda)]\ ,$$

мұндағы $B(\lambda) = M_1(\lambda) + M_2(\lambda) + M_4(\lambda)$ (1.15)

Лемма 1.2 нәтижесінен көретініміздей λ оң және жеткілікті үлкен болғанда $\mathrm{C}_0^{\infty}(R)$ кеңістігінде анықталған және шенелген $(L + \lambda\mathrm{E})^{-1}$ операторы бар болады. (5.11)- (5.14) ден $\lambda \ge \lambda_o$ болғанда $S(\lambda) = E + B(\lambda)$ операторы кері оператымен бірге шенелген болады, демек $N = \{g, g = S(\lambda)f\ ,\ f \in \mathrm{C}_0^{\infty}(R)\}$ жиыны $\mathrm{L}_p(R)$ кеңістігінде тығыз.

Леммы 1.2 бойынша $q = S(\lambda)f$ тең болғанда, $f \in \mathrm{C}_0^{\infty}(R)$

$$M_3(\lambda)g = M_3(\lambda)S^{-1}(\lambda)g \in D(L),$$

$$(L + \lambda\mathrm{E})M_3(\lambda)B^{-1}(\lambda)g = (L + \lambda\mathrm{E})M_3(\lambda)f = S(\lambda)f = g,$$

$(L + \lambda\mathrm{E})M_3(\lambda)S^{-1}(\lambda) = E$ теңдіктерін аламыз.

N жиыны $\mathrm{L}_p(R)$ кеңістігінде тығыз болғандықтан, $(L + \lambda\mathrm{E})^{-1} = M_3(\lambda)S^{-1}(\lambda)$ орынды.

Теореманың бірінші бөлігі дәлелденді. Енді теореманың екінші бөлігін дәлелдеу үшін $q(x)(L + \lambda\mathrm{E})^{-1}$ операторының $\mathrm{L}_{\rho}(R)$ кеңістігінде шенелген екенін көрсету жеткілікті.

(1.15) теңдігін ескере отырып Леммы 1.1 пайдаланып

$$\|q(x)(L + \lambda\mathrm{E})^{-1}\|_p = \|q(x)M_3(\lambda)\|_p \le \sup_{\eta\in R}\int_{-\infty}^{\infty}(|q(x)M_3(x,\eta,\lambda)| + |q(\eta)M_3(\eta,x,\lambda)|)\,dx \le$$

$C_1 \sup_{\eta\in R} q(\eta+\lambda)^{\alpha/2}\rho(\eta)^{-\alpha/2}\int_{|x-\eta|\le 2} exp\left[\frac{-(x-\eta)\sqrt{q(\eta)+\lambda}}{\sqrt{\rho(\eta)}}\right]dx \le C_2$ болатынын аламыз.

Теорема толық дәлелденді.

Талқылау және қорытынды

Сонымен қарастырылып отырған оператор үшін Теорема 1.1. тілінде (1.1) операторының кері операторының бар болуы яғни сәйкес дифференциалдық теңдеудің шешімі бар болатындығының, бөліктенуі яғни сәйкес дифференциалдық теңдеудің шешімі тегіс болатынының жеткілікті шарттары алынған. Осы жұмыстың нәтижелері сызықтық емес

$$Ly = -(\rho y')' + q(x,\mathrm{y})y$$

операторы үшін де орынды. Бұл жағдайда коэффициенттерге қойылатын шарттар басқаша түрде анықталады.

Мысалдар. Мысал 1.

$Ly = -(\rho y')' + e^{\beta(x)}y \in \mathrm{L}_p(R)$, $1 \le \rho < \infty$ операторын қарастырайық, мұндағы $\rho(x)$ – тегіс, $e^{|x|}$ −қа тең болатын функция, $|x| \ge 1$ болсын.

$\rho(x) = e^{|x|} > 0$, $q(x) = e^{\beta|x|} \ge 1$ тегіс әрі (1.2)-(1.5) шарттарды қанағаттандыратындықтан 1.1 теоремасы бойынша $(L + \lambda \mathrm{E})$ операторының кері бар және $e^{\beta|x|}y \in \mathrm{L}_p(R)$.

Мысал 2.

$Ly = -(\rho y')' + (|x| + 1)^2 y \in \mathrm{L}_p(R)$, мұндағы$|x| \ge 1$ болғанда

$\rho(x) = |x| + 1$ бұл оператордың бөліктенуі алдыңғы мысалдағыдай көрсетіледі.

Алғыс

Мақала 03.04.2025 жылғы Ректор грантының қаржыландыру негізінде жазылды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] W. N. Everitt and M. Giertz, "Some properties of the domains of certain differential operators," Proceedings of the London Mathematical Society, vol. 23, no. 3, pp. 301–304, 1971. doi: 10.1112/plms/s3-23.2.301.

[2] W. N. Everitt and M. Giertz, "Some inequalities associated with certain ordinary differential operators," Mathematische Zeitschrift, vol. 126, pp. 308–326, 1972. doi: 10.1007/BF01110336.

[3] М. Б. Муратбеков, Теоремы разделимости и спектральные свойства одного класса дифференциальных операторов с нерегулярными коэффициентами: автореферат диссертации доктора физико-математических наук: 01.01.02, Алматы, 1994, 30 с. [Онлайн]. Доступно: https://search.rsl.ru/ru/record/01000325573.

[4] М. Б. Муратбеков и Н. Отелбаев, "Гладкость и аппроксимативные свойства решений одного класса нелинейных уравнений типа Шредингера," Известия вузов. Серия Математика, no. 3, pp. 44–47, 1999. [Онлайн]. Доступно: https://www.mathnet.ru/rus/fpm976.

[5] М. Отелбаев, "Коэрцитивные оценки и теоремы разделимости для эллиптических уравнений в Rm\mathbb{R}^mRm," Труды МИАН, 1983. [Онлайн]. Доступно: https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?paperid=.

[6] А. Биргебаев, Гладкость решений нелинейных дифференциальных уравнений и теоремы разделимости: диссертация кандидата физико-математических наук: 01.01.02, Алма-Ата, 1984, 100 с. [Онлайн]. Доступно: https://cyberleninka.ru/.

[7] E. M. E. Zayed and S. A. Omran, "Separation of the Tricomi Differential Operator in Hilbert Space with Application to the Existence and Uniqueness Theorem," International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, vol. 6, no. 8, pp. 353–364, 2019.

[8] A. S. Berdyshev, A. B. Birgebaev, and A. Cabada, "On the smoothness of solutions of the third order nonlinear differential equation," Boundary Value Problems, May 2019, pp. 1–11. doi: 10.1186/s13661-017-0799-4.

[9] A. Birgebayev and M. Muratbekov, "Smoothness of solutions (separability) of the nonlinear stationary Schrödinger equation," Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science, vol. 115, no. 3, pp. 25–35, Sep. 2022. doi: 10.26577/JMMCS.2022.v115.i3.03.

[10] А. Биргебаев и А. М. Сахабаева, "Дифференциалдық операторлардың бөліктенуі мәселелерін оқытудың пән аралық байланысы мен бағыттары," Вестник КазНПУ им. Абая. Серия «Физико-математические науки», № 4 (80), с. 89–96, 2022. doi: 10.51889/2005.2022.64.37.010.

[11] А. Біргебаев и Ж. Д. Байшемиров, "Дифференциалдық теңдеулердің шешімдерінің тегістігін дәлелдеудің физикалық үдерістердегі сипаты," Материалы 1–2 Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы ММИТОН, октябрь 2021. [Онлайн]. Доступно: https://bulletin-phmath.kaznpu.kz/index.php/ped/article/download/930/732/7063.

References

[1] Everitt W. N., Giertz M. Some properties of the domains of certain differential operators. Proc. London Math. Soc., 23(3), 1971, 301–304. https://doi.org/10.1112/plms/s3-23.2.301

[2] Everitt W. N., Giertz M. Some inequalities associated with certain ordinary differential operators. Math. Z., 126, 1972, 308–326. https://doi.org/10.1007/BF01110336

[3] Muratbekov M.B. (1994) Teoremy razdelimosti i spektral'nye svojstva odnogo klassa differencial'nyh operatorov s nereguljarnymi koefficientami: avtoreferat dissertacii doktora fiziko-matematicheskih nauk: 01.01.02 [Theorems of separability and spectral properties of a class of differential operators with irregular coefficients]. Almaty, 30 p. (In Russian) https://search.rsl.ru/ru/record/01000325573

[4] Muratbekov M.B., Otelbaev N. (1999) Gladkost' i approksimativnye svojstva reshenij odnogo klassa nelinejnyh uravnenij tipa Shredingera [Smoothness and approximation properties of solutions of one class of nonlinear Schrödinger-type equations]. Izvestiya vuzov. Seriya Matematika, no. 3, pp. 44–47. (In Russian) https://www.mathnet.ru/rus/fpm976

[5] Otelbaev M. (1983) Koercitivnye ocenki i teoremy razdelimosti dlja ellipticheskih uravnenij v Rm [Coercive estimates and theorems of separability for elliptic equations in Rm]. Trudy MIAN, 1983. (In Russian) https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?paperid=

[6] Birgebaev A. (1984) Gladkost' reshenij nelinejnyh differencial'nyh uravnenij i teoremy razdelimosti: dissertaciya kandidata fiziko-matematicheskih nauk: 01.01.02 [Smoothness of solutions of nonlinear differential equations and separability theorems: Candidate of Physical and Mathematical Sciences dissertation]. Alma-Ata, 100 p. (In Russian) https://cyberleninka.ru/

[7] Zayed E.M.E., Omran S.A. Separation of the Tricomi Differential Operator in Hilbert Space with Application to the Existence and Uniqueness Theorem. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, Vol. 6, No. 8, pp. 353–364, 2019.

[8] Berdyshev A.S., Birgebaev A.B., Cabada A. On the smoothness of solutions of the third order nonlinear differential equation. Boundary Value Problems, May 2019, pp. 1–11. https://doi.org/10.1186/s13661-017-0799-4

[9] Birgebayev A., Muratbekov M. Smoothness of solutions (separability) of the nonlinear stationary Schrödinger equation. Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science, vol. 115, no. 3, pp. 25–35, Sep. 2022. https://doi.org/10.26577/JMMCS.2022.v115.i3.03

[10] Birgebaev A., Sakhabaeva A.M. (2022) Differencialdyk operatorlardyn boliktenui maselelerin okytudyn pan aralyk bajlanysy men bagyttary [Interdisciplinary connections and directions in teaching the problem of separability of differential operators]. Vestnik KazNPU im. Abaya, seriya «Fiziko-matematicheskie nauki», №4(80), pp. 89–96. (In Kazakh) https://doi.org/10.51889/2005.2022.64.37.010

[11] Birgebaev A., Bajshemirov Zh.D. (2021) Differencialdyk tendeulerdің sheshimderinің tegistigin dəldeudің fizikalik үderisterdegi sipaty [The nature of proving the smoothness of solutions of differential equations in physical processes]. MMITON, Materialy 1–2 Khalyqaralyk gylymi-praktikalyk konferencijasy, October 2021. (In Kazakh) https://bulletin-phmath.kaznpu.kz/index.php/ped/article/download/930/732/7063

IRSTI 27.03.66

10.51889/2959-5894.2025.91.3.003

A.R. Yeshkeyev[1], O.I. Ulbrikht[1], A.K. Koshekova[1]*

[1]Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan
e-mail: koshekova1998@mail.ru

PROPERTIES OF CATEGORICITY FOR KAISER CLASS

Abstract

In this article we present concrete results on both the countable and uncountable categoricity of some fragments. Our research on the categoricity of these fragments is conducted within the extended framework of normal Jonsson theory. The fragments are derived through the application of the closure operator of a specified pregeometry, and the involved sets are regular. The resulting models in this context constitute the Kaiser class associated with a studied Jonsson theory. These models exhibit distinct and interesting structural properties, making them a subject of extensive study. Furthermore, we analyze how variations in the underlying pregeometry influence the classification of fragments. Such an approach makes it possible to identify broader and deeper connections between categoricity and model-theoretic stability, thereby significantly expanding and refining the understanding of their interrelation in the context of contemporary fundamental scientific research.

Keywords: Jonsson theory, semantic model, Jonsson set, almost Jonsson set, normality, regularity.

А.Р. Ешкеев[1], О.И. Ульбрихт[1], А.К. Кошекова[1]
[1]Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

КАЙЗЕР КЛАСЫ ҮШІН ӘЛБЕТТІЛІК (КАТЕГОРЛЫЛЫҚ) ҚАСИЕТТЕРІ

Аңдатпа

Бұл мақалада біз белгілі бір фрагменттердің саналатын және саналмайтын әлбеттілігі бойынша нақты нәтижелерді ұсынамыз. Бұл фрагменттердің әлбеттілігін зерттеу нормальді йонсондық теориясының кеңейтілген шеңберінде жүргізілді. Фрагменттер алғашқы геометрияның тұйықтама операторы арқылы алынады, ал қолданылған жиындар тұрақты болып табылады. Бұл жағдайда алынған модельдер зерттелген йонсондық теориясына сәйкес Кайзер класын құрайды. Бұл модельдер ерекше қызықты құрылымдық қасиеттерді көрсетеді және кеңінен зерттеу нысанына айналады. Сонымен қатар, негізгі алғашқы геометриядағы өзгерістердің фрагменттерді жіктеуге қалай әсер ететінін талдаймыз. Мұндай тәсіл әлбеттілік пен модельдік-теориялық тұрақтылық арасындағы анағұрлым кең әрі терең байланыстарды айқындауға мүмкіндік береді, осылайша олардың өзара қатынасын қазіргі іргелі ғылыми зерттеулер аясында едәуір кеңейтіп, тереңдетіп, нақтылай түседі.

Түйін сөздер: йонсондық теория, семантикалық модель, йонсондық жиын, йонсондық дерлік жиын, қалыптылық, тұрақтылық.

А.Р. Ешкеев[1], О.И. Ульбрихт[1], А.К. Кошекова[1]
[1]Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, г. Караганда, Казахстан

СВОЙСТВА КАТЕГОРИЧНОСТИ ДЛЯ КЛАССА КАЙЗЕРА

Аннотация

В данной статье мы представляем конкретные результаты исследований о счетной и несчетной категоричности некоторых фрагментов. Изучение категоричности этих фрагментов проводится в расширенных рамках нормальной йонсоновской теории. Фрагменты получаются с использованием оператора замыкания заданной предгеометрии, а рассматриваемые множества являются регулярными. Полученные модели в данном случае образуют класс Кайзера, связанный с изучаемой йонсоновской теорией. Эти модели демонстрируют особые интересные структурные свойства, что делает их предметом активного изучения. Кроме того, мы анализируем, как изменения в базовой предгеометрии влияют на классификацию фрагментов. Подобный подход позволяет выявить более широкие и

глубокие связи между категоричностью и модельно-теоретической стабильностью, тем самым существенно расширяя и уточняя понимание их взаимосвязи в контексте современных фундаментальных научных исследований.

Ключевые слова: йонсоновская теория, семантическая модель, йонсоновская множество, почти йонсоновская множество, нормальность, регулярность.

Introduction

The main results of the paper are given in the form of new theorems exploring the relationships between key properties of a perfect normal Jonsson theory M^0, such as completeness, model completeness, ∀∃-axiomatizability, and the existence of a model companion. The focus is on how structures related to $cl(A) \in K_T$ and M^0 ensure the equivalence of these fundamental properties within the framework of Jonsson theory. The results establish a profound connection between the fundamental properties of a perfect normal Jonsson theory M^0. Specifically, it has been shown that the properties of completeness, model completeness, ∀∃-axiomatizability, and the existence of a model companion are all equivalent within the framework of Jonsson theory. Furthermore, the structures related to $cl(A) \in K_T$ and M^0 play a crucial role in ensuring this equivalence.

This article examines the model-theoretic characteristics of particular subsets within the semantic models of a given fixed normal Jonsson theory, with a primary focus on regular almost Jonsson sets. The foundational concepts of normality for Jonsson theories and almost Jonsson sets, first introduced in [1], serve as the basis for this investigation. Regularity is presented as a natural and essential requirement for definable sets to qualify as Jonsson sets. To enable effective analysis, the defining formula of a Jonsson set must satisfy established model-theoretic criteria. In this study, the property of regularity is axiomatically formulated, with the defining set characterized by a formula possessing a Morley rank. This approach integrates seamlessly with the broader framework of studying Jonsson theories in the context of Morley rank, as previously developed in [2].

Building on foundational works [1], [3], and [4], this article addresses the challenges posed by the general incompleteness of Jonsson theories. In the absence of a comprehensive analysis of the Lindenbaum-Tarski Boolean algebra of formulas and its associated Stone space of types, alternative methods are employed. Following the approaches of [3] and [4], this work examines the lattice of existential formulas and their corresponding existential types. Within this framework, significant results concerning the structure and properties of almost Jonsson sets are obtained.

The key contribution of this study lies in the application of a new double factorization technique to the class of cosemanticness under consideration. This new approach sheds new light on the analysis of Jonsson theories and their related subsets, building on existing results and presenting a fresh perspective.

Research Methodology

1. Essential details regarding the study of Jonsson theories.

To grasp the content and subtleties of our subsequent discussion, it is essential to revisit the key definitions and propositions linked to those presented in [1]. In this article, we work within a countable first-order language, and all the theories under consideration will likewise be countable.

Before introducing the concept of Jonsson theories, we first recall the definitions of two key properties that play a crucial role in analyzing this class of incomplete theories.

Definition 1.

[5]. A theory T has the joint embedding property (JEP), if, for any models A and B of T, there exists a model M of T and isomorphic embeddings $f: A \to M$, $g: B \to M$.

Definition 2.

[5]. A theory T has the amalgamation property (AP), if for any models A, B_1, B_2 of T and isomorphic embeddings $f_1: A \to B_1, f_2: A \to B_2$ there are $M \vDash T$ and isomorphic embeddings $g_1: B_1 \to M, g_2: B_2 \to M$, such that $g_1 \circ f_1 = g_2 \circ f_2$.

The primary focus of this article revolves around the concept of a Jonsson theory.

Definition 3.

[5]. A theory T is said to be a Jonsson theory if:

(i) T has at least one infinite model;

(ii) T is an inductive theory, meaning it can be axiomatized by ∀∃-sentences;

(iii) T has JEP (joint embedding property), i.e. any two models of T can be combined into a larger model of T;

(iv) T has AP (amalgamation property), i.e. guarantees that for any three models of T, where two extend the third, there exists a larger model into which both extensions can be embedded consistently.

The study of Jonsson theory has been a subject of interest and recognition for many years. This framework, which captures the core methodologies and their applications in exploring various aspects of Jonsson theories, is detailed in the works [6]-[16].

The following definition introduces an important concept: an existentially closed model within the class of models of a Jonsson theory. When an existentially closed model is also algebraically simple, it gives rise to a particularly interesting class of Jonsson theories. This combination of properties contributes to the structural richness and definability of the theory, making it a key area of study in the model theory of Jonsson theories.

Definition 4.

[5]. Let M be a structure and $N \supseteq M$. A model M of theory T is existentially closed in N, if for any tuple $\bar{a} \in M$ and any quantifier-free formula $f(\bar{x}, \bar{y})$ of language M, the following holds: if $N \vDash (\exists \bar{y}) f(\bar{a}, \bar{y})$, then $M \vDash (\exists \bar{y}) f(\bar{a}, \bar{y})$.

This property reflects the closure of M under existential quantification within the extension N.

One of the syntactic invariants of a Jonsson theory is its center. This center serves as a key structural element in understanding the theory and its associated models, often reflecting important properties related to the theory's definability and consistency. Let us give some definitions regarding the Jonsson theories.

Definition 5.

[17]. A model C_T of the Jonsson theory T such that $|C_T| = 2^{\omega}$ is said to be a semantic model, if it is ω^+-homogeneous-universal.

Definition 6.

[18]. T^* denotes the center of a Jonsson theory T. It is defined as the elementary theory corresponding to its semantic model C_T, meaning that T^* is the complete theory that fully describes the model C_T. Formally, we can express this as: $T^* = Th(C_T)$, where $Th(C_T)$ is the theory of the model C_T, consisting of all the sentences that are true in C_T.

Definition 7.

[5]. Let T be an arbitrary theory of the language L. A theory T' is called a model companion of T, if it satisfies the following conditions:

(i) Mutual model-consistency: It means that any model of T is embedded in the model of T' and vice versa;

(ii) Model-completeness: T' is model-complete, meaning that for any two models B_1 and B_2 of T', if B_1 is a submodel of B_2, then B_1 is an elementary submodel of B_2. In simpler terms, any embedding of one model into another is elementary, preserving the truth of all formulas.

The concept of model completeness is intrinsically connected to the idea of mutual model consistency for the theory in question.

Definition 8.

[5]. Let T be any theory. A theory $T^{\#}$, referred to as a #-companion of T, is a theory of the same signature if:

(i) $(T^{\#})_{\forall} = T_{\forall}$: The universal consequences of $T^{\#}$ are identical to those of T;

(ii) if $T_{\forall} = T'_{\forall}$, then $T^{\#} = (T')^{\#}$: The #-companion is uniquely determined by the universal consequences of T;

(iii) $T_{\forall\exists} \subseteq T^{\#}$.

It is evident that a model companion is also a #-companion of T. This implies that the model companion satisfies the conditions required for a $T^{\#}$-companion, including:

(i) Identical Universal Consequences**:** The universal consequences of T and its model companion coincide, i.e., $T'_{\forall} = T_{\forall}$.

(ii) Inclusion of Existential Consequences**:** The model companion encompasses all the existential consequences of T, ensuring consistency with T while extending its structure.

This dual compatibility confirms that the model companion meets the broader requirements of a $T^{\#}$-companion.

Remark 1. When we state that $T'_{\forall} = T_{\forall}$, it means that every model of T can be embedded as a substructure within a model of T', and conversely, every model of T' can be embedded as a substructure within a model of T.

Moreover, T' is a model companion of T if and only if it is also a model companion of $T_{\forall}$.

Proposition 1. [5]. Let a theory T be an arbitrary theory. Then T has a model companion if and only if the class of existentially closed models of $T_{\forall}$ is an elementary class, and if a model companion of T exists, it is unique and is coincides with the theory of existentially closed models of $T_{\forall}$.

Additionally, Robinson's work demonstrates the concepts of finite forcing and the forcing #-companion. Robinson's result in [19] shows that if a theory in a countable language satisfies JEP, then this theory has a forcing #-companion that is complete.

The theorem below establishes that every Jonsson theory T has a forcing #-companion, and that this companion is a complete theory.

Theorem 1.

[5]. If T satisfies JEP, then the forcing #-companion $T^{\#}$ will be complete.

The theorem highlights that the simultaneous existence of all interpretations of the #-companion is intricately connected to the existence of a model companion**.**

This means that if a model companion exists for T, the different interpretations or versions of the #-companion is closely tied to the existence of a model companion. In simpler terms, the existence of a model companion guarantees that the #-companion can be well-defined and consistent across different interpretations.

In addition to the model companion, other types of companions are crucial in the analysis and understanding of Jonsson theories. These include the forcing companion, the existentially closed companion, and the Kaiser hull (the maximal ∀∃-theory that is mutually model-consistent with T). The Kaiser hull is particularly notable for its close relationship with the companion that characterizes the class of models that are existentially closed with respect to the given theory. It is also related to the companion that defines the class of generic models when investigating the forcing companion of the theory.

The natural interpretations of the #-companion $T^{\#}$ include the following theories:

(i) T^* is the center of the Jonsson theory T,

(ii) T^f refers to the forcing companion of the Jonsson theory T,

(iii) T^M denotes the model companion of the theory T.

(iv) $T^e = Th(E_T)$. T^e represents the existential closure companion, specifying the set of existentially closed models of T, with E_T denoting the class of all existentially closed models within the theory T.

If E_T stands for the class of T-existentially closed models of an inductive theory T, then E_T is guaranteed to be non-empty, as established in [18].

In the study of Jonsson theories, the class of perfect Jonsson theories holds a special significance. These theories are particularly important because they exhibit a high level of structural regularity and satisfy key conditions that make them central to understanding the broader class of Jonsson theories. Perfect Jonsson theories are often characterized by their well-behaved lattices of existential formulas, model-theoretic properties, and their ability to interact

with other important concepts such as the #-companion and forcing companions.

Definition 9.

[18]. A Jonsson theory T is said to be perfect, if every model of T should be sufficiently saturated with respect to the model companion T^*, meaning it closely reflects the structure defined by T^*.

It turns out that the semantic model of a perfect Jonsson theory is closed under existential quantification, meaning that the model satisfies the property that any system of existential formulas that can be satisfied in any larger model of the theory can also be satisfied within the model itself.

Lemma 1.

[18]. Let C_T be the semantic model of a Jonsson theory T. Then C_T is existentially closed model of T.

The following theorem offers a criterion for determining whether a Jonsson theory is perfect:

Theorem 2. (Criterion of Perfectness).

[18]. Let T be any Jonsson theory. If T is perfect, then T^* is the model companion of theory T, and vice versa.

In the case of a complete Jonsson theory, the concept of a companion (whether it's a #-companion, model companion, or other) is identical to the center of T.

Corollary 1.

In the case of a perfect Jonsson theory T, the #-companion coincides with the center of T, meaning $T^{\#} = T^*$.

The concept of algebraic simplicity generalizes the notion of a simple model. It is defined by the fact that not every theory has an algebraically simple model. A general criterion for the existence of algebraically simple models has not yet been established. Additionally, the concept of a rigid model is closely related to algebraic simplicity, as both are concerned with specific structural properties of models in the context of a given theory.

Definition 10.

[20]. A model of T is called algebraically prime if, for any other model of T, there exists an isomorphic embedding of the algebraically prime model into the other model.

Algebraically prime models are highly embedded and play a key role in understanding the structure of models of a theory.

Definition 11.

[21]. A model M of the signature of given theory T (called a structure M in this context) is called a core model if it is isomorphic (structurally identical) to the unique substructure within every model of T.

Definition 12.

[18]. A theory T is said to be an existentially prime if both classes E_T and AP are non-empty and have a non-empty intersection.

The following concept, introduced by A. Robinson, is closely connected to all the theories discussed above.

Definition 13.

[22]. A theory T is called convex if, for any model $\mathfrak{A} \vDash T$ and any collection $\{\mathfrak{B}_i | i \in I\}$ of substructures of $\mathfrak{A}$, where each $\mathfrak{B}_i \vDash T$, the intersection $\bigcap_{i \in I} B_i$ is also a model of T, provided it is non-empty. A theory T is strongly convex if the intersection is always non-empty and still a model of T.

Let T be a theory that is strongly convex, Jonsson, and perfect, and that is complete for existential sentences in the language L. The combination of these properties ensures that T has a well-defined structure of models, with a unique core model and robust behavior in terms of existentially closed models and intersections of substructures. The completeness for existential sentences ensures that T captures all existential properties in its models, further strengthening the theory's foundational

aspects.

Definition 14.

[17] A pregeometry (or matroid) (X, cl) is a set X with a closure operator cl: $\mathfrak{B}(X) \to \mathfrak{B}(X)$, where $\mathfrak{B}$ denotes the Boolean of a set such that for all $A \subseteq X$ and $a, b \in X$:

a) (Reflexivity) $A \subseteq cl(A)$.

b) (Finite character) $cl(A)$ is the union of all $cl(A')$, where A' runs through all finite subsets of A.

c) (Transitivity) $cl(cl(A)) = cl(A)$.

d) (Replacement lemma) $a \in cl(Ab) \backslash cl(A) \Rightarrow b \in cl(Aa)$.

A set A is called closed (or cl-closed) if $A = cl(A)$. Note that the closure $cl(A)$ of the set A is the smallest cl-closed set containing A. Therefore, the pregeometry is defined by a system of cl-closed subsets. The operator $cl(A) = A$ for all $A \subseteq X$ is a trivial example of pregeometry. Three standard examples from algebra: vector spaces with a linear closure operator, for a field K with a simple field F, with respect to an algebraic closure $cl(A) = F(A)^{alg} \cap K$, and for the field K of characteristic p, the p-closure is given by $cl(A) = K^p(A)$.

Later in the article, by the theory of T, we mean a strongly convex, perfect Jonsson theory, which is complete for existential sentences in the language L. The framework involves a pregeometry [17] defined by the closure operator cl on the set of all subsets of C_T.

In a strongly convex, Jonsson, and perfect theory T, the concept of a Jonsson set A is closely tied to the structure of existentially closed submodels of semantic models. The set A is definable within the theory T, and its closure under the closure operator cl results in an existentially closed submodel N, which captures the model-theoretic characteristics of the set A. This interplay between definability, closure, and existential closure is crucial for understanding the internal structure of models in the context of a Jonsson theory.

The notation $Th_{\forall\exists}(N)$ refers to the sets of all ∀∃-sentences, that are true in the model N. These sentences are those that are universally quantified and involve existential quantifiers in their structure. The collection $Th_{\forall\exists}(N)$ represents the set of all sentences that describe the properties of the existentially closed model N in terms of the theory T, specifically focusing on the existential aspects of the model.

Definition 15.

[17] The Jonsson set is a subset A of the semantic model C of the Jonsson theory T, which has special properties that make it possible to study in detail the structure of the models of this theory.

Definition 16.

[4]. The fragment $Fr(X)$ of the Jonsson set X is a Jonsson theory obtained as a ∀∃-sentences which are true in the model N which is a closure of this set, such that $Fr(X) = Th_{\forall\exists}(N)$.

The following definition provides a crucial extension of the concept of a Jonsson set.

Definition 17.

[1]. A set X is called almost Jonsson if it fulfills these conditions:

1) X is a definable subset of C_T, where C_T is the semantic model of Jonsson theory T;
2) $cl(X) = M \in Mod(T)$.

Furthermore, $Th_{\forall\exists}(M) = M^0 = Fr(X)$, and $M^0 \in JSp(C_T)$, where $JSp(C_T)$ denotes the Jonsson spectrum of C_T, i.e. $JSp(C_T) = \{T' | \ T'$ is a Jonsson theory and $C_T \vDash T'\}$.

This concept can be illustrated by an example of an arbitrary abelian group, which turns out to be the closure of some existential formula defining an almost Jonsson set in this abelian group.

The concept of normality for a Jonsson theory is defined for a class of theories where any fragment of their semantic models belongs to the Jonsson spectrum of C_T of the given Jonsson theory.

The following definition describes specific subsets of the semantic model of the given Jonsson theory. These subsets are important in understanding the structure and behavior of the models of the theory, particularly in relation to how they fit into the broader framework of the Jonsson spectrum and the properties of T.

Definition 18.

[1]. The Jonsson theory T is said to be normal if for any $X \subseteq C_T$, such that $cl(X) = M \in Mod(T), Fr(X) = M^0 \in JSp(C_T)$ and $C_{M^0} \preceq_{\exists_1} C_T$, where C_{M^0} is a semantic model of M^0.

An example of a normal theory is the universal theory of all unars. This theory is characterized by the fact that it has an empty list of axioms and is Jonsson.

These subsets are characterized by the fact that the formula that defines them has Morley rank [17]. Morley rank is a key concept in model theory that measures the complexity of definable sets. The following six properties are actually six axioms that define the Morley rankability properties, which govern how sets and their definability can be ranked in terms of complexity.

Let us introduce the concept of a family of regular subsets of the semantic model C_T, denoted by $Reg(C_T)$.

Definition 19.

A subset $X_i \subseteq C_T$ is called regular if X_i satisfies the following properties:

1) For each $i \in I$ the inclusion $X_i \in Reg(C_T)$ holds;

2) The set $Reg(C_T)$ is closed under finite Boolean combinations, i.e. from the inclusions $A, B \subseteq C_T^n$, $A, B \in Reg(C_T)$ it follows that $A \cup B \in Reg(C_T), A \cap B \in Reg(C_T)$ and $C_T^n / A \in Reg(C_T)$;

3) The set $Reg(C_T)$ is closed under the Cartesian product, i.e. from the inclusions $A, B \in Reg(C_T)$ it follows that $A \times B \in Reg(C_T)$;

4) The set $Reg(C_T)$ is closed under the projection, i.e. if $A \subseteq C_T^{n+m}$, $A \in Reg(C_T)$, $\pi_n(A)$ is the projection of the set A onto C_T^n, then $\pi_n(A) \in Reg(C_T)$;

5) The set $Reg(C_T)$ is closed under specialization, i.e. if $A \in Reg(C_T), A \subseteq C_T^{n+m}$ and $c \in C_T^n$, then $A(\underline{c}) = \{(\underline{c}, \underline{a}) \in A\} \in Reg(C_T)$;

6) The set $Reg(C_T)$ is closed under permutation of coordinates, i.e. if $A \in Reg(C_T), A \subseteq C_T^n$, and σ is a permutation of the set $\{1, \ldots, n\}$, then $\sigma(A) = \{(a_1, \ldots, a_n) \in A\} \in Reg(C_T)$.

In the context of a Jonsson theory, the regular subsets of the semantic model C_T are subsets that exhibit specific properties in relation to the closure operator and definability. Regular sets are those that satisfy closure under various set-theoretic operations, preserving their regularity in the context of definable subsets of C_T.

Lemma 2. Let us consider a subset of existentially closed models K from a class of models of normal Jonsson theory T and the set of all ∀∃-sentences true in the models of K. Then, the theory $Th_{\forall\exists}(K)$ is a normal Jonsson theory.

This is a useful result in model theory as it demonstrates how properties of existential closure and ∀∃-sentences are preserved in the context of Jonsson theories.

Proof. Let $K \subseteq E_T$, T be a normal Jonsson theory. Since T is a normal Jonsson theory, then T has JEP, then according to Theorem 3 $\forall A, B \in E_T \Rightarrow T^0(A) = T^0(B)$.

Theorem 3. [23] Let there exist two existentially closed models A and B of a theory T that satisfy JEP, then any ∀∃-sentence true in one model must also be true in the other model.

This follows from the preservation of existential closure and the properties of the JEP, ensuring that existentially closed models of a Jonsson theory (and in general, models satisfying the joint embedding property) share consistent truth conditions for ∀∃-sentences. And now let us define the concept of the Kaiser class of models for the arbitrary of the Jonsson theory. The Kaiser class K_T is defined as $K_T = \{A \in ModT | Th_{\forall\exists}(A)$ is a Jonsson theory$\}$.

Proposition 2. It is clear that $E_T \subseteq K_T$.

1. $K_T \neq \emptyset$ (if $T = T^* = Th(C_T)$ and T is perfect then $K_T = E_T$).
2. $\forall M \subseteq K_T, Th_{\forall\exists}(M)$ is a Jonsson theory.

The Jonsson sets and almost Jonsson sets play a key role in the generation of fragments in the context of a normal Jonsson theory. Specifically, when a Jonsson theory is normal, these sets

generate fragments from the models of the Kaiser class of the theory. These generated fragments are cosemantic with the Jonsson theory under consideration.

2. Classification of fragments by categoricity.

Definition 20.

[20] φ is a Δ-formula with respect to the theory T if it can be expressed in terms of two existential formulas ψ_1 and ψ_2 that are both logically equivalent to φ in the models of T.

Existential formulas are often called ∃-formulas.

Therefore, Δ -formulas are invariant under embeddings between models of theory T. Along with the ∃-formulas, they constitute the main classes used to define relations in algebraically prime models.

Definition 21.[20].

(i) $(A, a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}) \Rightarrow_\Gamma (B, b_0, b_1, \ldots, b_{n-1})$ means that the formula φ is true in A with parameters $\bar{a}$ if and only if it holds in B with the corresponding parameters $\bar{b}$.

(ii) $(A, \bar{a}) \equiv_\Gamma (B, \bar{b})$ holds if both of the following conditions are satisfied:

1. $(A, \bar{a}) \Rightarrow_\Gamma (B, \bar{b})$;

2. $(B, \bar{b}) \equiv_\Gamma (A, \bar{a})$.

As classes, we will consider either △ or ∃.

Definition 22.

[20]. A formula $\varphi(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ is said to be complete for Γ-formulas if the following conditions hold:

(i) φ must be consistent with the theory T.

(ii) for every formula $\psi(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ in the class Γ that has the same free variables as φ, one of the following must holds: $T \vDash \forall \bar{x}(\varphi \to \psi)$, which means that T proves that φ implies ψ for all possible values of the variables $\bar{x}$, or T proves that φ implies the negation of ψ for all values of $\bar{x}$, $T \vDash \forall \bar{x}(\varphi \to \neg\psi)$.

Definition 23.

[20]. A model $\mathfrak{A}$ is called a Γ_1, Γ_2-atomic model of a theory T if the following conditions hold: $\mathfrak{A} \vDash T$, which implies that all sentences in T are satisfied in $\mathfrak{A}$; and for every finite n-tuple of elements from the universe of $\mathfrak{A}$, there exists a formula $\psi(x) \in \Gamma_1$ such that $\psi(x)$ is complete for Γ_2-formulas in the sense that, for any formula $\theta(\bar{x}) \in \Gamma_2$, either $T \cup \{\psi(\bar{x})\} \vDash \theta(\bar{x})$ or $T \cup \{\psi(\bar{x})\} \vDash \neg\theta(\bar{x})$ and $\psi(\bar{x})\}$ holds for $\bar{a}$ in $\mathfrak{A}$.

Let M^0 be a perfect normal strongly convex fragment complete for existential sentences. Then the following properties holds:

(i) M^0 is an existentially prime normal theory;

(ii) in particular, M^0 has a core model. By [10], this core model is $(\Delta, \exists)$-atomic.

To establish the groundwork for Theorem 9, we introduce the following key definitions and results:

Theorem 4. (Saracino) [24]. Let T be a complete theory in a countable language. Then the theory T is ω-categorical if and only if the theory T has a model companion T^*, and T^* is ω-categorical.

Definition 24.

[20]. Σ-nice and Σ^*-nice algebraically prime models:

(i) A model $\mathfrak{A}$ is called a Σ-nice algebraically prime model of the theory T if $\mathfrak{A}$ is a countable model of T and for every model $\mathfrak{B}$ of T and for any tuple $\bar{a}$ in $\mathfrak{A}$ and $\bar{b}$ in $\mathfrak{B}$, if $(A, a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}) \to_\exists (B, b_0, b_1, \ldots, b_{n-1})$ (i.e., the ∃-quantifier embedding relation holds between the tuples in the two models), then for every $a_n \in A$, there exists a corresponding $b_n \in B$ such that: $(A, a_0, a_1, \ldots, a_n) \to (B, b_0, b_1, \ldots, b_n)$.

(ii) A model $\mathfrak{A}$ is called a Σ^*-nice algebraically prime model of T if $\mathfrak{A}$ is countable model and for every model $\mathfrak{B}$ of T, every $n \in \omega$, and for all $a_0, a_1, \ldots, a_{n-1} \in A, b_0, b_1, \ldots, b_{n-1} \in B$, if $(A, a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}) \equiv_\exists (B, b_0, b_1, \ldots, b_{n-1})$, then for every $a_n \in A$ there exists some $b_n \in B$ such that $(A, a_0, a_1, \ldots, a_n) \equiv_\exists (B, b_0, b_1, \ldots, b_n)$.

Remark 2. As established in [20], an ∃-complete, perfect, strongly convex fragment both possesses a core model and serves as a core model itself. Moreover, the $(\Delta, \exists)$-atomicity of this fragment implies (Σ, Σ)-atomicity, as shown in [20].

This is a stronger atomicity condition that indicates the fragment is highly structured in terms of both existential and universal quantification, making it a foundational building block for the model-theoretic analysis of Jonsson theories.

Theorem 5. [20]. If two models of T are countable and (Σ, Σ)-atomic, then these two models are isomorphic.

To proceed with the proof of Theorem 13, we need to introduce several important concepts and results that will help structure the argument.

Definition 25.

[20]. A theory T is said to satisfy R_1 if for any existential formula $\varphi(\bar{x})$ consistent with T there exists a formula $\psi(\bar{x}) \in \Delta$, also consistent with T, such that $T \vDash \psi \to \varphi$.

Definition 26.

[20]. A countable model $\mathfrak{M}$ of a theory T is called countably algebraically universal if, for every countable model $\mathfrak{N}$ of T, there exists an isomorphism $\mathfrak{N} \to \mathfrak{M}$.

Theorem 6. [20]. Let T be a ∀∃-theory complete for existential sentences, and assume that T satisfies R_1. Then, there is an equivalence between the existence of models with certain atomic properties – such as an algebraically prime model, $(\exists, \Delta)$ -atomic model and $(\Delta, \exists)$ -atomic model, Δ-nice algebraically prime model and the existence of a unique algebraically prime model.

The equivalence of the conditions discussed above highlights that a complete ∀∃-theory that satisfies R_1 exhibits strong and consistent structural properties, particularly in terms of the atomicity and uniqueness of its models.

M. Morley's criterion (see [25]) for the ω_1-categoricity of a complete theory is a well-known result in model theory. The criterion provides a necessary and sufficient condition for a complete theory to be categorically unique in all uncountable models, which is a significant aspect of the theory's structure and its models.

Definition 27.

[20]. A model $\mathfrak{M}$ is said to be a proper prime elementary extension of $\mathfrak{N}$ if $\mathfrak{M} \gneqq \mathfrak{N}$ and for any model $\mathfrak{K}$ such that $\mathfrak{K} \gneqq \mathfrak{N}$, it follows that $\mathfrak{M} \prec \mathfrak{K}$.

Next theorem provides a criterion for ω_1-categoricity based on the existence of proper prime elementary extensions, linking model-theoretic structure to categoricity.

Theorem 7. (Morley) [25]. If T is ω_1-categorical, then every countable model of T can be extended to a proper prime elementary extension. Conversely, if every countable model of T has a proper prime elementary extension, then T must be ω_1-categorical.

In the framework of Jonsson theories, we offer an analogous version of Definition 27. Both deal with prime extensions, but Definition 27 applies to elementary extensions in general model theory, while Definition 28 specifically addresses extensions in Jonsson theories.

Definition 28.

[18]. Let $\mathfrak{M}$ and $\mathfrak{N}$ be models from E_T, where $\mathfrak{M} \subsetneq \mathfrak{N}$. We say that $\mathfrak{N}$ is an algebraically prime model extension of $\mathfrak{M}$ within E_T if every isomorphic embedding of $\mathfrak{M}$ into any model $\mathfrak{K} \in E_T$ can be extended to an isomorphism $\mathfrak{N} \longrightarrow \mathfrak{K}$.

To refine Theorem 7 within the context of studying fragments of Jonsson theories, we need to focus on the specific structure of Robinson theories, which are universally axiomatized Jonsson theories. These theories have a set of key properties, including the fact that they are ω_1-categorical and ω-stable, which helps us refine the notion of Morley rank.

Regular subsets of the semantic model C_T play a significant role in understanding the properties of the theory T. These subsets often represent well-behaved or structured portions of the model. The Morley rank provides a measure of complexity or definable structure within a model. It assigns a rank to definable sets, giving insight into their size and behavior in the context of a complete theory.

In Jonsson theories**,** fragments (subsets of the theory with specific logical properties) often exhibit interesting relationships with the model-theoretic notions like stability and rank.

The Morley rank of regular subsets in C_T helps analyze these fragments, providing a structured way to understand their properties within the semantic model.

Results of the study

In this section, we consider the issues related to the categoricity of the considered fragments of normal theories. Moreover, the fragments are generated by almost Jonsson regular subsets of the semantic model of the regarded Jonsson theory.

Let T be a normal Jonsson theory. And let A be a subset of the semantic model C_T, A is an almost Jonsson set, meaning $cl(A) = M \in K_T$, where K_T - the Kaiser class of the normal fixed Jonsson theory. $Th_{\forall\exists}(M) = Fr(A) = M^0$.

The following points describe the properties of these fragments.

Lemma 3. The fragment M^0 is a Jonsson theory.

This result is proven in the reference [18].

Let $M^{0^{\#}}$ be the #-companion of the fragment M^0.

Theorem 8. If $cl(A) \in K_T$, then the following conditions are equivalent: M^0 is perfect if and only if $M^{0^{\#}}$ is axiomatized by ∀∃-sentences.

This result is extracted in [18].

Theorem 9. Let $cl(A) \in K_T$. Then the following conditions are equivalent:

(i) M^0 is perfect,

(ii) M^0 has a model companion**.**

The proof of this equivalence follows from the criterion of perfectness.

The subsequent statement is easily verified.

Lemma 4. Let $cl(A_1) = M_1$, $cl(A_2) = M_2$, and both M_1, M_2 are elements of the class K_T. Suppose M_1, M_2 are Kaiser hulls of the normal Jonsson theory. Then M_1^0 and M_2^0 are mutually model consistent is equivalent to the equality of their #-companions.

Proof. If M_1^0 and M_2^0 are mutually model consistent, then $(M_1^0)_\forall = (M_2^0)_\forall$, and by the definition of the #-companion, the #-companions will be equal. Conversely, if the #-companions of A_1 and A_2 coincide, then $(M_1^0)_\forall = (M_2^0)_\forall$. By part (i) of the definition #-companion, $M_1^0 = (M_1^{\#})_\forall$ and $M_2^0 = (M_2^{\#})_\forall$. Consequently $(M_1^0)_\forall = (M_2^0)_\forall$. Thus, M_1^0 and M_2^0 are mutually model consistent.

It is well-known that the concepts of model completeness and the completeness of a theory do not generally coincide. However, Lindstrom's theorem [5] establishes a connection between these two concepts. The following theorem is related to Lindstrom's theorem on model completeness.

We are considering Jonsson fragments, specifically M^0, within a framework where $cl(A) \in K_T$. Here, $cl(A)$ represents the closure of a set A, and A is a subset of C_T of a Jonsson theory T. The theory T is existentially prime**,** strongly convex, and normal. These properties ensure that T has certain robust closure properties, particularly under intersections and embeddings of models.

Theorem 10. Let the closure of the set A, denoted $cl(A)$ belongs to certain class K_T, and let M^0 be a perfect normal Jonsson theory. Then M^0 is complete if and only if it is model complete, and vice versa.

Proof. Firstly we note that, from the perfectness of an existentially prime strongly convex Jonsson theory the perfectness of a fragment follows.

$(i) \Rightarrow (ii)$ Assuming M^0 is complete, we need to show that it is model complete.

Let M^0 be a complete fragment of the Jonsson set A. Consider the central completion of M^0, denoted $(M^0)^*$. Since $M^0 \subseteq (M^0)^*$ and M^0 is complete, we have $M^0 = (M^0)^*$. The model $(M^0)^*$ is the center of the fragment and is part of the normal Jonsson set, which is existentially prime and strongly convex. By the criterion of perfectness, M^0 is a perfect fragment. Therefore, the center of M^0 coincides with its model companion, which is model complete**.**

Thus, M^0 is model complete.

$(ii) \Rightarrow (i)$: The proof uses JEP of fragment M^0 and the model completeness of $(M^0)^{\#}$.

Suppose the opposite, i.e. M^0 is not complete, then there is a sentence φ such that neither φ nor $\neg\varphi$ is deducible in M^0. This would lead to two inconsistent sets: $M^0 \cup \varphi$ and $M^0 \cup \neg\varphi$. By the Joint Embedding Property (JEP), there would be two models, A_1 and A_2, satisfying $M^0 \cup \varphi$ and $M^0 \cup \neg\varphi$, respectively. These models A_1 and A_2 can be embedded isomorphically into a common model B by elementary embeddings $f_1 : A_1 \to B$ and $f_2 : A_2 \to B$. However, this leads to a contradiction because $B \vDash \varphi \wedge \neg\varphi$. Therefore, M^0 must be complete.

The theorem below essentially says that under the conditions described, the model $\mathfrak{A}$ will satisfy all these atomic and nice properties, showing the interaction between them in this context.

Theorem 11. Let M^0 be an $\exists$-complete, perfect, normal, strongly convex Jonsson fragment, where $cl(A)$ belongs to K_T (means that the closure of some set A under the closure operator cl is a model in the class K_T of T-models) of some normal Jonsson set A, and let $\mathfrak{A}$ be a countable model of the theory M^0. It follows that $(i) \Rightarrow (ii)$ and $(ii) \Rightarrow (iii)$, where:

(i) $\mathfrak{A}$ is (Σ, Σ) −atomic,

(ii) $\mathfrak{A}$ is Σ^*-nice,

(iii) $\mathfrak{A}$ is existentially closed and Σ-nice.

The proof follows from Remark 1 and [19].

Theorem 12. Consider M^0 as a $\forall\exists$-complete, perfect, normal, and strongly convex Jonsson fragment of a normal Jonsson set A, where $cl(A) \in K_T$. Then the following statements are equivalent: if the #-companion of a Jonsson fragment M^0 is ω-categorical, then M^0 is ω-categorical, and vice versa.

Proof. $(i) \Rightarrow (ii)$ Assume that $(M^0)^{\#}$ is ω-categorical. From Theorem 1 (part ii), $(M^0)^{\#}$ is complete. By Theorem 4, $(M^0)^{\#}$ has a unique ω-categorical #-companion, denoted $(M^0)^{\#}$. Since $(M^0)^{\#}$ is model-consistent with M^0, it follows that the models of $(M^0)^{\#'}$ must be also consistent with M^0. Moreover, the model-completeness of $(M^0)^{\#}$ ensures that every formula in the language of $(M^0)^{\#'}$ is equivalent to an $\exists$-formula. Applying Robinson's theorem on the uniqueness of model companions, and the criterion of perfection for a normal Jonsson theory, it follows that $(M^0)^{\#} = (M^0)^{\#'}$. Since $(M^0)^{\#'}$ is ω-categorical, it has a unique countable model N, which is countably saturated. This model N belongs to the class of models of M^0, as $Mod(M^0)^{\#} \subseteq Mod(M^0)^{\#'}$. By the perfection criterion of a normal Jonsson theory, N is also Σ^*-*nice*-model. Furthermore, $Mod(M^0)^{\#} = K^{\#}$, where $K^{\#}$ contains a unique (up to an isomorphism) countable model N, which is (L, L) −atomic as defined in Definition 24, where L is the full language. Therefore, N is also a (Σ_1, Σ_1)-atomic model of $(M^0)^{\#}$, due to the model-completeness of $(M^0)^{\#}$ (since $(M^0)^{\#} = (M^0)^{\#'}$). By the $\exists$-completeness of M^0, N is a (Σ_1, Σ_1)-atomic model of $(M^0)^{\#}$. Finally, by Theorem 11, N is a Σ^*-*nice*-model. Let B an arbitrary countable model of M^0, so $B \in Mod(M^0)^{\#}$ and $card B = \omega$. Since M^0 is $\exists$-complete, it follows that $N \equiv_{\exists} B$ (this serves as the induction base). By the definition of Σ^*-*niceness*, we can inductively obtain $(N, a)_{a\in N} \equiv_{\exists} (N_1, f(a))_{a\in N}$, where f is a mapping such that $f(a) = a$ for any $a \in N$. Hence, $(N, a)_{a\in N} \equiv_{\exists} (N_1, f(a))_{a\in N}$, which implies $N \preceq_{\exists} B$. Thus, B is a (Σ_1, Σ_1)-atomic model. By Theorem 5, $B \cong N$. Since B was arbitrary, the fragment M^0 is ω-categorical.

$(ii) \Rightarrow (i)$ Now assume that M^0 is ω-categorical. Suppose, for the sake of contradiction, that $(M^0)^{\#}$ is not ω-categorical. If $(M^0)^{\#}$ were not ω-categorical, there exist non-isomorphic countable models N and B of $(M^0)^{\#}$. However, since $M^0 \subseteq (M^0)^{\#}$, the models N and B would also belong to the class of models of M^0 (i.e., $N, B \in Mod M^0$). This contradicts the assumption that M^0 is ω-categorical. Thus, $(M^0)^{\#}$ must also be ω-categorical.

Theorem 13. Let $cl(A)$ belongs to K_T, where A is a regular set. Let M^0 be Jonsson fragment, which is an existentially prime, perfect normal Jonsson theory that is complete for the existential

sentences of a Jonsson universal theory satisfying R_1. Then the structure $(M^0)^{\#}$ is ω_1-categorical if and only if any countable model in K_{M^0} possesses an algebraically prime model extension in K_{M^0}, and vice versa.

Proof. $(i) \Rightarrow (ii)$ Let $(M^0)^{\#}$ be ω_1-categorical. By Morley's theorem on uncountable categoricity, $(M^0)^{\#}$ is perfect. Then, by the criterion of the perfectness of a Jonsson theory, $(M^0)^{\#}$ is a model complete theory, and we have $Mod(M^0)^{\#} = K_{M^0}$. Since $(M^0)^{\#}$ is model-complete, any isomorphic embedding between its models is elementary. Moreover, as $(M^0)^{\#}$ is a complete theory, applying Theorem 2 yields the required statement.

$(ii) \Rightarrow (i)$ By Lemma 3.11.2 of [18] applied to the semantic model $\mathfrak{C}$ of an existential prime perfect Jonsson theory M^0, we know that $\mathfrak{C}$ is ω-universal. Typically, its cardinality exceeds countability. Thus, we consider a countable elementary submodel $\mathfrak{D} \subseteq \mathfrak{C}$. Since $\mathfrak{C}$ is existentially closed (by Lemma 3.11.3. of [18]), the submodel $\mathfrak{D}$ is also existentially closed. Consequently, $\mathfrak{D}$ is countably algebraically universal. By the assumption that M^0 is existentially prime, M^0, possesses an algebraically prime model $\mathfrak{A}_0$. We now construct a chain of algebraically prime model extensions $\{\mathfrak{A}_\delta\}$:

(i) Define $\mathfrak{A}_{\delta+1}$ as an algebraically prime model extension of $\mathfrak{A}_\delta$;

(ii) $\mathfrak{A}_\lambda = \cup \{\mathfrak{A}_\delta | \delta < \lambda\}$.

Let $\mathfrak{A} = \cup \{\mathfrak{A}_0 \delta | \delta < \omega_1\}$. Suppose $\mathfrak{B} \vDash M^0$ and $card\mathfrak{B} = \omega_1$. To prove $\mathfrak{B} \approx \mathfrak{A}$, decompose $\mathfrak{B}$ into a chain $\{\mathfrak{B}_\delta | \delta < \omega_1\}$ of countable models. This decomposition is possible due to the existential prime Jonsson theory M^0.

We now define a function $g: \omega_1 \to \omega_1$ and construct a sequence of isomorphisms $\{f_\delta : \mathfrak{A}_{g\delta} \to \mathfrak{B}_\delta | 0 < \delta < \omega_1\}$ by induction on δ:

(i) $g_0 = 0$ and $f_0 : \mathfrak{A}_0 \to \mathfrak{B}_0$.

(ii) $g\lambda = \cup \{g\delta | \delta < \lambda\}$ and $f_\lambda = \cup \{f_\delta | \delta < \lambda\}$.

(iii) $f_{\delta+1}$ is equal to the union of the chain $\{f_\delta^\gamma | \gamma \leq \rho$ where ρ is determined by induction on γ.

(iv) $f_{\delta+1}^0 = f_\delta$, $f_{\delta+1}^\lambda = \cup \{f_\delta | \delta < \lambda\}$.

(v) Suppose that $f_1^\lambda : \mathfrak{A}_{g\delta+\gamma} \to \mathfrak{B}_{\delta+1}$. If $f_\delta^{\gamma+1}$is a mapping onto, then $\rho = \gamma$. Otherwise, by virtue of the algebraic primeness of $\mathfrak{A}_{g\delta+\gamma+1}$ we can continue $f_\delta^{\gamma+1}$ to $f_{\delta+1}^{\gamma+1} : \mathfrak{A}_{g\delta+\gamma+1} \to \mathfrak{B}_{\delta+1}$.

(vi) $g(\delta + 1) = g\delta + \rho$.

It follows that $f = \cup \{f_\delta | \delta < \omega_1\}$ is an isomorphism between $\mathfrak{A}$ and $\mathfrak{B}$. By Theorem 12, since $\mathfrak{B}$ was an arbitrary model of M^0, and A is the unique algebraically prime and existentially closed model (by assumption and construction), K_{M^0} has a unique model of uncountable cardinality. Therefore, the semantic model of an existentially prime Jonsson theory M^0 is saturated, which implies that M^0 is perfect. Consequently, $Mod(M^0)^{\#} = K_{M^0}$, and $(M^0)^{\#}$ is ω_1-categorical.

Discussion

This work highlights the significance of ω_1-categoricity as a central property that connects the algebraic, existential, and structural aspects of existentially prime Jonsson theories. This relationship provides a unified framework for systematically studying the logical properties of these theories, offering both theoretical and practical insights for future research in model theory and the exploration of Jonsson theories.

Conclusion

The results presented reveal a notable connection between the model-theoretic properties of Jonsson theories and their respective fragments, especially in terms of ω_1-categoricity, algebraic primeness, and existential completeness. This connection enhances our understanding of how these

properties influence the structure and behavior of models in Jonsson theories, demonstrating that ω_1-categoricity guarantees the uniqueness of countable models, while algebraic primeness and existential completeness ensure strong closure properties for these models under extensions and embeddings. Together, these properties provide a comprehensive framework for studying the logical foundations of the theory. Specifically, we have shown the equivalence of ω_1-categoricity and algebraic primeness, perfectness and model-completeness, and the $\forall\exists$-complete, perfect, normal, and strongly convex Jonsson fragment of a normal Jonsson set A. This analysis not only deepens our understanding of the structure of Jonsson theories but also paves the way for future research on the connections between algebraic and existential properties of such models. Furthermore, the results highlight the importance of ω_1-categoricity as a central concept for linking various model-theoretic aspects, offering new insights into the behavior and classification of models within these theories. In sum, the work emphasizes that ω_1-categoricity serves as a unifying property for understanding the model-theoretic behavior of existentially prime Jonsson theories, linking their algebraic, existential, and structural characteristics within a coherent and elegant framework.

All the essential concepts and statements related to these notions, which were not defined or discussed in the text of this article, can be found in the following list of references.

Acknowledgements

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23489523)

References

[1] Yeshkeyev A.R., Ulbrikht O.I., Omarova M.T. Double factorization of the Jonsson spectrum. // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2024. №4(116). P. 185-196. https://doi.org/10.31489/2024M4/185-196

[2] Yeshkeyev A.R. Some properties of Morly rank over Jonsson sets // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2016. №4(84). P. 57-62. https://doi.org/10.31489/2016m4/57-62

[3] Yeshkeyev A.R. The structure of lattices of positive existential formulae of (Δ-PJ)- theories // Science Asia. 2013. №2(39). P. 19-24.

[4] Yeshkeyev A.R., Kasymetova M.T., Shamatayeva N.K. Model-theoretic properties of the #-companion of a Jonsson set // Eurasian mathematical journal. 2018. №2(9). P. 68-81.

[5] Barwise J. Teoriya modelei: spravochnaia kniga po matematicheskoi logike. Chast 1 [Model theory: Handbook of mathematical logic. Part 1]. Moscow: Izdatelstvo Nauka [in Russian], 1982.

[6] Yeshkeyev A.R., Kassymetova M.T., Ulbrikht O.I. Independence and simplicity in Jonsson theories with abstract geometry. // Siberian Electronic Mathematical Reports. 2021. №1(18). P. 433-455. https://www.doi.org/10.33048/semi.2021.18.030

[7] Yeshkeyev A.R., Tungushbayeva I.O., Kassymetova M.T. Connection between the amalgam and joint embedding properties. // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2022. №1(105). P. 127-135. https://www.doi.org/10.31489/2022M1/127-135

[8] Yeshkeyev A.R., Ulbrikht O.I., Omarova M.T. The Number of Fragments of the Perfect Class of the Jonsson Spectrum. // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2023. №12(43). P. 3658-3673. https://www.doi.org/10.1134/S199508022215029X

[9] Yeshkeyev A.R., Ulbrikht O.I., Issayeva A.K. Algebraically prime and atomic sets. // Turkic World Mathematical Society (TWMS) Journal of Pure and Applied Mathematics. 2023. №2(14). P. 232-245. https://www.doi.org/10.30546/2219-1259.14.2.2023.232

[10] Yeshkeyev A.R., Tungushbayeva I.O., Koshekova A.K. The cosemanticness of Kaiser hulls of fixed classes of models. // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2024. №1(113). P. 208-217. https://doi.org/10.31489/2024m1/208-217

[11] Yeshkeyev A.R., Ulbrikht O.I., Mussina N.M. Similarities of Hybrids from Jonsson Spectrum and S-Acts. // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2023. №12(44). P. 5502-5518. https://doi.org/10.1134/s1995080223120399

[12] Yeshkeyev A.R., Ulbrikht O.I., Urken G.A. Similarities of Jonsson spectra's classes. // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2023. №4(112). P. 130–143.

https://doi.org/10.31489/2023m4/130-143

[13] Yeshkeyev A.R., Tungushbayeva I.O., Ulbrikht O.I. On some types of algebras of a Jonsson spectrum. // Siberian Electronic Methematical Reports. 2024. №2(21). P. 866-881. https://doi.org/10.33048/semi.2024.21.057p0866-0881.pdf

[14] Yeshkeyev A.R., Yarullina A.R., Amanbekov S.M., Kassymetova M.T. On Robinson spectrum of the semantic Jonsson quasivariety of unars. // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2023. №2(110). P. 169-178. https://www.doi.org/10.31489/2023M2/169-178

[15] Yeshkeyev A.R., Tungushbayeva I.O., Amanbekov S.M. Existentially prime Jonsson quasivarieties and their Jonsson spectra. // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2022. №4(108). P. 117-124. https://doi.org/10.31489/2022M4/117-124

[16] Kassymetova M.T., Zhumabekova G.E. Model-theoretic properties of J-non-multidimensional theories. // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2024. №4(116). P. 119-126. https://doi.org/10.31489/2024M4/119-126

[17] Yeshkeyev A.R. Theories and their models. (Vol. 1,2.). Karaganda, Kazakhstan: izd. KarU [in Russian], 2024.

[18] Weispfenning V. The model-theoretic significance of complemented existential formulas // The Journal of Symbolic Logic. 1981. №4(46). P. 843-849. https://doi.org/10.2307/2273232

[19] Yeshkeyev A.R. On Jonsson sets and some of their properties // The Bulletin of Symbolic Logic. 2015. №1(21). P. 99-100.

[20] Yeshkeyev A.R. Strongly minimal Jonsson sets and their properties // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2014. №4(80). P. 47-51.

[21] Yeshkeyev A.R. Convex fragments of strongly minimal Jonsson sets // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2015. №1(77). P. 67-72.

[22] Robinson A. Introduction to Model Theory and to the Metamathematics of Algebra. - 2nd ed. Amsterdam: North-Holland Publishing Co, 1965. 284 p.

[23] Hodges W, Model Theory. Encyclopedia of Mathematics and its Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

[24] Saracino J. Model companions and ω-categoricity // The Journal of Symbolic Logic. 1970. №4(35). P. 561-564.

[25] Yeshkeyev A.R., Kasymetova M.T. Properties of lattices of the existential formulas of Jonsson fragments // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2015. №3(79). P. 25-32.

МРНТИ 27.35.47

10.51889/2959-5894.2025.91.3.004

С.Е. Касенов[1], Ж.Ғ. Тұрлыбек[1], А.М. Тлеулесова[1*], А.А. Кабулова[2], А.Н. Темирбеков[1]

[1]Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
[2]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
[*]*e-mail: aigerim1985_06@mail.ru*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ

Аннотация

В статье рассматривается уравнение переноса и диффузии для математического моделирования процесса распределения вредных примесей в атмосфере. В работе исследована явная разностная схема для уравнения переноса и диффузии, а также архитектура физически информированных нейронных сетей (PINN), их принцип функционирования и применения к решению уравнения переноса и диффузии. В ходе практического исследования изучалось направление ветра в различных условиях и обсуждалось их различное влияние на распределение смеси. Показана динамика распределения загрязняющих веществ в городской зоне в соответствии с северо-западным и северо-восточным ветрами, наблюдаемыми в городе Усть-Каменогорск. В результате исследования были показаны графики численных решений задачи, определены закономерности распределения вредных примесей в атмосфере, убедившись, что направление и скорость ветра оказывают непосредственное влияние на распределение вредных веществ в атмосфере.

Ключевые слова: численные методы, уравнение переноса, разностные схемы, PINN, загрязняющие вещества, экология.

С.Е. Касенов[1], Ж.Ғ. Тұрлыбек[1], А.М. Тлеулесова[1], А.А. Кабулова[2], А.Н. Темирбеков[1]
[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ, Қазақстан
[2]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ, Қазақстан

АТМОСФЕРАДАҒЫ ЗИЯНДЫ ҚОСПАЛАРДЫҢ ТАРАЛУЫ ҮДЕРІСІН САНДЫҚ МОДЕЛДЕУ

Аңдатпа

Мақалада зиянды қоспалардың атмосферада таралуы процессін математикалық тұрғыда моделдеу үшін тасымал және диффузия теңдеуі қарастырылады. Тасымал және диффузия теңдеуі үшін айқын айырымдылық сұлбасы келтіріліп және PINN физикалық заңдылықтарға негізделген нейронды желісінің архитектурасы, жұмыс істеу принципі мен оны тасымалдау және диффузия теңдеуіне қолданысы зерттелді. Практикалық зерттеу барысында желдің әртүрлі жағдайдағы бағытын зерттеліп, олардың зиянды қоспалардың таралуына беретін әртүрлі әсері талқыланды. Өскемен қаласында байқалған солтүстік-батыс және солтүсті-шығыс желдеріне сәйкес ластаушы заттардың қала аймағында таралу динамикасы көрсетілді. Зерттеу нәтижесінде есептің сандық шешімдерінің графиктері көрсетіліп, желдің бағыты мен жылдамдығы зиянды заттардың атмосферада таралуына тікелей беретін әсеріне көз жеткізіп, атмосферада зиянды қоспаларың таралу заңдылықтары анықталды.

Түйін сөздер: сандық әдістер, тасымал теңдеуі, айырымдылық сұлбалар, ластаушы заттар, PINN, экология.

S.E. Kasenov[1], Zh.G. Turlybek[1], A.M. Tleulesova[1], A.A. Kabulova[2], A.N. Temirbekov[1]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

NUMERICAL MODELING OF THE SPREAD OF HARMFUL POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERE

Abstract

The article considers the equation of transport and diffusion for mathematical modeling of the process of distribution of harmful impurities in the atmosphere. The paper explores an explicit difference scheme for the transfer and diffusion equation, as well as the architecture of physically informed neural networks (PINNS), their principle of operation and application to solving the transfer and diffusion equation. In the course of a practical study, the wind direction was studied in various conditions and their different effects on the distribution of the mixture were discussed. The dynamics of the distribution of pollutants in the urban area in accordance with the north-west and north-east winds observed in the city of Ust-Kamenogorsk is shown. As a result of the study, graphs of numerical solutions to the problem were shown, patterns of the distribution of harmful impurities in the atmosphere were determined, making sure that the direction and speed of the wind have a direct effect on the distribution of harmful substances in the atmosphere.

Keywords: numerical methods, transport equation, difference schemes, PINN, pollutants, ecology.

Введение

В данной работе исследуется численное моделирование распространения вредных примесей в атмосфере и применение нейронных сетей к решению уравнений в частных производных. Рассматривается модель распространения загрязняющих веществ на основе уравнения переноса и диффузии. В этой работе исследуются характеристики вредных примесей, формулируется уравнение переноса и диффузии. По результатам исследования показано распределение вредных веществ в зависимости от направления ветра, а также подробно объяснены физические закономерности каждого из выявленных явлений.

В настоящее время распространение вредных примесей в атмосфере является одной из актуальных научных проблем. Загрязнение воздуха оказывает значительное негативное влияние на экологическое состояние окружающей среды, а также на здоровье всех живых существ на Земле. Основными источниками загрязняющих веществ считаются выбросы промышленных предприятий, транспортные средства, энергетические установки, а также природные явления, такие как извержения вулканов и лесные пожары. Все эти источники встречаются в значительном количестве практически в любой части нашей планеты. Для прогнозирования концентрации вредных веществ в воздухе и разработки мер по снижению их воздействия требуется численное моделирование, основанное на уравнении переноса и диффузии [1]. Более подробно математическое исследование вредных примесей можно получить в приложении [2].

Загрязняющие атмосферу химические примеси можно разделить на несколько категорий:

- Диоксид серы (SO_2) – это бесцветный газ или жидкость с резким запахом, возникающий в результате человеческой деятельности.
- Диоксид азота (NO_2) – газ с резким запахом, который образуется при сгорании топлива и в процессе работы автотранспорта.
- Озон – природный газ, который защищает Землю от ультрафиолетового излучения Солнца в верхних слоях атмосферы. Однако на уровне земной поверхности озон может образовываться в результате химических реакций загрязняющих веществ под воздействием солнечного света, превращаясь в токсичный газ.
- Твердые частицы – компоненты загрязненного воздуха, включающие пыль, дым, микроскопические загрязняющие жидкости и твердые частицы различного размера. Они классифицируются следующим образом:

- Крупные частицы (PM_{10}) – размером от 2.5 до 10 микрон.
- Мелкие частицы ($PM_{2.5}$) – размером менее 2.5 микрон, видимые только под микроскопом.

- Ультратонкие частицы – с диаметром менее 0.1 микрона, наиболее распространенные в воздухе.
- Оксид углерода (CO) – бесцветный, не имеющий запаха, но крайне токсичный газ.

Одним из ключевых методов моделирования загрязняющих веществ является решение уравнения переноса и диффузии, которое описывает динамику примесей с учетом конвективных и диффузионных процессов. В данной работе рассматривается численное решение уравнения переноса и диффузии, а также представлены результаты вычислительных экспериментов с использованием физически информированной нейронной сети (PINN), демонстрирующих её эффективность.

Методология исследования

Перемещение загрязняющих веществ в атмосфере осуществляется воздушными потоками с учетом их локальных колебаний. Средний поток веществ, переносимых воздушными массами, как правило, включает адвективные и конвективные составляющие. В процессе движения примесей основная усредненная динамика дополняется диффузией, вызванной случайными колебаниями частиц.

Постановка задачи для уравнения переноса загрязняющих веществ в области:

$$\omega = \{(x, z, t): 0 \le \mathrm{x} \le 1, \qquad 0 \le \mathrm{y} \le 1, \qquad 0 \le \mathrm{t} \le \mathrm{T}\}$$

$$\frac{\partial \varphi_q}{\partial t} + u\frac{\partial \varphi_q}{\partial x} + v\frac{\partial \varphi_q}{\partial y} = \Delta\varphi_q + \alpha_q\varphi_q + \beta_q + f_q \tag{1}$$

$$\varphi_q(x, y, 0) = \varphi_0(x, y), \tag{2}$$

$$\varphi_q(0, y, t) = 0, \qquad \varphi_q(1, y, t) = 0 \tag{3}$$

$$\varphi_q(x, 0, t) = 0, \qquad \varphi_q(x, 1, t) = 0 \tag{4}$$

Здесь $f_q = \sum_{j=1}^{m} Q_j\delta(\vec{r} - \vec{r_j})$ представляет собой радиус-вектор расположения источников загрязнения, мощность источников загрязнения, число источников.

где

u, v – коэффициенты скорости воздушного потока,

q – концентрация вредного вещества в смеси,

β_q– коэффициент скорости образования вещества,

α_q– коэффициент уменьшения скорости,

$\varphi(x, y, t)$ – интенсивность аэрозольной субстанции, переносимой воздушным потоком в атмосфере.

Метод конечных разностей

1. Построение сетки

$$h_x = \frac{1}{N_x}, \qquad h_y = \frac{1}{N_y}, \qquad \tau = \frac{1}{N_t},$$

Для численного решения задачи такого типа сначала рассматриваем распределенное множество узлов с шагами:

$$\mathcal{D}^{\tau}_{h_x,h_y} = \{(x_i, y_j, t_k): x_i = ih_x, y_j = jh_y, t_k = k\tau, i = \overline{1, N_x - 1},$$
$$j = \overline{1, N_y - 1}, \tau = \overline{0, N_t - 1}\}$$

2. Дискретизация

Аппроксимируем производную по времени в уравнении (1) правой разностью, а производные по x и y точностью второго порядка:

$$\frac{\partial \varphi_q}{\partial t} = \frac{\varphi_{i,j}^{k+1} - \varphi_{i,j}^{k}}{\tau} = \varphi_{qt}$$

$$u\frac{\partial \varphi_q}{\partial x} = u\left(\frac{\varphi_{i+1,j}^{k} - \varphi_{i-1,j}^{k}}{2h_x}\right) = u\varphi_{q\dot{x}}$$

$$v\frac{\partial \varphi_q}{\partial y} = v\left(\frac{\varphi_{i,j+1}^{k} - \varphi_{i,j-1}^{k}}{2h_y}\right) = v\varphi_{q\dot{y}}$$

$$\Delta\varphi_q = \frac{\varphi_{i+1,j}^{k} - 2\varphi_{i,j}^{k} + \varphi_{i-1,j}^{k}}{h_x^2} + \frac{\varphi_{i,j+1}^{k} - 2\varphi_{i,j}^{k} + \varphi_{i,j-1}^{k}}{h_y^2} = \varphi_{q\bar{x}x} + \varphi_{q\bar{y}y}$$

Начальные и граничные условия (2), (3), (4)

$$\varphi_{i,j}^{0} = \varphi_0(x_i, y_j),$$
$$\varphi_{0,j}^{k} = \varphi_{1,j}^{k} = 0,$$
$$\varphi_{i,0}^{k} = 0,$$
$$\varphi_{i,1}^{k} = 0$$

3. Разностная схема

После дискретизации получаем следующую разностную задачу

$$\varphi_{qt} + u\varphi_{q\dot{x}} + \omega\varphi_{q\dot{y}} = \varphi_{q\bar{x}x} + \varphi_{q\bar{y}y} + \alpha_q\varphi_q + \beta_q + f_q \tag{6}$$

или в индексной форме:

$$\frac{\varphi_{i,j}^{k+1} - \varphi_{i,j}^{k}}{\tau} + u\frac{\varphi_{i+1,j}^{k} - \varphi_{i-1,j}^{k}}{2h_x} + v\frac{\varphi_{i,j+1}^{k} - \omega_{i,j-1}^{k}}{2h_y} = \Lambda\varphi_{i,j}^{k} + \mu \tag{7}$$

где

$$\Lambda\varphi_{i,j}^{k} = \frac{\varphi_{i+1,j}^{k} - 2\varphi_{i,j}^{k} + \varphi_{i-1,j}^{k}}{h_x^2} + \frac{\varphi_{i,j+1}^{k} - 2\varphi_{i,j}^{k} + \varphi_{i,j-1}^{k}}{h_y^2}$$

$$\mu = \beta_q + f_{i,j},$$

Разностная задача (7) является явной схемой, значения на верхнем временном слое $\varphi_{i,j}^{k+1}$ определяется через значения на предыдущем слое по формуле (8)

$$\varphi_{i,j}^{k+1} = \varphi_{i,j}^{k} - \tau\left(u\frac{\varphi_{i+1,j}^{k} - \varphi_{i-1,j}^{k}}{2h_x} + v\frac{\varphi_{i,j+1}^{k} - \omega_{i,j-1}^{k}}{2h_y}\right) + \tau\Lambda\varphi_{i,j}^{k} + \tau\mu \tag{8}$$

Традиционные численные методы изучались с давных времен и всегда были полны новых открытий, приведенные выше схемы конечных разностей были более подробно изучены в работах [3-5]. С развитием технологий, включая компьютерные системы и искусственный интеллект, наука также продолжает непрерывное развитие. В современную эпоху развитых технологий с помощью искусственного интеллекта можно создавать даже математические модели, которые демонстрируют результаты, не уступающие, а в некоторых случаях превосходящие традиционные численные методы. PINN – это искусственная нейронная сеть, структурированная на основе физических законов. В данной работе исследуем модель распределения вредных примесей в атмосфере с использованием нейронной сети PINN. Цели, архитектуру, принцип работы нейронной сети PINN, а также области её применения можно более подробно изучить в работах [6-8]. PINN строится на основе глубокой нейросети, в которую интегрируются физические уравнения. Это достигается путем добавления к функции

потерь компонентов, учитывающих дифференциальных уравнений, начальные и граничные условия. Обучение PINN осуществляется через минимизацию функции потерь.

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{PDE} + \mathcal{L}_{BC} + \mathcal{L}_{IC} \tag{9}$$

где

$\mathcal{L}_{PDE}$ – ошибка уравнения в частных производных,

$\mathcal{L}_{BC}, \mathcal{L}_{IC}$ – ошибки на начальных и граничных условиях.

Функция потерь в PINN формулируется как среднеквадратичная ошибка, что позволяет минимизировать невязку уравнения в частных производных в случайно выбранных точках внутри области.

$$\mathcal{L}_{PDE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} |\mathcal{F}(u_\theta(x_i, y_i, t_i)|^2 \tag{10}$$

где

$u_\theta(x_i, y_i, t_i)$ – предсказанное значение решения нейросетью с параметрами θ,

$\mathcal{L}(u)$ – оператор уравнения в частных производных.

PINN представляет собой многослойную нейронную сеть, в которой входными данными являются координаты пространства и времени, а выходное значение аппроксимирует решение искомого дифференциального уравнения. Ниже на рисунке 1 показана архитектура нейронной сети PINN, подробнее об архитектуре вы можете увидеть в работе [9].

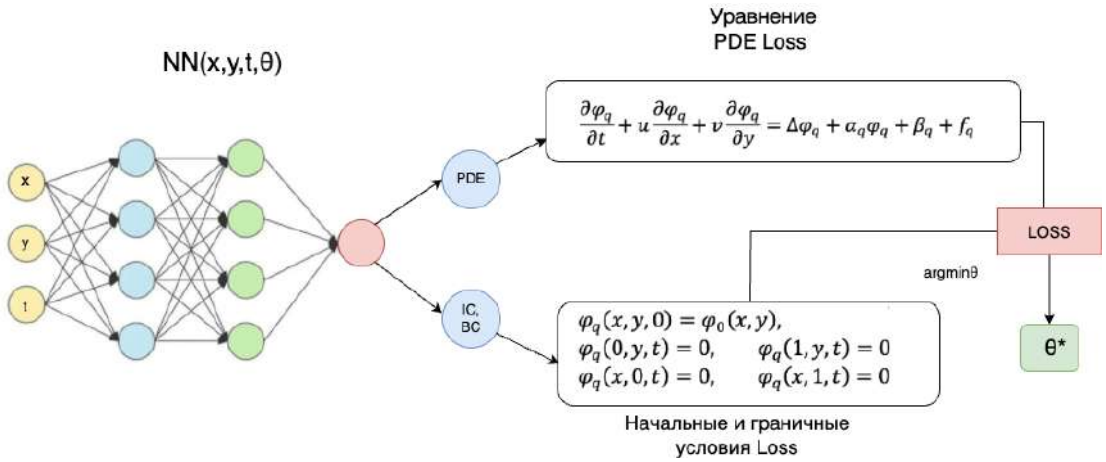


Рисунок 1. Архитектура PINN для уравнения переноса и диффузии

Для получения математической модели с использованием нейронной сети PINN мы реализуем решение с помощью библиотеки DeepXDE. DeepXDE – открытая библиотека, поддерживаемая сообществом исследователей и инженеров, широко используемая в академической среде для математического моделирования и численного анализа, подробнее об использовании библиотеки показано в работе [10].

Результаты исследования

В данном разделе представлена динамика обученной нейронной сети PINN для уравнения переноса и диффузии, а также численное графическое отображение результатов моделирования распространения загрязняющих веществ и их физические характеристики.

На рисунке 2 показана зависимость значений потерь в обучающих и тестовых наборах нейронной сети от количества итераций. Поскольку значения потерь обучающих и тестовых наборов на графике близки друг к другу, в модели не наблюдается переобучения, что свидетельствует о высокой способности к обобщению. Функция потерь сначала быстро уменьшается, приближаясь к постоянным значениям на более поздних итерациях. Наличие временных колебаний на графике показывает, что модель адаптируется к сложным областям

и учитывает физические условия уравнения. Близость значений потерь обучающих и тестовых наборов в нейронной сети PINN свидетельствует о хорошей обобщающей способности модели.

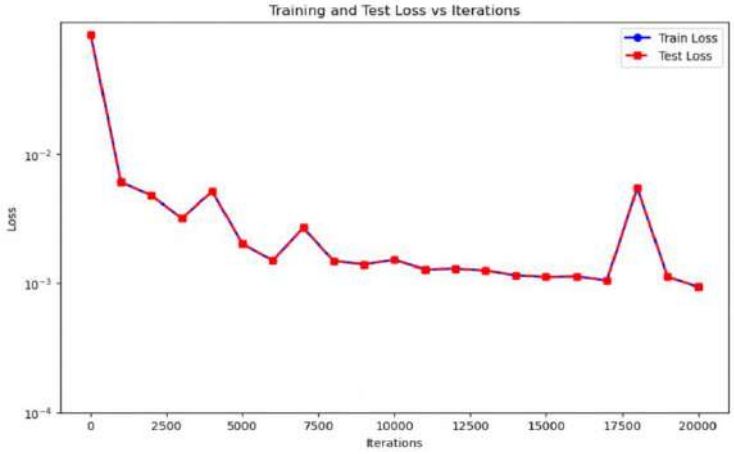
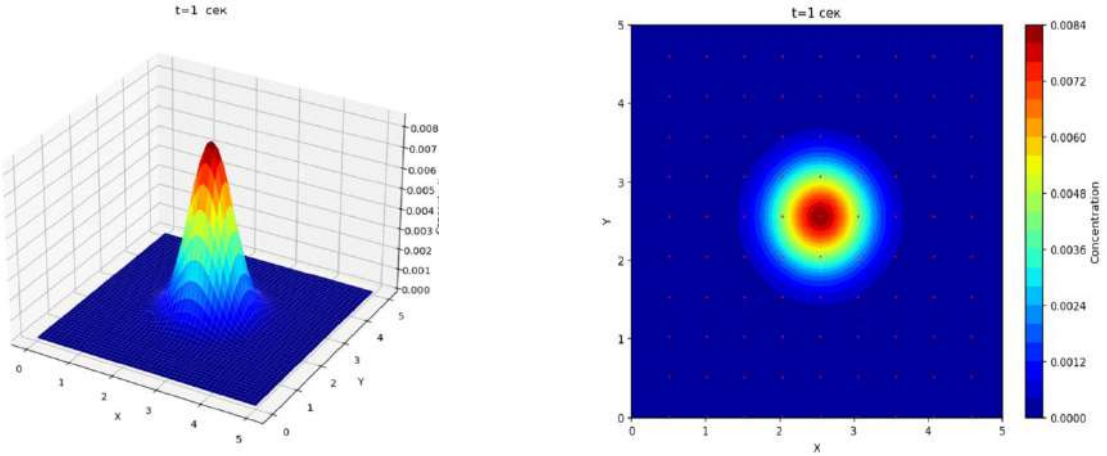


Рисунок 2. Динамика изменения функции потерь при обучении PINN

Далее представлено детальное исследование процессов распространения вредных примесей в атмосфере. Рассматриваются различные случаи с разными параметрами скорости потока:

- Отсутствие конвективного переноса ($u = 0,\ v = 0$).
- Горизонтальный перенос ($u = 1,\ v = 0$).
- Вертикальный перенос ($u = 0,\ v = 1$).
- Северо-западный ветер в Усть-Каменогорске ($u = -1,\ v = 1$).
- Северо-восточный ветер в Усть-Каменогорске ($u = 1,\ v = 1$).

Результаты моделирования представлены в виде трехмерных и двумерных графиков, которые позволяют визуализировать распределение концентрации примеси во времени. На первых двух графиках представлено распределение концентрации примеси при t = 1 секунде в условиях отсутствия конвективного переноса. На представленном рисунке 3а трехмерный график показывает симметричное распределение примеси вокруг источника, обусловленное исключительно процессом диффузии, а на рисунке 3б двумерный график отображает аналогичное распределение с изолиниями концентрации. Отсутствие направленного переноса подтверждается симметричностью картины.

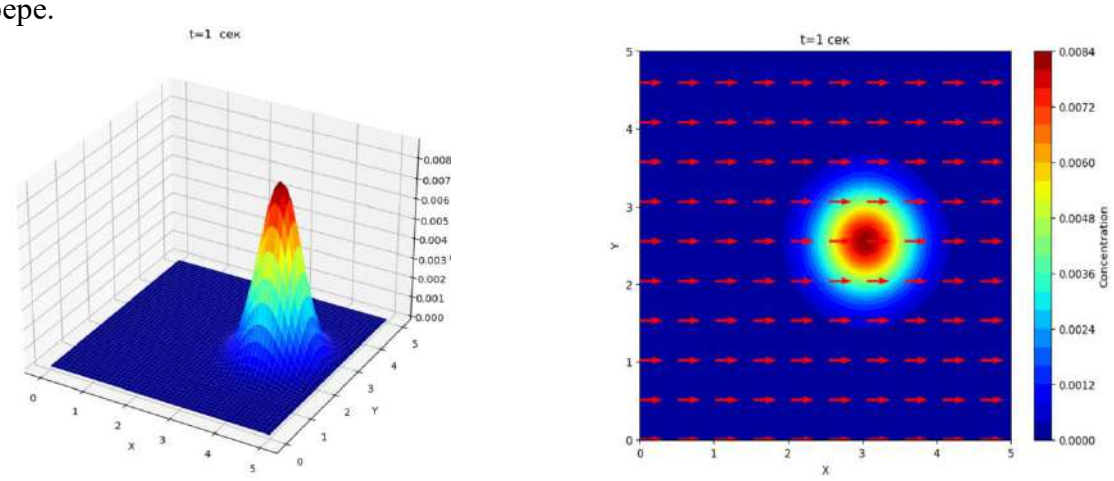


а) 3D модель *б) 2D модель*

Рисунок 3. Решение уравнения при отсутствии конвективного переноса ($u = 0,\ v = 0$)

На рисунке 4 продемонстрировано влияние горизонтального потока на распространение примеси. На изображении 4а в трехмерном представлении видно смещение пика

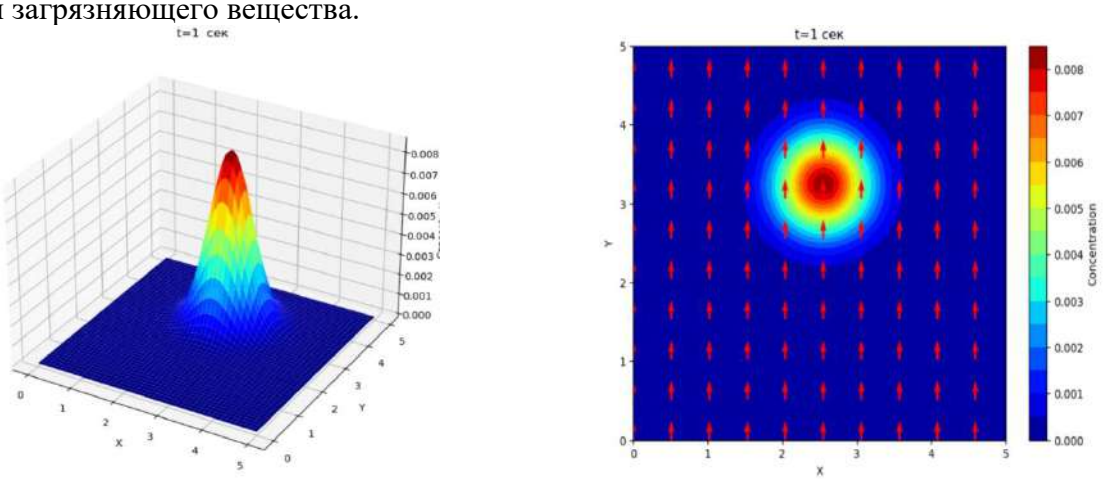
концентрации примеси вправо, что соответствует направлению потока, а на изображении 4б в двумерном представлении добавлены векторные стрелки, показывающие движение примеси в горизонтальном направлении. Это наглядно демонстрирует влияние конвективного переноса на распределение загрязняющего вещества в пространстве. Полученные результаты подтверждают физическую закономерность смещения примеси в направлении основного потока, что согласуется с теоретическими представлениями о механизме переноса загрязнений в атмосфере.



а) 3D модель *б) 2D модель*

Рисунок 4. Решение уравнения при горизонтальном переносе $(u = 1,\ v = 0)$

На 5 рисунке можно увидеть поведение системы при вертикальном движении среды. Изображение 5а позволяет увидеть, как трехмерный график демонстрирует смещение примеси вверх, что обусловлено направлением потока, а также на визуализации 5б можно заметить двумерное изображение с векторным полем подчеркивает вертикальную направленность движения загрязняющего вещества.



а) 3D модель *б) 2D модель*

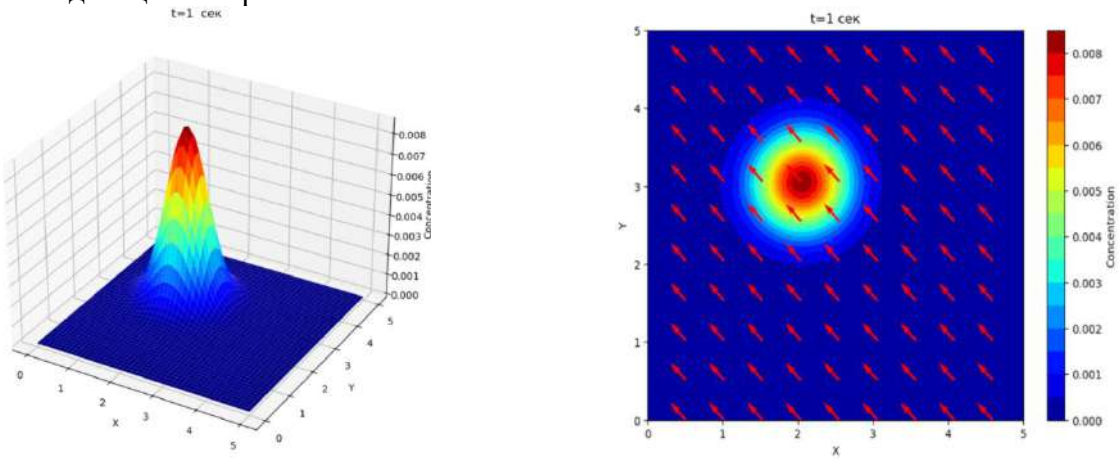
Рисунок 5. Решение уравнения при вертикальном переносе $(u = 0,\ v = 1)$

Для более реалистичной иллюстрации данного эксперимента рассмотрим пример направления ветра в Усть-Каменогорске. В этом регионе чаще всего преобладают ветра северо-западного и северо-восточного направлений. Например, 7 августа 2024 году было зафиксировано усиление северо-западного ветра со скоростью до 15 м/с. Эти атмосферные условия можно учесть в моделировании:

– Северо-западный ветер при $(u = -1,\ v = 1)$,
– Северо-восточный ветер при $(u = -1,\ v = 1)$.

Визуально можно наблюдать на 6 рисунке распределение концентрации примеси при ветре,

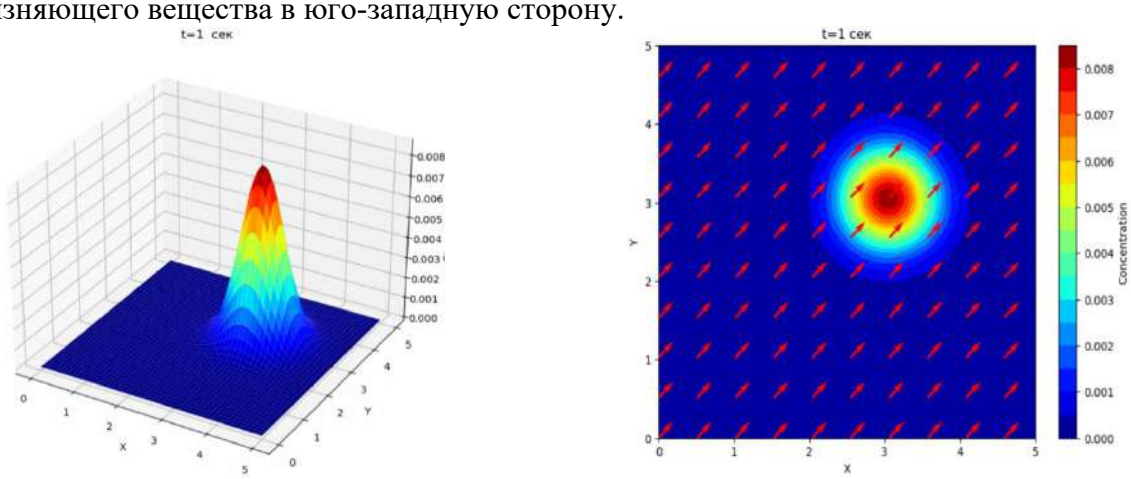
дующем с северо-запада на юго-восток. На изображении 6а трехмерный график демонстрирует смещение загрязняющего вещества в юго-восточном направлении, что соответствует направлению ветра, а в 6б рисунка представлено двумерный график с наложенными векторными стрелками иллюстрирует перенос примеси, совпадающий с преобладающим направлением потока.



а) 3D модель *б) 2D модель*

Рисунок 6. Решение уравнения при северо-западном ветре $(u = -1,\ v = 1)$

На 7 рисунке представлены результаты моделирования при ветре, дующем с северо-востока на юго-запад. Рисунок 7а это трехмерное изображение, которое демонстрирует распространение примеси в юго-западном направлении, вызванное конвективным переносом, сравнительно в 7б двумерная визуализация с векторным полем подтверждает снос загрязняющего вещества в юго-западную сторону.



а) 3D модель *б) 2D модель*

Рисунок 7. Решение уравнения при северо-восточном ветре $(u = 1,\ v = 1)$

Дискуссия

В результате исследований выявлено, что направление и скорость ветра существенно влияют на распределение загрязняющих веществ, смещая концентрационные поля в направлении потока. В условиях отсутствия конвективного переноса наблюдается симметричное распределение примеси, что подтверждает доминирующую роль диффузии. Напротив, при наличии горизонтальных и вертикальных потоках концентрация примесей смещается вдоль направления ветра, что указывает на влияние конвективного переноса. Эти результаты согласуются с теоретическими представлениями о механизмах распространения загрязнений в атмосфере. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования качества воздуха в городских условиях и оптимизации экологических

стратегий. В будущем планируется учёт вертикальных движений воздуха и химических реакций для повышения точности модели.

Заключение

В данной работе проведено численное моделирование распределения вредных примесей в атмосфере, а также применение нейронной сети PINN для уравнения переноса и диффузии. Разработанная модель учитывает ключевые физические процессы, влияющие на поведение загрязняющих веществ в атмосфере, включая конвекцию, диффузию и турбулентность. Это позволило не только смоделировать процесс переноса примесей, но и отразить их взаимодействие с окружающей средой. Проведённое моделирование подтвердило значительное влияние конвективных процессов на распространение загрязняющего вещества в атмосфере. При отсутствии конвекции примесь распространяется равномерно за счет диффузии, формируя симметричное распределение вокруг источника. В условиях направленного потока наблюдается смещение концентрационного пятна в соответствии с направлением ветра. На примере характерных условий Усть-Каменогорска были рассмотрены два типичных направления ветра – северо-западное и северо-восточное. Полученные результаты показывают, что в данных условиях примесь распространяется в юго-восточном и юго-западном направлениях соответственно, что соответствует реальным атмосферным процессам.

Таким образом, проведённое исследование позволяет количественно оценить динамику загрязняющих веществ в атмосфере, учитывать региональные особенности воздушных потоков и использовать полученные данные для прогнозирования экологических последствий. Разработанный численный подход может быть адаптирован для других регионов и условий, что делает его универсальным инструментом для анализа распространения загрязняющих примесей.

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR27100483 «Разработка прогнозно-поисковых технологий выделения рудоперспективных территорий на основе анализа данных единой платформы недропользователей «Minerals.gov.kz» с применением искусственного интеллекта и методов дистанционного зондирования Земли»

Список использованных источников

[1] Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука.,1982.-320 с.

[2] Temirbekov N., Temirbekov A., Kasenov S., Tamabay D. (2024) Numerical modeling for enhanced pollutant transport prediction in industrial atmospheric air // Journal of Sustainable Development and Environmental Engineering. Vol. 19, No. 3, 917–926. https://doi.org/10.18280/ijdne.190321

[3] Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука., 1977.-456 с.

[4] Самарский А. А. Теория разностных схем. М.: Наука., 1977.-656 с.

[5] Зализняк В. Основы вычислительной физики. Часть I. Введение в конечно-разностные методы. М.: Техносфера., 2008.-224 с.

[6] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2018.-775 p. https://www.deeplearningbook.org/

[7] Bajaj, C., McLennan, L., Andin, T., & Roy, A. (2023). Recipes for when Physics Fails: Recovering Robust Learning of Physics Informed Neural Networks // Machine Learning: Science and Technology. Vol. 4, No. 1. https://doi.org/10.1088/2632-2153/acb416

[8] Mahmoudabadbozchelou, M., Karniadakis, G. E., & Jamali, S. (2022). nn-PINNs: Non-Newtonian Physics-Informed Neural Networks for Complex Fluid Modeling // Soft Matter. Vol. 18, No. 1, 172-185. https://doi.org/10.1039/D1SM01298C

[9]Cuomo, S., Giampaolo, F., Raissi, M., & Wang, S. (2022). Scientific Machine Learning through Physics-Informed Neural Networks: Where we are and What's next // Journal of Computational and Applied Mathematics. Vol. 92, No. 88. https://doi.org/10.1007/s10915-022-01939-z

[10] Lu L., Karniadakis G. DeepXDE Documentation [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: https://deepxde.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 17.01.2025)

References

[1] Marchuk G.I. (1982) Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhajushchej sredy [Mathematical modeling in environmental problems]. Moskva: Nauka, 320 p. (In Russian)

[2] Temirbekov N., Temirbekov A., Kasenov S., Tamabay D. (2024) Numerical modeling for enhanced pollutant transport prediction in industrial atmospheric air // Journal of Sustainable Development and Environmental Engineering. Vol. 19, No. 3, 917–926. https://doi.org/10.18280/ijdne.190321

[3] Marchuk G.I. (1977) Metody vychislitel'noj matematiki [Methods of computational mathematics]. Moskva: Nauka, 456 p. (In Russian)

[4] Samarskij A.A. (1977) Teorija raznostnyh skhem [Theory of difference schemes]. Moskva: Nauka, 656 p. (In Russian)

[5] Zaliznyak V. (2008) Osnovy vychislitel'noj fiziki. Chast' I. Vvedenie v konechno-raznostnye metody [Fundamentals of computational physics. Part I. Introduction to finite-difference methods]. Moskva: Tekhnosfera, 224 p. (In Russian)

[6] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2018.-775 p. https://www.deeplearningbook.org/

[7] Bajaj, C., McLennan, L., Andin, T., & Roy, A. (2023). Recipes for when Physics Fails: Recovering Robust Learning of Physics Informed Neural Networks // Machine Learning: Science and Technology. Vol. 4, No. 1. https://doi.org/10.1088/2632-2153/acb416

[8] Mahmoudabadbozchelou, M., Karniadakis, G. E., & Jamali, S. (2022). nn-PINNs: Non-Newtonian Physics-Informed Neural Networks for Complex Fluid Modeling // Soft Matter. Vol. 18, No. 1, 172-185. https://doi.org/10.1039/D1SM01298C

[9] Cuomo, S., Giampaolo, F., Raissi, M., & Wang, S. (2022). Scientific Machine Learning through Physics-Informed Neural Networks: Where we are and What's next // Journal of Computational and Applied Mathematics. Vol. 92, No. 88. https://doi.org/10.1007/s10915-022-01939-z

[10] Lu L., Karniadakis G. DeepXDE Documentation [Electronic resource]. – 2019. – URL: https://deepxde.readthedocs.io/en/latest/ (Accessed: 17.01.2025)

МРНТИ 27.35.63

10.51889/2959-5894.2025.91.3.005

А. Муссабек[1], А. Рахимжанова [1*], А. Кызырханов[1], Б. Алимбаева[2]

[1]Astana IT University, Астана, Казахстан
[2]Университет Международного Бизнеса имени К. Сагадиева, г.Алматы, Казахстан
[*]*e-mail: a.rakhymzhanova@astanait.edu.kz*

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД SNTHERM И ML К МОДЕЛИРОВАНИЮ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ТАЯНИЯ В ВКО

Аннотация

В настоящем исследовании представлена интеграция физически обоснованной модели Snow Thermal Model (SNTHERM) с методами машинного обучения для симуляции и анализа сезонной динамики снежного покрова в предгорной зоне Восточного Казахстана. Модельный подход был реализован на примере метеостанции Шемонаиха, расположенной в паводкоопасном районе с резко континентальным климатом. В качестве метеорологического форсинга использовались почасовые данные реанализа ERA5-Land, что позволило провести высокоточное моделирование процессов накопления, трансформации и таяния снега в течение зимнего сезона 2022-2023 гг. Результаты моделирования, включая водный эквивалент снега (SWE), глубину снежного покрова и температурные профили, были интерполированы на суточный шаг и использованы для извлечения ключевых индикаторов снежного цикла, таких как даты максимального значения SWE, начала устойчивого таяния при положительных температурах и момента полного исчезновения снежного покрова. Для идентификации и количественной оценки фаз таяния применялись методы анализа временных рядов и алгоритмы машинного обучения (Random Forest, XGBoost, логистическая регрессия, SVM, KNN). Модель SNTHERM обеспечила высокую точность воспроизведения глубины снега по сравнению с наблюдениями Казгидромета ($R^2 = 0.91$), а ансамблевые алгоритмы показали лучшие результаты классификации паводкоопасных условий (Precision = 1.0, Recall = 0.8). Полученные результаты подтверждают потенциал предлагаемого подхода для моделирования снеготаяния и оценки гидрологических рисков в континентальных регионах с ограниченной сетью наблюдений.

Ключевые слова: SNTHERM, снежный покров, снеготаяние, температура, машинное обучение, водозапас, метеомоделирование, паводковый риск.

А. Муссабек[1], А.Ж. Рахимжанова [1], А. Кызырханов[1], Б.К. Алимбаева[2]
[1]Astana IT University, Астана, Қазақстан
[2]Қ. Сағадиев атындағы Халықаралық Бизнес Университеті, Алматы қ., Қазақстан

SNTHERM ЖӘНЕ ML-ТӘСІЛДЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ МЕН ЕРУІН МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа

Бұл зерттеуде Шығыс Қазақстанның таулы аймағындағы қар жамылғысының маусымдық динамикасын модельдеу және талдау мақсатында физикалық негізделген Snow Thermal Model (SNTHERM) моделі мен машиналық оқыту әдістерін біріктіру ұсынылады. Модельдік тәсіл су тасқыны қаупі жоғары, климаты күрт континентальды Шемонаиха метеостанциясы мысалында іске асырылды. Метеорологиялық форсинг ретінде ERA5-Land қайта талдауының сағаттық деректері пайдаланылып, 2022-2023 жылғы қысқы маусымда қардың жиналуы, өзгеруі және еру үдерістері жоғары дәлдікпен модельденді. Модель нәтижелері (қар суының баламасы - SWE, қар қалыңдығы және температуралық профильдер) тәуліктік қадамға интерполяцияланып, SWE-нің ең жоғарғы мәні тіркелген күн, оң температура жағдайындағы тұрақты ерудің басталу уақыты және қар жамылғысының толық жойылу уақыты сияқты қар циклінің негізгі индикаторларын анықтауға қолданылды. Еру фазаларын анықтау және сандық бағалау үшін уақыттық қатарларды талдау әдістері және машиналық оқыту алгоритмдері (Random Forest, XGBoost, логистикалық регрессия, SVM, KNN) пайдаланылды. SNTHERM моделі Қазгидромет бақылауларымен салыстырғанда қар қалыңдығын жоғары дәлдікпен қайта құрды ($R^2 =$

0.91), ал ансамбльдік алгоритмдер паводкоқауіпті жағдайларды жіктеуде ең жақсы нәтижелер көрсетті (Precision = 1.0, Recall = 0.8). Алынған нәтижелер ұсынылған тәсілдің қар еруін модельдеу және гидрологиялық тәуекелдерді бағалау үшін, бақылау желісі шектеулі континентальды өңірлерде қолдануға болатынын көрсетеді.

Түйін сөздер: SNTHERM, қар жамылғысы, қардың еруі, машиналық оқыту, SWE, метеомодельдеу, су тасқыны қаупі.

A. Mussabek[1], A. Rakhimzhanova [1], A. Kyzyrkanov, B. Alimbayeva[2]
[1]Astana IT University, Astana, Kazakhstan
[2]University of International Business, Almaty, Kazakhstan

HYBRID SNTHERM-MACHINE LEARNING APPROACH TO SNOWPACK AND MELT MODELING IN EAST KAZAKHSTAN

Abstract

This study presents the integration of the physically based Snow Thermal Model (SNTHERM) with machine learning methods to simulate and analyze the seasonal dynamics of the snowpack in the foothill zone of East Kazakhstan. The modeling approach was implemented for the Shemonaikha meteorological station, located in a flood-prone area with a sharply continental climate. Hourly ERA5-Land reanalysis data were used as meteorological forcing, enabling high-precision simulation of snow accumulation, transformation, and melt processes during the 2022-2023 winter season. Model outputs - including snow water equivalent (SWE), snow depth, and temperature profiles-were interpolated to a daily time step and applied to extract key snow cycle indicators: the date of maximum SWE, the onset of sustained melt under positive temperatures, and the complete disappearance of the snowpack. Time series analysis methods and machine learning algorithms (Random Forest, XGBoost, logistic regression, SVM, KNN) were used to identify and quantify melt phases. The SNTHERM model reproduced snow depth with high accuracy compared to Kazhydromet observations ($R^2 = 0.91$), while ensemble algorithms achieved the best results in classifying flood-prone conditions (Precision = 1.0, Recall = 0.8). The findings confirm the potential of the proposed approach for snowmelt modeling and hydrological risk assessment in continental regions with limited observation networks.

Keywords: SNTHERM, snowpack, snowmelt, temperature, machine learning, snow water equivalent, meteorological modeling, flood risk.

1 Введение

В работе рассмотрено применение интеграции физической модели SNTHERM и методов машинного обучения для решения задачи моделирования снежного покрова и фаз его таяния. Проведена валидация модели и сравнительный анализ алгоритмов классификации паводкоопасных условий. Показано, что использование ансамблевых методов повышает надёжность прогнозирования и расширяет возможности оценки гидрологических рисков в континентальных регионах.

Снежный покров является ключевым компонентом гидрологического цикла в горных и высокоширотных регионах, выполняя функцию естественного резервуара для сезонного накопления и последующего поступления воды в водосборные системы [1]. Это особенно актуально для территорий со снежным режимом питания рек, где весенний сток формируется преимущественно за счёт таяния снега [2]. Водный эквивалент снежного покрова (SWE), определяемый как количество воды, которое высвободилось бы при мгновенном таянии снега, является основным индикатором, используемым водохозяйственными структурами для оценки содержания влаги в снежном покрове и межрегионального сравнения запасов воды [3,4]. Согласно последним исследованиям, изменение климата уже приводит и будет продолжать приводить к значительному снижению как среднего, так и максимального годового SWE, что влечёт за собой существенные последствия для поверхностного и подземного стока, усложняя задачи прогнозирования и управления водными ресурсами [5-8]. В то же время, получение точных оценок значений SWE, а также времени наступления пиковых значений и их устойчивости в различных горных системах, остаётся сложной

научной задачей [9]. В связи с этим разработка новых подходов, обеспечивающих непрерывную, высокоточную пространственно-временную оценку SWE в горных регионах, приобретает стратегическое значение как для науки, так и для практического водного управления.

Для моделирования сезонной динамики снежного покрова в настоящем исследовании была использована модель SNTHERM - одномерная физически обоснованная модель вертикального распределения температуры, водного эквивалента и фазового состояния в снежной толще. Разработанная Jordan (1991), модель SNTHERM решает уравнения теплопроводности и учета массы с учётом фазовых переходов, радиационного баланса, конвективного и турбулентного теплообмена, что позволяет получать детальные оценки таких параметров, как SWE, глубина снежного покрова, температура снега, а также тепловой и влаговый поток на границе «снег-почва» [10].

В отличие от эмпирических моделей, основанных на температурных индексах (например, Degree-Day Factor, DDF), SNTHERM не требует калибровки по местным наблюдениям и может применяться в условиях отсутствия обширных полевых данных. Температурные модели, включая DDF, широко используются благодаря своей простоте, но предполагают линейную зависимость таяния снега от температуры воздуха, что ограничивает их точность при наличии сложной энергетики поверхности [11]. Например, такие модели не учитывают влияние радиационного потока, латентного тепла и теплопередачи между слоями снега.

Физические модели, подобные SNTHERM и Crocus, демонстрируют более высокую точность в определении сроков начала таяния, формирования ледяных корок и оценки влагосодержания снега, особенно в условиях переменной облачности, ветра и суточных колебаний температуры. При этом, валидация модели SNTHERM, проведённая в различных климатических условиях - от Альп до Восточной Азии - показала, что она способна воспроизводить глубину снега и SWE с ошибками менее 5 см и 10 мм соответственно при наличии корректных входных данных [12, 13]. В контексте Восточного Казахстана, где снежный покров формируется в условиях континентального климата и ограниченной наблюдательной сети, SNTHERM представляет собой особенно ценный инструмент, позволяющий получить реалистичную картину накопления и таяния снега, включая определение даты пикового SWE и выявление паводкоопасных периодов. В данном исследовании SNTHERM также используется как физическая основа для формирования признаков, применяемых в моделях машинного обучения при классификации паводковых условий.

В последние годы наблюдается стремительное развитие методов машинного и глубокого обучения (ML и DL), а также соответствующих аппаратных технологий, что открыло новые перспективы их применения в задачах геофизического и гидрологического моделирования [14]. Методы машинного обучения уже продемонстрировали эффективность при оценке водного эквивалента снега (SWE), в том числе на основе реанализа и данных наблюдений. Например, Snauffer и др. использовали искусственные нейронные сети для предсказания SWE, показав улучшенное согласование с наблюдаемыми данными по сравнению с гидрологической моделью VIC [15]. Подобные подходы, использующие данные о температуре, осадках, глубине снега и другие характеристики, также успешно применялись в исследованиях [16,17]. Алгоритмы случайного леса применялись, в частности, для коррекции систематических ошибок гридированных продуктов SWE [18].

На фоне этих достижений остаётся существенный географический пробел - недостаточная представленность территорий Центральной Азии и Восточного Казахстана в таких исследованиях. В условиях нехватки плотной сети наблюдений, сочетание физически обоснованных моделей, таких как SNTHERM, и методов ML становится особенно актуальным. Подтверждением высокой применимости SNTHERM в азиатском регионе служит недавняя работа по его валидации в Китае [12], где при использовании наблюдаемых данных

о глубине снега и температуре удалось достичь точности 2-4 см RMSE для ежедневной глубины снежного покрова.

Изучение сезонной динамики снежного покрова имеет решающее значение для оценки гидрологических рисков в условиях континентального климата Восточного Казахстана, где весенние паводки преимущественно инициируются интенсивным снеготаянием. Накопление и последующее таяние снега, в сочетании с температурными и радиационными условиями, определяют начало и продолжительность активной фазы водоотдачи, потенциально приводящей к резким паводковым событиям. Несмотря на высокую значимость данного процесса, в регионе по-прежнему недостаточно применяются физически обоснованные модели и современные методы прогнозирования, особенно в части интеграции моделирования и анализа данных.

Основная цель настоящего исследования - разработка и апробация комплексного подхода к моделированию снежного покрова и прогнозированию паводкоопасных условий с использованием физической модели SNTHERM и алгоритмов машинного обучения на примере территории метеостанции Шемонаиха в Восточном Казахстане. Впервые для данного региона осуществляется численное моделирование сезонной эволюции снежного покрова с применением модели SNTHERM, инициализированной метеорологическими данными реанализа ERA5-Land. Это позволило получить высокоточные оценки глубины снега, водного эквивалента (SWE), а также компонентов теплового баланса в толще снежного покрова и на его границе с подстилающей поверхностью. На основе результатов моделирования были идентифицированы ключевые индикаторы фаз снеготаяния - дата максимального значения SWE, начало устойчивого таяния и момент окончательного исчезновения снега. Отдельное внимание уделено анализу энергетических потоков (радиация, скрытая и чувствительная теплота), что позволило физически интерпретировать процессы, предшествующие резкому снижению снегозапаса и потенциальному формированию паводков.

Вторая часть исследования направлена на реализацию прогностического подхода на основе методов машинного обучения. Построены и протестированы модели автоматической классификации паводкоопасных условий с использованием алгоритмов логистической регрессии, случайного леса, XGBoost, SVM и KNN. Обучение проводилось на основе многолетних ERA5-данных с применением методов балансировки классов (SMOTE). Оценка качества моделей по метрикам F1-score, AUC и точности показала наилучшие результаты для ансамблевых алгоритмов (Random Forest и XGBoost), что подтверждает их эффективность в задачах оперативного мониторинга и прогнозирования.

Таким образом, настоящее исследование впервые демонстрирует интеграцию физического моделирования снежного покрова и алгоритмов машинного обучения для оценки паводковых рисков в Восточном Казахстане.

Полученные результаты

– подтверждают применимость модели SNTHERM в условиях резко континентального климата;

– обосновывают возможность использования физически интерпретируемых индикаторов (SWE, фазы таяния) в качестве признаков для ML-моделей;

– расширяют инструментарий гидрологического прогнозирования и закладывают основу для внедрения гибридных подходов к мониторингу и предупреждению паводков в Центральной Азии.

2. Методология исследования

2.1. Область исследования и данные

Настоящее исследование проводится для района метеостанции Шемонаиха, расположенной в Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. Географически станция размещена в предгорной зоне на высоте около 280 м над уровнем моря, вблизи

слияния нескольких малых и средних водотоков бассейна реки Иртыш. Регион характеризуется резко континентальным климатом с холодной, продолжительной зимой, частыми оттепелями и интенсивным снеготаянием в весенний период. Среднегодовая температура составляет около +4 °C, при этом зимние минимумы регулярно опускаются ниже -25 °C. Годовое количество осадков варьируется в пределах 350-450 мм, причём значительная их часть выпадает в зимне-весенний период преимущественно в виде снега.

Рельеф местности преимущественно холмистый, с развитой системой микродренажа, способствующей неравномерному перераспределению снежного покрова и накоплению осадков в понижениях. Эти особенности, в сочетании с частично мерзлыми почвами и высоким уровнем влагосодержания в предвесенний период, формируют условия для активного поверхностного стока при таянии снега. В результате, территория Шемонаихи исторически относится к числу наиболее паводкоопасных районов Восточного Казахстана, особенно в марте-апреле, когда наблюдается сочетание положительных температур и интенсивного снеготаяния.

Выбор станции Шемонаиха в качестве основной площадки моделирования обусловлен как её высокой подверженностью паводковым рискам, так и наличием разностороннего и непрерывного набора наблюдательных данных, предоставляемых РГП «Казгидромет». В отличие от других станций региона, здесь доступны высококачественные данные по глубине снежного покрова, температуре воздуха и другим ключевым метеорологическим параметрам, охватывающим полный зимний период. Кроме того, данная работа представляет собой первое применение физически-обоснованной модели SNTHERM в условиях Восточного Казахстана. Это делает Шемонаиху оптимальной референтной точкой для начальной валидации и адаптации модели к региональной специфике. Результаты моделирования на данном этапе позволят оценить способность SNTHERM точно воспроизводить процессы накопления, трансформации и таяния снежного покрова в континентальном климате и подготовят основу для последующего расширения модели на соседние гидрологические участки.

Рисунок 1. Схема расположения метеостанции Шемонаиха с указанием рельефа, водотоков и гидрографических границ исследуемого района

2.2. Сбор и подготовка данных

Эффективное моделирование динамики снежного покрова требует как качественных метеорологических входных данных, так и надёжной эталонной информации с наземных наблюдений для валидации и оценки точности модели. Это особенно важно для регионов с выраженной межгодовой изменчивостью снежного режима, таких как Восточный Казахстан, где снег играет ключевую роль в формировании весеннего стока и паводков.

В рамках данного исследования использовались два взаимодополняющих источника данных

-наблюдения с наземной метеостанции, предоставленные РГП «Казгидромет» - национальной гидрометеорологической службой Республики Казахстан (https://www.kazhydromet.kz/);

-метеорологические данные реанализа ERA5-Land, разработанные Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) в рамках Copernicus Climate Data Store (https://cds.climate.copernicus.eu).

Наблюдаемые данные Казгидромета послужили основой для валидации результатов моделирования, выполненного с помощью модели SNTHERM. В частности, были использованы ежедневные значения глубины снежного покрова, температуры воздуха и количества осадков за зимний сезон 2022-2023 гг. По метеостанции Шемонаиха. Данная станция была выбрана, поскольку именно для неё доступна наиболее полная и непрерывная наблюдательная информация, что особенно важно в контексте первого применения модели SNTHERM для Восточного Казахстана. Кроме того, данные Казгидромета соответствуют стандартам Всемирной метеорологической организации (ВМО), что гарантирует надёжность и сопоставимость результатов [19]. Данные реанализа ERA5-Land были использованы в качестве основного источника метеорологических переменных для инициализации и управления моделью SNTHERM. Реанализ включает почасовые значения температуры воздуха, влажности, скорости ветра, приходящей и исходящей радиации, а также интенсивности и типа осадков [20]. Основное преимущество данного источника заключается в его пространственной полноте и непрерывности, что делает его особенно ценным для регионов с ограниченной сетью наземных станций. Несмотря на возможные локальные отклонения, данные ERA5-Land зарекомендовали себя как устойчивый источник информации для моделирования снежного покрова в различных климатических условиях [21, 12].

Интеграция наблюдаемых и реанализных данных позволяет одновременно обеспечить физическую реалистичность моделируемых процессов и объективную оценку точности модели. Такой комбинированный подход создаёт надёжную основу как для локального анализа динамики снежного покрова, так и для последующего использования результатов в системах прогнозирования паводков и оценки гидрологических рисков.

2.3. Модель SNTHERM

Модель SNTHERM (Snow Thermal Model), разработанная Jordan (1991), представляет собой одномерную энергетически сбалансированную модель, описывающую тепловую и фазовую эволюцию снежного покрова с учётом радиационного и турбулентного теплообмена, фазовых переходов воды, инфильтрации, испарения и накопления осадков [9]. Модель используется для прогнозирования распределения температуры, фазового состава, влажности и плотности снега во времени и по вертикали, а также для расчёта глубины снега, водного эквивалента (SWE) и теплового взаимодействия снега с подстилающей поверхностью.

В основе модели лежит уравнение теплопроводности, описывающее вертикальное распределение температуры в слое снега с переменными физическими характеристиками

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho c}\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right),$$

где T - температура (К), ρ- плотность снега (кг/м³), c - удельная теплоёмкость (Дж/кг·К), k- эффективная теплопроводность слоя (Вт/м·К), z - вертикальная координата (м), t -время. На границе снег-атмосфера реализуется баланс энергии, включающий радиационные и турбулентные потоки, а также тепловой поток из почвы

$$Q_m = R_n + H + LE + G,$$

где Q_m- энергия, доступная для фазового перехода (Вт/м²), R_n- чистый радиационный поток (кратко- и длинноволновая компоненты), H - чувствительный тепловой поток (обусловлен

температурным градиентом между снегом и воздухом), LE- скрытая теплота испарения/конденсации водяного пара, G - тепловой поток из почвы.

Модель принимает метеорологические данные с высоким временным разрешением (в данном исследовании -1 час), таких как температура воздуха на высоте 2 м, относительная влажность, скорость ветра, приходящая и исходящая радиация, количество и тип осадков. Входные данные были получены из реанализа ERA5-Land, агрегированы и приведены к формату SNTHERM, включая температурное разделение осадков на жидкие и твёрдые фазы (граница: 0°C). Конфигурация модели включала 3-сантиметровую сетку по вертикали, с динамическим обновлением свойств каждого слоя (плотность, водосодержание, температура). Начальные условия по температуре снега, состоянию почвы и влажности задавались на основе климатических данных и литературы. Расчёты проводились за период с 1 октября 2022 года по 30 апреля 2023 года, с временным шагом 3600 секунд.

Результаты моделирования включают:

- профиль температуры в снежной толще и на границе снег–почва;
- глубину снежного покрова;
- водный эквивалент снега (SWE);
- массу жидкой воды и льда в каждом слое;
- энергетические потоки: радиационный, скрытый, чувствительный, тепловой поток в почву.

2.4. Обработка выходов модели SNTHERM

Результаты, полученные с помощью модели SNTHERM, представлены в виде почасовых временных рядов, описывающих сезонную эволюцию снежного покрова и связанного с ним теплового баланса. Для целей анализа и оценки гидрологических рисков данные были интерполированы до суточного временного разрешения, агрегированы и трансформированы с целью выделения ключевых характеристик снеготаяния. Для численного моделирования использовались два типа данных. Входными параметрами для модели SNTHERM послужили метеорологические данные из реанализа ERA5-Land, включая температуру воздуха, влажность, скорость ветра, радиационные потоки и осадки. На основе этих метеоусловий модель производила расчёты тепловых и фазовых процессов в снежной толще. В результате были получены подробные выходные данные- такие как глубина снежного покрова, водный эквивалент снега (SWE), температурный профиль, фазовое состояние, плотность и компоненты энергетического баланса. Таблица 1 представляет сводную информацию о параметрах, участвующих в моделировании и последующем анализе, с указанием их единиц измерения и источников ERA5-Land (входные данные) и SNTHERM (модельные результаты).

Таблица 1. Основные параметры, используемые в моделировании и анализе

Тип данных	*Параметр*	*Единицы*	*Источник*
Метеоусловия	*Температура воздуха (2 м)*	*°C*	*ERA5-Land*
	Относительная влажность	*%*	*ERA5-Land*
	Скорость ветра	*м/с*	*ERA5-Land*
	Коротковолновая радиация	*W/m²*	*ERA5-Land*
	Длинноволновая радиация	*W/m²*	*ERA5-Land*
	Осадки и их фазовое состояние	*мм/ч*	*ERA5-Land+ критерий температуры*
Результаты SNTHERM	*Глубина снега*	*м*	*SNTHERM*
	SWE	*мм*	*SNTHERM*
	Температура снега и почвы	*K*	*SNTHERM*
	Радиационный и тепловой потоки	*W/m²*	*SNTHERM*

Для количественного описания фаз сезонного снежного цикла были определены три ключевых индикатора:

1. Дата максимального значения SWE - отражает пик накопления влаги в снеге

$$t_{SWE_{max}} = \arg\max_{t} SWE(t) .$$

2. Дата начала фазы активного таяния - определяется как первая дата, при которой наблюдается устойчивое снижение SWE на фоне положительных температур

$$t_{melt} = \min\{t: SWE(t) < SWE(t-1) < SWE(t-2) \wedge T_{air}(t) > 0\}.$$

Этот критерий позволяет исключить кратковременные колебания и точно зафиксировать начало таяния.

3. Продолжительность снежного периода - временной интервал от установления устойчивого снежного покрова до его окончательного исчезновения

$$\triangle t_{snow} = t_{end} - t_{start} ,$$

где t_{start}- дата устойчивого превышения $SWE > 10$ мм, t_{end}- дата окончательного исчезновения снега ($SWE \approx 0$ мм).

Указанные показатели обеспечивают физически обоснованное описание сезонных изменений в снежном покрове и применяются далее как количественные признаки в задачах оценки паводкоопасных условий и построения моделей машинного обучения. Также они используются для валидации и сопоставления с наблюдаемыми данными Казгидромета.

2.5. Методы машинного обучения

В дополнение к физическому моделированию, в исследовании реализована система машинного обучения для автоматического выявления метеорологических условий, потенциально предшествующих паводковым событиям. Обработка охватывала данные с почасовым разрешением за 2022-2023 годы, включающие ключевые атмосферные параметры: температуру воздуха, влажность, радиационные и осадочные характеристики. Для повышения информативности были рассчитаны производные признаки, такие как сумма осадков за 24 часа и календарные индикаторы. На их основе была сформирована бинарная целевая переменная, отражающая вероятность возникновения паводкоопасных условий. С целью повышения стабильности обучения и равномерности классов применялся метод синтетического увеличения выборки SMOTE. Для классификации были использованы пять широко применяемых алгоритмов, таких как логистическая регрессия, случайный лес, метод опорных векторов, метод k ближайших соседей и XGBoost. Оценка производительности проводилась с использованием стандартных метрик бинарной классификации, включая точность (accuracy), полноту (recall), F1-оценку и AUC-ROC.

2.5.1 Подготовка обучающей выборки

Обучающая выборка формировалась на основе почасовых метеорологических наблюдений за период с января 2022 по декабрь 2023 года. Исходные данные включали как непосредственно измеренные атмосферные параметры, так и производные величины, отражающие суточные и сезонные особенности погодных условий. Часть переменных также была получена из результатов физического моделирования модели SNTHERM, включая водный эквивалент снежного покрова (SWE), дату начала таяния и продолжительность снежного периода. Интеграция этих параметров позволила дополнить традиционные метеопризнаки физически интерпретируемыми характеристиками, описывающими фазу снеготаяния.

Для повышения чувствительности модели к экстремальным погодным явлениям были рассчитаны агрегированные признаки, включая скользящую сумму осадков за 24 часа и календарные переменные, такие как месяц и день года. Также были добавлены синтетические

признаки, отражающие энергетические и снежные характеристики, сгенерированные моделью SNTHERM. Это позволило получить более полную картину сезонной динамики снежного покрова и гидрометеорологических условий.

Целевая переменная представляла собой бинарный индикатор паводкоопасных условий. Метка «опасность» присваивалась наблюдениям, в которых одновременно выполнялись следующие метеорологические критерии: сумма осадков за предыдущие 24 часа превышала 10 мм, относительная влажность воздуха была выше 80 %, а температура воздуха - положительной (выше 0°C). Подобные условия рассматриваются в научной литературе как благоприятные для возникновения поверхностных паводков [22, 23].

Поскольку выборка характеризовалась выраженным дисбалансом классов, что типично для задач, связанных с редкими природными явлениями, был применён метод синтетического увеличения числа примеров меньшинства. Для этого использовалась техника SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique), которая создаёт новые синтетические примеры путём линейной интерполяции между ближайшими соседями в пространстве признаков [24]. Это позволило сбалансировать обучающую выборку и обеспечить стабильность дальнейшего процесса обучения классификаторов.

Для подготовки моделей классификации исходный набор данных был разделён на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80:20 с использованием стратифицированного подхода. Такой метод обеспечивает сохранение исходного соотношения классов, включая редкие положительные наблюдения, как в обучающей, так и в тестовой подвыборке. Это особенно важно в задачах с выраженным дисбалансом, так как позволяет провести устойчивую и статистически корректную оценку модели на ранее не использованных данных.

2.5.2 Алгоритмы классификации

Для классификации условий, потенциально приводящих к паводкам, были применены пять распространённых алгоритмов машинного обучения, реализующих различные принципы обучения и обобщения. Это позволило провести сравнительный анализ моделей с различной архитектурой и устойчивостью к переобучению.

Логистическая регрессия представляет собой базовую линейную модель, широко используемую в задачах бинарной классификации. Она оценивает вероятность принадлежности к классу на основе линейной комбинации признаков и применяет логистическую функцию активации. Она вычисляется следующим выражением

$$P(y = 1|\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + \exp\left(-(\beta_0 + \beta^{\mathrm{T}}\mathbf{x})\right)},$$

где $\boldsymbol{x}$ - вектор признаков, β - коэффициенты регрессии, β_0 - смещение. Метод хорошо интерпретируем и часто используется в качестве базовой модели для сравнения более сложных алгоритмов [25].

Случайный лес (Random Forest) - ансамблевый метод, основанный на построении множества решающих деревьев с последующим голосованием. Финальное предсказание получается по большинству голосов

$$\hat{y} = mode\{h_1(\boldsymbol{x}), h_2(\boldsymbol{x}), \dots, h_N(\boldsymbol{x})\},$$

где $h_i(x)$ - предсказание *i*-го дерева. Метод устойчив к шуму и переобучению, особенно при наличии большого числа нерелевантных признаков, и хорошо справляется с задачами классификации в условиях ограниченного количества данных [26].

Метод опорных векторов (SVM) классифицирует данные, находя гиперплоскость, максимизирующую зазор между классами. Задача оптимизации при обучении SVM формулируется следующим образом

$$\min_{\omega,b} \frac{1}{2}\left|\left|\omega\right|\right|^2 \quad \text{при условии } y_i(\omega^T x_i + b) \geq 1,\ \forall\, i = 1, \ldots, n,$$

где ω и b - параметры модели. В данном исследовании применялась линейная версия SVM, обеспечивающая высокую точность на линейно разделимых множествах и устойчивость к переобучению в условиях высокой размерности [27].

Метод k ближайших соседей (KNN) относится к инстанс-ориентированным подходам и осуществляет классификацию на основе метрик расстояния между наблюдениями. Предсказание осуществляется по наиболее часто встречающемуся классу

$$\hat{y} = mode\{y_i : \boldsymbol{x_i} \in \mathcal{N}_k(\boldsymbol{x})\}.$$

Расстояние между объектами вычисляется, как правило, по евклидовой метрике

$$d(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (x_j - x_{ij})^2}.$$

Метод не требует фазы обучения в традиционном смысле и чувствителен к масштабированию и плотности распределения классов в признаковом пространстве [28].

XGBoost представляет собой градиентный бустинг деревьев решений и считается одним из наиболее производительных алгоритмов в задачах бинарной классификации. Эта функция задаётся выражением

$$\mathcal{L}^t = \sum_{i=1}^{n} l\left(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)\right) + \Omega(f_t),$$

где регуляризатор имеет вид

$$\Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2}\lambda \sum_{j=1}^{T} \omega_j^2.$$

Здесь T- количество листьев дерева, ω_j - значения в листьях, γ, λ - гиперпараметры регуляризации. Метод включает регуляризацию, автоматическую обработку пропущенных значений и поддержку параллельных вычислений, что делает его устойчивым к переобучению и подходящим для сложных наборов данных [29].

Все алгоритмы реализовывались с использованием стандартных параметров, за исключением случаев, где было необходимо предотвратить переобучение или скорректировать баланс между точностью и полнотой. Их эффективность сравнивалась по метрикам AUC, F1-score, точности и полноте на валидационных подвыборках.

2.5.3 Метрики оценки качества классификации

Для количественной оценки качества классификационных моделей использовались стандартные метрики бинарной классификации, позволяющие учитывать как точность предсказаний, так и способность модели обнаруживать редкие, но критически важные события. Это особенно актуально при анализе паводкоопасных условий, которые характеризуются высокой степенью дисбаланса классов.

Accuracy отражает долю правильно классифицированных наблюдений от общего количества примеров

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN},$$

где TP - количество истинно положительных предсказаний, TN - истинно отрицательных, FP - ложно положительных, FN - ложно отрицательных.

Precision (точность) измеряет долю корректно предсказанных положительных классов среди всех наблюдений, отнесённых моделью к этому классу

$$Precision = \frac{TP}{TP + FN}.$$

Recall (полнота или чувствительность) показывает, какая доля реальных положительных случаев была правильно распознана моделью

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}.$$

F1-score представляет собой гармоническое среднее между precision и recall и широко используется при анализе несбалансированных данных

$$F_1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}.$$

AUC-ROC (площадь под ROC-кривой) отражает способность модели различать классы на разных уровнях порогов. Значение AUC, близкое к единице, свидетельствует о высоком качестве классификации независимо от выбранного порога.

Совокупное использование этих метрик позволило провести комплексную оценку эффективности моделей в условиях высокой асимметрии между классами, обеспечив надёжную основу для сравнительного анализа алгоритмов.

3. Результаты исследования

3.1. Результаты моделирования SNTHERM

На первом этапе валидации модель SNTHERM была применена к метеостанции Шемонаиха с целью оценки способности модели воспроизводить сезонную эволюцию снежного покрова. Полученные значения глубины снега были сопоставлены с наблюдениями Казгидромета. На Рисунке 2 представлены данные за период ноябрь 2022 - апрель 2023 года, где линия отображает смоделированную глубину, а треугольники - наблюдаемые значения.

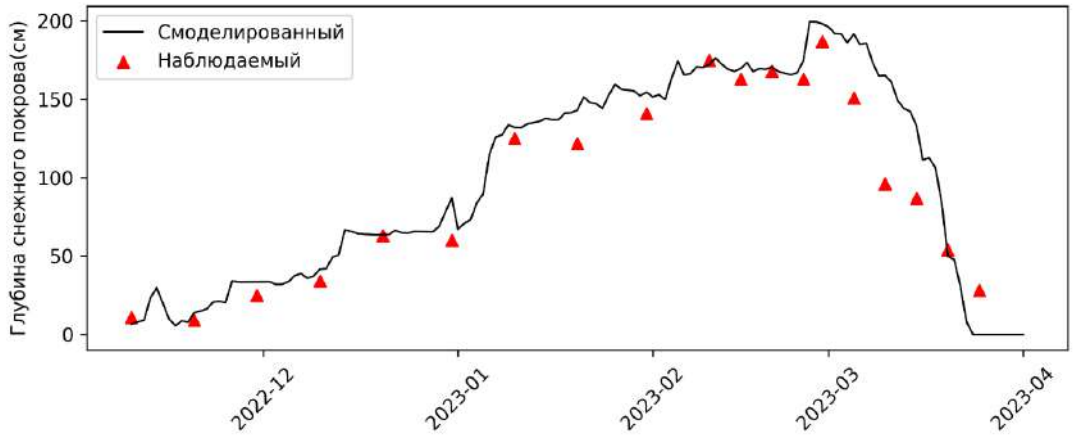


Рисунок 2. Сравнение наблюдаемой и смоделированной глубины снежного покрова на метеостанции Шемонаиха в зимний период 2022-2023 гг. Чёрная линия-результаты модели SNTHERM, маркеры-данные наблюдений Казгидромета (R^2 = 0.91).

Результаты показали высокую степень согласованности между расчётами и наблюдениями: коэффициент детерминации составил, что указывает на способность модели точно воспроизводить фазу накопления, пик и исчезновение снежного покрова. Ошибки моделирования глубины не превышают ±5 см в течение большей части зимнего сезона. Начало устойчивого накопления снега было зафиксировано в середине ноября, а его интенсивное увеличение происходило в декабре-январе, как по данным модели, так и в наблюдениях. Пик глубины (≈200 см) был достигнут в конце февраля - начале марта, после чего началась фаза резкого уменьшения, совпадающая с переходом температуры воздуха через 0°C и усилением солнечной радиации. Модель также корректно воспроизводит скорость таяния, что особенно важно в задачах оценки паводков.

Рисунок 3 иллюстрирует сезонную динамику снежного покрова на станции Шемонаиха в период с ноября 2022 по апрель 2023 года.

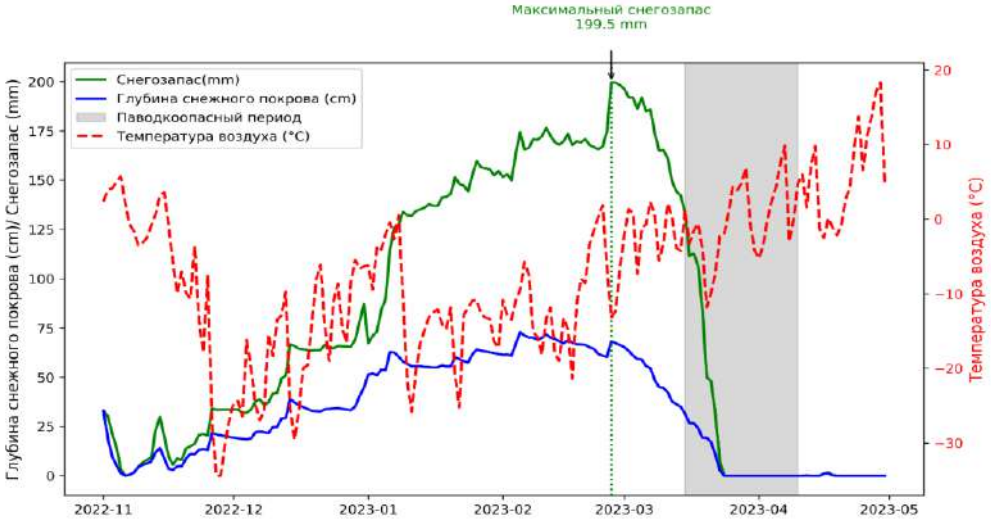


Рисунок 3. Seasonal variation of snow water equivalent (SWE), snow depth, and air temperature at Shemonaikha station during 2022-2023. Green line – SWE (mm), blue line - snow depth (cm), red dashed line - air temperature (°C). Shaded area indicates the flood-prone period; vertical dashed line marks the maximum SWE (199.5 mm) preceding the onset of active melt.

На графике представлены четыре ключевых переменные: смоделированный водный эквивалент снежного покрова (SWE, зелёная линия), глубина снега (синяя линия), температура воздуха (красная пунктирная линия) и паводкоопасный период (серым фоном). Согласно результатам моделирования с использованием SNTHERM, SWE демонстрирует устойчивый рост в течение зимнего периода, начиная с ноября. Максимальный запас влаги в снеге достигается 3 марта 2023 года, когда значение SWE составляет 199.5 мм, что отображено вертикальной пунктирной линией и аннотацией. Это значение отражает пик накопления снега и определяет начало переходной фазы- от аккумуляции к таянию. Немедленно после достижения пика начинается резкое снижение SWE, совпадающее с повышением температуры воздуха выше 0°C. Момент начала активного таяния фиксируется как 5 марта, когда наблюдается устойчивое уменьшение как SWE, так и глубины снега. Это подтверждает чувствительность модели к энергетическим и метеорологическим условиям, управляющим фазовыми переходами в снежной толще. Серым фоном выделен период потенциальной паводковой опасности, определённый на основе совокупности факторов, таких как наличие значительного SWE, положительная температура воздуха и атмосферные осадки (не отображены на графике, но использовались в анализе). Видно, что именно в этот интервал происходит интенсивное таяние снега, приводящее к быстрому освобождению влаги и потенциальному формированию поверхностного стока. Температурная кривая демонстрирует типичную для региона высокоамплитудную изменчивость, включая резкие переходы от

морозных условий к положительным значениям, особенно в марте. Это подчёркивает необходимость использования моделей, способных учитывать как фазовое состояние снега, так и энергетические потоки. Таким образом, данный рисунок иллюстрирует способность модели SNTHERM не только точно моделировать сезонные характеристики снежного покрова, но и предоставлять физически обоснованные параметры, важные для гидрологических оценок и прогнозов риска. Полученные зависимости подтверждают реалистичность результатов и их применимость в задачах регионального водного управления.

3.2. Результаты моделей машинного обучения

Для оценки эффективности разработанных моделей классификации был проведён анализ их качества на тестовой выборке объёмом 2036 наблюдений. Результаты представлены в таблице 2 и характеризуются по пяти основным метрикам: Accuracy, Precision, Recall, F1-score и AUC-ROC.

Таблица 2. Метрики качества классификации моделей на тестовой выборке

Модель	*Accuracy*	*Precision*	*Recall*	*F1-score*	*AUC*
Logistic Regression	*0.980*	*0.111*	*1.000*	*0.200*	*0.996*
Random Forest	*0.999*	*1.000*	*0.800*	*0.889*	*0.9998*
SVM	*0.972*	*0.082*	*1.000*	*0.152*	*0.9944*
KNN	*0.997*	*0.444*	*0.800*	*0.571*	*0.899*
XGBoost	*0.999*	*1.000*	*0.800*	*0.889*	*0.9994*

Для наглядного сравнения моделей построен график (Рисунок 4), демонстрирующий значения метрик качества по каждой из моделей.

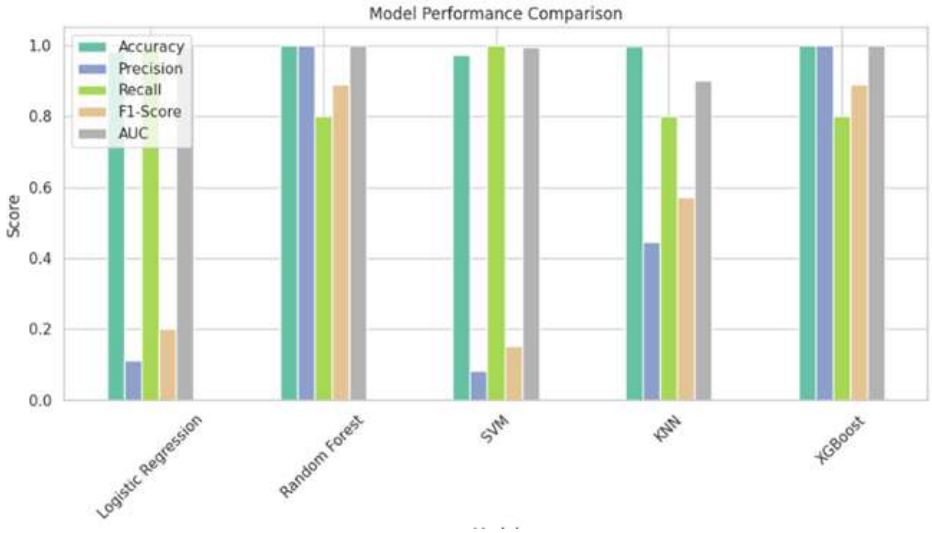


Рисунок 4. Сравнение метрик качества классификации для различных моделей

Наилучшие результаты были получены при использовании ансамблевых моделей - Random Forest и XGBoost. Обе модели продемонстрировали максимально возможную точность положительного класса (Precision = 1.000), высокую полноту (Recall = 0.800), сбалансированные значения F1-оценки (0.889) и почти идеальную способность различать классы (AUC = 0.9998 и 0.9994 соответственно). Важно отметить, что при наличии всего 5 паводкоопасных случаев в тестовой выборке обе модели корректно идентифицировали 4 из них при минимальном числе ложных срабатываний.

В то же время логистическая регрессия и метод опорных векторов (SVM) продемонстрировали высокую полноту (1.000), однако их крайне низкие значения Precision

(0.111 и 0.082 соответственно) указывают на значительное число ложных срабатываний. Такие модели могут быть использованы в контексте задач раннего оповещения, где важно не пропустить потенциальное событие, однако требуют дополнительных методов фильтрации и постобработки.

Метод k ближайших соседей (KNN) показал более сбалансированные характеристики: при значениях Precision = 0.444 и Recall = 0.800, модель обеспечила F1-оценку 0.571. Однако сравнительно низкое значение AUC (0.899) указывает на нестабильность при варьировании порогов классификации, что снижает применимость модели для адаптивных систем мониторинга.

Таким образом, ансамблевые методы, в частности Random Forest и XGBoost, продемонстрировали наибольшую надёжность и устойчивость при работе с несбалансированными данными. Они являются наиболее перспективными для задач предсказания паводкоопасных условий на основе метеорологических и моделируемых параметров снежного покрова.

Дискуссия

Настоящее исследование продемонстрировало высокую эффективность применения модели SNTHERM для воспроизведения сезонной динамики снежного покрова в континентальном климате Восточного Казахстана. При сравнении с наблюдаемыми данными модель показала высокую точность (коэффициент детерминации $R^2 = 0.91$) при моделировании глубины снежного покрова, а также успешно идентифицировала даты пикового снегозапаса и начала активного снеготаяния. Эти результаты подтверждают способность модели адекватно отражать ключевые фазы снежного сезона и делают её надёжным инструментом физического моделирования в условиях ограниченного числа наблюдений.

Использование выходных параметров SNTHERM в качестве входных признаков для моделей машинного обучения позволило сформировать гибридный подход к прогнозированию паводкоопасных условий. Это обеспечило физическую интерпретируемость обучающих данных и повысило качество классификации. Ансамблевые модели - Random Forest и XGBoost - показали наилучшие результаты по всем метрикам: $F1 - score = 0.889$, Precision $= 1.000$ и $AUC \approx 0.999$. Эти модели не только обеспечили высокую точность на тестовой выборке, но и выявили 4 из 5 реальных паводковых случаев, что критически важно для задач оперативного мониторинга. В то же время логистическая регрессия и метод опорных векторов (SVM) показали высокую полноту ($Recall = 1.0$), но при крайне низкой точности (Precision< 0.12), что указывает на склонность к избыточным срабатываниям. Это делает их потенциально полезными в задачах раннего оповещения, где важно не пропустить событие, но требует постобработки результатов. Интеграция физической модели и ML-подходов продемонстрировала особую значимость в условиях ограниченности наблюдательной сети. SNTHERM предоставил физически обоснованные признаки, в том числе дату начала снеготаяния, продолжительность снежного сезона и значения SWE, что усилило обоснованность классификации и улучшило результаты даже при ограниченной выборке.

Ограничением исследования является проведение анализа только для одной станции (Шемонаиха), что снижает возможность обобщения на весь регион. Кроме того, в основе моделирования использовались данные ERA5-Land, которые могут не учитывать локальные микроклиматические особенности, особенно в условиях сильных морозов, резких колебаний температуры и локальных осадков. Также число паводкоопасных случаев в тестовой выборке было небольшим, что затрудняет более глубокий статистический анализ. Несмотря на эти ограничения, исследование демонстрирует жизнеспособность интеграции физического моделирования снежного покрова с алгоритмами машинного обучения для задач прогнозирования и оценки паводковых рисков. Предлагаемый подход может быть

адаптирован для других регионов с использованием аналогичных входных данных и при наличии минимального объёма наблюдений.

Заключение

В данной работе продемонстрирована эффективность интеграции физически обоснованного моделирования снежного покрова с методами машинного обучения для оценки паводкоопасных условий на территории Восточного Казахстана. Впервые была применена модель SNTHERM для региона, характеризующегося континентальным климатом и ограниченной сетью наблюдений. Модель показала высокую точность воспроизведения сезонной динамики снежного покрова, включая глубину снега и водный эквивалент (SWE), с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.91$ по сравнению с наблюдениями.

На основе выходных параметров SNTHERM (дата максимального SWE, начало таяния, продолжительность снежного периода) были построены модели машинного обучения, направленные на классификацию паводкоопасных состояний. Ансамблевые алгоритмы (Random Forest, XGBoost) продемонстрировали наилучшие характеристики классификации при $F1 - score \approx 0.89$ и $AUC > 0.999$. Полученные результаты подтверждают потенциал предлагаемого подхода для оперативного мониторинга и оценки гидрологических рисков в условиях ограниченной информации. Интеграция физического моделирования и методов интеллектуального анализа данных позволяет повысить точность прогнозирования и обеспечивает физически интерпретируемые результаты. В дальнейшем метод может быть масштабирован на другие метеостанции региона и дополнен другими источниками данных-спутниковыми наблюдениями, наземными датчиками и гидрологическими моделями.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по научным, научно-техническим программам на 2024-2026гг по теме «Разработка системы прогнозирования катастрофических паводков в Восточно-Казахстанской области с применением данных ДЗЗ, ГИС-технологий и машинного обучения» (ИРН BR24992899).

Список использованных источников

[1] Berghuijs, W. R., Woods, R. A., Hrachowitz, M., & Sivapalan, M. (2019). A global assessment of runoff sensitivity to changes in precipitation, potential evapotranspiration, and other climate variables. Water Resources Research, 55(6), 5152–5171. https://doi.org/10.1029/2018WR024555

[2] Li, D., Wrzesien, M. L., Durand, M., Adam, J., & Lettenmaier, D. P. (2017). How much runoff originates as snow in the western United States, and how will that change in the future? Geophysical Research Letters, 44(12), 6163–6172. https://doi.org/10.1002/2017GL073551

[3] Hatchett, B. J., Singh, D., Skiles, S. M., et al. (2022). Observational and modeling advances for understanding and predicting snow drought. Nature Reviews Earth & Environment, 3(5), 350–364. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00268-0

[4] Nowak, K., Vano, J. A., & Lowrey, J. (2021). A snow drought typology and summary of key processes. Bulletin of the American Meteorological Society, 102(3), E415–E435. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0079.1

[5] Rhoades, A. M., Ullrich, P. A., & Zarzycki, C. M. (2018). Projecting 21st century snowpack trends in Western US mountain ranges using variable-resolution CESM. Climate Dynamics, 50(1), 261-288. https://doi.org/10.1007/s00382-017-3606-0

[6] Livneh, B., & Badger, A. M. (2020). Drought and flood extremes in the western United States: Quantifying the role of snowpack in hydrologic extremes. Geophysical Research Letters, 47(3). https://doi.org/10.1029/2019GL085621

[7] Chen, X., Lettenmaier, D. P., & Wood, A. W. (2021). SWE loss and its influence on hydrologic extremes under climate change. Water Resources Research, 57(3). https://doi.org/10.1029/2020WR029207

[8] Kazhydromet. (2023). Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2022 год. https://www.kazhydromet.kz

[9] Siirila-Woodburn, E. R., et al. (2021). A snow drought framework for the western United States and its application to the 2020 water year. Hydrology and Earth System Sciences, 25(8), 3897–3916. https://doi.org/10.5194/hess-25-3897-2021

[10] Jordan, R. E. (1991). A one-dimensional temperature model for a snow cover: Technical documentation for SNTHERM.89. Special Report 91-16, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering

[11] Hock, R. (2003). Temperature index melt modelling in mountain areas. Journal of Hydrology, 282(1-4), 104-115. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00257-9

[12] Chen, R., et al. (2020). Validation of the SNTHERM model applied for snow depth simulation in a mountainous region of China. Acta Geophysica, 68, 1341–1355 https://doi.org/10.1007/s11600-020-00484-1

[13] Boone, A., & Etchevers, P. (2001). An intercomparison of three snow schemes of varying complexity coupled to the same land surface model: Local-scale evaluation at an Alpine site. Journal of Hydrometeorology,2(4),374–394.https://doi.org/10.1175/1525- 7541(2001)002<0374:AIOTSS>2.0.CO;2

[14] Feng, D., et al. (2022). Applications of Machine Learning and Deep Learning in Earth System Science: A Review. Bulletin of the American Meteorological Society, 103(9), E1964- E1987. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0224.1

[15] Snauffer, A. M., Kampf, S. K., & Fassnacht, S. R. (2018). Estimating snow water equivalent through snow depth and density relationships for Colorado, USA. Hydrological Processes, 32(24), 3611–3625. https://doi.org/10.1002/hyp.13279

[16] Odry, J., Bányai, T., & Baksa, Á. (2020). Machine learning based snow water equivalent estimation using artificial neural networks. Water, 12(5), 1403. https://doi.org/10.3390/w12051403

[17] Ntokas, K., Nalbantis, I., & Koutsoyiannis, D. (2021). Prediction of snow water equivalent using artificial neural networks and comparison with conceptual models. Journal of Hydrology, 598, 126293. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126293

[18] King, A. M., Liston, G. E., & Elder, K. (2020). Correction of snow water equivalent biases in gridded datasets using machine learning. Water Resources Research, 56(6), e2019WR026084, https://doi.org/10.1029/2019WR026084

[19] Hersbach, H., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146(730), 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

[20] Alonso-González, E., et al. (2021). Snowpack modeling in the Pyrenees using ERA5 and in situ data. The Cryosphere, 15(4), 1499–1518. https://doi.org/10.5194/tc-15-1499-2021

[21] Papagiannaki, K., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Bezes, A., Vafeiadis, V., Messini, I., Kroustallis, E., & Totos, I. (2022). Identification of rainfall thresholds likely to trigger flood damages across a Mediterranean region, based on insurance data and rainfall observations. Water, 14(6), 994. https://doi.org/10.3390/w14060994

[22] Meyer, J., Neuper, M., Mathias, L., Zehe, E., & Pfister, L. (2022). Atmospheric conditions favouring extreme precipitation and flash floods in temperate regions of Europe. Hydrology and Earth System Sciences, 26(23), 6163–6183. https://doi.org/10.5194/hess-26-6163-2022

[23] Tabari, H.(2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. Scientific Reports, 10, 13768. https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2

[24] Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. Journal of Artificial Intelligence Research, 16, 321-357. https://doi.org/10.1613/jair.953

[25] Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). Applied Logistic Regression (3rd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118548387

[26] Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

[27] Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. Machine Learning, 20, 273-297. https://doi.org/10.1007/BF00994018

[28] Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory, 13(1), 21–27. https://doi.org/10.1109/TIT.1967.1053964

[29] Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In Proceedingsof the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 785–794). https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

ҒТАХР 28.23.35

10.51889/2959-5894.2025.91.3.006

А. Тлеулесова[1,2*], С. Жұматов[2]

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.,
[2] Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы қ.,
[*]*e-mail: agila_72@mail.ru*

БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КӨПБЕЙНЕЛІКТІҢ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУДЕГІ МАТРИЦАЛЫҚ САЛЫСТЫРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Аңдатпа

Мақалада негізгі басқару жүйесінің бағдарламалық көпбейненің орнықтылығы қарастырылады. Басқару жүйесі бағдарламалық көпбейненің орнықтылық қасиеттерін зерттеу үшін салыстыру жүйесі құрылған. Автономды және автономды емес жүйелер үшін Ляпунов функциясын құрастырамыз. Ляпунов функциясы арқылы берілген функцияға қатысты бағдарламалық көпбейненің абсолютті және асимптотикалық орнықтылығының жеткілікті шарттары алынған. Көмекші салыстыру жүйелерінің кеңістіктегі қалпы берілген жүйе кеңістігіндегі бейнелеуге негізделген. Бұл әдістер түрлі теориялық, қолданбалы есептерді қарастырады. Сондай-ақ кеңістіктегі көпбейненің динамикалық қасиеттерін зерттеу үшін кеңінен қолданылады. Салыстыру жүйелерін зерттеуге дифференциалдық теңдеулер қолдынылады. Қарастырылып отырған теңдеулер жүйесінің ретін төмендету - салыстыру әдісінің негізгі артықшылығын көрсетеді. Автоматты басқару жүйелерінің бағдарламалық көптүрлілігінің орнықтылығын зерттейміз. Бағдарламалық көптүрліліктің орнықтылығы үшін жеткілікті шарттарды матрицалық салыстыру теңдеулерінен аламыз.

Түйін сөздер: бағдарламалық көпбейнелілік, негізгі басқару жүйесі, салыстыру жүйесі, Ляпунов функциясы, абсолютті орнықтылық, асимптотикалық орнықтылық, автономды жүйелер, автономды емес жүйелер.

А. Тлеулесова[1,2], С. Жуматов[2]
[1]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, г.Астана,
[2]Институт математики и математического моделирования, г.Алматы

СИСТЕМЫ СРАВНЕНИЯ МАТРИЦ В ИССЛЕДОВАНИИ УСТОЧИВОСТИ МНОГООБРАЗИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрена устойчивость программного обеспечения многообразия основной системы управления. Для исследования свойств устойчивости системы управления создана система сравнения. Построим функцию Ляпунова для автономных и неавтономных систем. Получены достаточные условия абсолютной и асимптотической устойчивости программного полинома относительно функции, заданной функцией Ляпунова. Пространственное положение вспомогательных картографических систем основано на их представлении в заданном системном пространстве. Эти методы рассматривают различные теоретические и прикладные задачи. Он также широко используется для изучения динамических свойств многообразии в пространстве. Дифференциальные уравнения используются для изучения систем сравнения. Понижение порядка рассматриваемой системы уравнений показывает основное преимущество метода сравнения. Исследуется устойчивость многообразия программного обеспечения систем автоматического управления. Из уравнений матричного сравнения получены достаточные условия устойчивости программного многообразия.

Ключевые слова: бағдарламалық көпбейнелілік, негізгі басқару жүйесі, салыстыру жүйесі, Ляпунов функциясы, абсолютті орнықтылық, асимптотикалық орнықтылық, автономды жүйелер, автономды емес жүйелер.

A. Tleulessova[1,2], S. Zhumatov[2]
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[2]Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan

SYSTEMS FOR COMPARING MATRICES IN THE STABILITY OF SOFTWARE MONIFOLD

Abstract

To investigate the stability properties of the control system, a comparison system has been constructed. A Lyapunov function is formulated for both autonomous and non-autonomous systems. Sufficient conditions for the absolute and asymptotic stability of the program manifold are derived with respect to a function defined by the Lyapunov function. The spatial positioning of auxiliary cartographic systems is based on their representation within a given system space. These methods address various theoretical and applied problems and are also widely used for studying the dynamic properties of multi-image representations in space. Differential equations are employed to analyze comparison systems. The reduction of the order of the considered system of equations demonstrates the principal advantage of the comparison method. The stability of diverse program manifold components within automatic control systems is investigated. From the matrix comparison equations, sufficient conditions for the stability of program manifolds are obtained. Sufficient conditions for the stability of the program manifold are derived from the matrix comparison equations. Sufficient conditions for the stability of the program manifold are derived from the matrix comparison equations.

Keywords: бағдарламалық көпбейнелілік, негізгі басқару жүйесі, салыстыру жүйесі, Ляпунов функциясы, абсолютті орнықтылық, асимптотикалық орнықтылық, автономды жүйелер, автономды емес жүйелер.

Кіріспе

Әртүрлі теориялық және қолданбалы мәселелерді шешуде кеңістіктегі көпбейненің динамикалық қасиеттерін зерттеуді сақтау үшін көмекші салыстыру жүйелерінің кеңістіктегі қалпы берілген жүйе кеңістігіндегі бейнелеуге негізделген әдістер кеңінен қолданылады. Әдетте салыстыру жүйелері ретінде R^n-гі дифференциалдық теңдеулер қолданылады, ал салыстыру әдісінің негізгі артықшылығы – зерттелетін жүйе теңдеулерінің ретін едәуір төмендету мүмкіндігі. Р. Конти [1] скалярлы салыстыру теңдеуін әдеттегі дифференциалдық теңдеулердің шешімдерінің жалғастырылуын зерттеу үшін қолданған. К. Кордунян [2] бұл әдісті дифференциалдық теңдеулердің шешімдерінің орнықтылығы мен асимптотикалық орнықтылығын анықтау үшін пайдаланған. В. М. Матросов [3-5], Р. Беллман [6] бұл әдісті векторлық салыстыру теңдеулеріне жалпылаған. Н. С. Постников пен Е. Ф. Сабаев [7] соңғы өлшемді динамикалық жүйелерді симметриялық матрицалар кеңістігінде анықталған салыстыру жүйелерін зерттеуге бағыттаған. Б. Ж. Майгарин [8] басқару динамикалық жүйелерінің орнықтылығын зерттеу үшін матрицалық салыстыру теңдеулерін қолданған. Бұл жұмыста автоматты басқару жүйелерінің бағдарламалық көпбейне орнықтылығы үшін жеткілікті шарттарды алу мақсатында матрицалық салыстыру теңдеулері пайдаланылады.

Зерттеу әдіснамасы

Есептің қойылуы.

Айталық [9] дифференциалдық теңдеуі автоматты басқару жүйелерінің динамикалық процестерін сипаттасын, яғни:

$$\dot{x} = f(t, x) \tag{1}$$

мұндағы $x \in R^n$; $f(t, x)$ - вектор-функциясы басқару жүйесінің қалпын, бірінші теңдеудің $t \in I = [t_0, \infty)$ аралығындағы шешімінің бар болуы мен жалғыздығын қамтамасыз ететін және *(n-s)*-өлшемді $\Omega(t)$ тегіс интегралдық көпбейне және (2) векторлық теңдеуін анықталады

$$\omega(t, x) = 0, \tag{2}$$

мұндағы $\omega - s \le n$ -өлшемді вектор.

Орнықтылық қасиеті бар интегралдық көпбейне (2) формуласымен берілген (1) дифференциалдық теңдеулер жүйесін құрамыз.

(1) жүйе үшін $\Omega(t)$ интегралдық көпбейне болғандықтан

$$\dot{\omega} = \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial \omega}{\partial x} f(t, x) = F(t, \omega), \tag{3}$$

мұндағы - $F(t, 0) \equiv 0$ Еругин функциясы [10].

Салыстыру жүйелерін құру. Элементтері $s \times s$ симметриялық матрица болатын $\widetilde{R}^s$ кеңістігін енгізейік:

$$\widetilde{R}^s = \left\{ M = M^T = \left\| M_{ij} \right\|_0^T \right\}. \tag{4}$$

$\widetilde{R}^s$ кеңістігінде элементтердің жартылай реттелуін сфера арқылы анықтаймыз. Бұл реттелу келесі шарттармен беріледі:

$$S = S_r^+ = \left\{ M : \omega^T M \omega < r^2 \forall \omega \in R^s \right\},$$

$$S_r^0 = \left\{ M : \omega^T M = r^2 \forall \omega \in R^s \right\},$$

$$S_r^- = \left\{ M : \omega^T M \omega > r^2 \forall \omega \in R^s \right\}. \tag{5}$$

Матрицаны келесідей түрде енгізейік:

$$M(\omega) = D(\omega) M D(\omega). \tag{6}$$

Мұндағы

$$D(\omega) = diag \left\| \omega_1, ..., \omega_s \right\|. \tag{7}$$

Егер $\forall (i, j)_1^s$ үшін $\mathrm{M}_{ij} = 1$ ескерсек, онда $M(\omega) = L(\omega) = \omega\omega^T$ матрицасы осы түрде болады.

Егер S^s кеңістігінің элементтері үшін $M_1 \ge M_2 \wedge M_1 > M_2$ теңсіздігін орындалса, онда сәйкесінше келесі қатынасты анықтайды:

$$M_1 - M_2 \in S \wedge M_1 - M_2 \in \operatorname{int} S.$$

Егер $M \in S \wedge M \in \operatorname{int} S$ болса, онда кез келген ерекше емес U матрицасы үшін

$$UMU^T \in S \wedge UMU^T \in \operatorname{int} S. \tag{8}$$

Егер $U = M^{-1}$ болса, мұндағы $M \in \operatorname{int} S$, онда (8) бойынша $M^{-1} \in \operatorname{int} S.$ S^s кеңістігінде келесі норманы енгіземіз

$$\|M\|_{U_0} = \inf\{\alpha : -\alpha U_0 \le M \le \alpha U_0\}, \tag{9}$$

R^s кеңістігінің нормасы ретінде

$$\|\omega\| = \left(\omega^T U_0^{-1}\omega\right)^{1/2}. \tag{10}$$

пайдаланамыз.

Айталық келесі теңдік дұрыс болсын

$$\|M(\omega)\|_{U_0} = \omega^T U_0^{-1}\omega = \|\omega\|^2. \tag{11}$$

$M(\omega)$ матрицасының құрылымына байланысты (5) теңдеуден келесі қатынастарды аламыз:

$$M(\omega) = \det\begin{Vmatrix} M_{11}\omega_1^2 & M_{12}\omega_1\omega_2 & \dots & M_{1s}\omega_1\omega_s \\ . & . & . & . \\ M_{s1}\omega_s\omega_1 & M_{s2}\omega_s\omega_2 & \dots & M_{ss}\omega_s^2 \end{Vmatrix}, \tag{12}$$

$$\det M(\omega) = \prod_{i=1}^{s}\omega_i^2 \det M, \tag{13}$$

$$M(\omega) > 0 \Leftrightarrow M > 0 \ \forall \omega_i \ne 0, \tag{14}$$

мұндағы ω_i - нақты айнымалылар

$$\frac{D(\omega)}{dt} = \dot{D}(\omega) = D[F(t,\omega)]. \tag{15}$$

R^s кеңістігінде келесі дифференциалдық теңдеуді қарастырамыз

$$\dot{K} = \Psi(t, K), \tag{16}$$

мұндағы K - $s \times s$ өлшемді матрица, $\Psi(t, K)$- (16) теңдеудің шешімдерінің болуы мен жалғыздығының қасиеттерінің қанағаттандыратын матрица. Егер (16) теңдеудің шешімдері ішінде $K(t)$ шешімі , яғни (3) теңдеу шешімдерімен байланысты

$$M[\omega(t_0)] = K(t_0) \wedge M[\omega(t)] \le K(t) \ \textit{при} \ t > t_0. \tag{17}$$

қатынас болса онда (16) теңдеу (3) теңдеудің салыстыру жүйесі деп аталады. (17) Теңсіздікпен (11) қатынастан шығатыны $\|\omega(t)\|^2 \le \|K(t)\|_{U_0}$. Осыдан, яғни (16) теңдеудің салыстыру жүйесінің аналогиясынан (3) жүйенің орнықтылығы, асимптотикалық орнықтылығы, диссипативтілігі шығады.

Егер (16) теңдеу үшін Чаплыгин [7] типті дифференциалдық теңсіздіктер туралы теорема орындалса, онда (16) теңдеу $\Xi(\Psi \in \Xi)$ классына жататынын ескереміз, яғни егер $\dot{P} \le \Psi(t, P)$, мұндағы P - $s \times s$ өлшемді матрица, онда $P(t_0) \le K(t_0)$ мынадан $t > t_9$ болғанда $P(t) \le K(t)$, мұнда,ы $K(t)$ -(16) ның кез-келген шешімі.

$M(\omega)$ функциясын дифференциалдап (3) теңдеу бойынша (15)-теңдеуді ескеріп, алатынымыз:

$$\dot{M}(\omega) = D[F(t,\omega)]MD(\omega) + D(K)MDF(t,\omega). \tag{18}$$

(2) теңдеу шешімін табу барысында $\Psi(t, K) \in \Xi$ үшін келесі теңсіздіктің орындалуын қарасытырамыз

$$D[F(t,\omega)]MD(\omega) + D(K)MDF(t,\omega) \le \Psi[t, M(\omega)]. \tag{19}$$

Сонда (19) дан (17)-нің дұрыстығы шығады.

Ξ класының теңдеуі фазалық кеңістіктің құрылымы бойынша дифференциалдық теңдеулердің ең қарапайым класын құрайды.

Лемма 1. Айталық $\Psi \in \Xi. \Psi(t,0) = 0$ *және* $M_0(\alpha)$ *параметрне тәуелді үзіліссіз функциясы бар болсы, мұндағы* $\alpha \in [-\alpha_0, \alpha_0]$, $t \in I_0$), $\alpha M_0(\alpha)$ *және мейлінше аз* $\varepsilon > 0.$ *үшін*

$$\alpha\Psi[t, M_0(\alpha)] \le -\varepsilon M_0(\alpha) \tag{20}$$

Онда бағдарламалы көпбейне $\Omega(t)$ ω *вектор-функциясына қарағанда асимптотикалық орнықты, ал*

$$V_\alpha = \{K : M_0(-\alpha) \le K \le M_0(\alpha),\ \alpha \in]0, \alpha_0]\} \tag{21}$$

көпмүшелігі (16) жүйе шешіміне қарағанда инвариантты және бағдарламалы көпбейненің тартылу облысында жатады.

V_α жиынының инварианттылығы дегеніміз $K(t) \in V_\alpha$ шешімінің $t > t_0$ болғандағы, $K(t_0) \in V_\alpha$ болуы. .

Лемма 1 (20) түріндегі матрицалық теңсіздіктері шешуге арналған ω вектор-функциясына қатысты $\Omega(t)$ бағдарламалық көпбейненің орнықтылығын зерттеуге алып келеді. Бұл жағдайда V_α жиындары бастапқы жүйенің (3) жиындарының фазалық кеңістігінде индукцияланып

$$\widetilde{V}_\alpha = \{\omega : M(\omega) \le K \le M_0(\alpha),\ \alpha_0 \in]0, \alpha_0]\} \tag{22}$$

(3) теңдеу шешімдеріне қатысты инвариантты және бағдарламалық көпбейнені тарту облысында жатады.

Ляпуновтың матрицалық дифференциалдық теңдеуін қарастырайық:

$$\dot{K} = KA^T(t) + A(t)K, \tag{23}$$

мұндағы $A(t)$ - $s \times s$ өлшемді $t \in I_0$ аралығында анықталған үзіліссіз матрица.

Лемма 2. Айталық $\forall t \in I_0$ *және мейлінше аз* $\varepsilon > 0$ *үшін* $M_) \in \operatorname{int} S$ *бар болатындай M матрицасы бар болсын және келесі теңсіздік орындалсын*

$$M_0 A^T(t) + A(t)M_0 \le -\varepsilon M_0. \tag{24}$$

Онда

$$\dot{\omega} = A(t)\omega \tag{25}$$

теңдеуінің нөлдік шешімі асимптотикалық орнықты.

Сондай ақ (25) теңдеуінің $K(t)$ *барлық шешімдері үшін және* $\alpha > 0$ *болғанда, егер* $t = t_0$ *үшін орындалса* $t > t_0$ *болғанда*

$$-\alpha M_0 \le K(t) \le \alpha M_0, \tag{26}$$

теңсіздігі орындалады.

Автономды жүйедегі бағдарламалық көпбейненің орнықтылығы.

(1) теңдеуімен бірге басқару жүйелерінің келесі түрін қарастырайық:

$$\dot{x} = f(t, x) - bf(\sigma), \quad \sigma = c^T \omega. \tag{27}$$

Мұндағы b және c - бақылаудың басқару тұрақты векторлары, ξ және σ скаляр өлшемдер

$$\varphi(0) = 0 \wedge k_1\sigma^2 < \sigma\varphi(\sigma) < k_2\sigma^2, \tag{28}$$

$\varphi(\sigma)$ қанағаттандыратын үзіліссіз сызықты емес функция, мұндағы k_1 және k_2 – қандайда бір тұрақтылар.

(27) теңдеулер жүйесі бойынша (2) теңдеуді t уақыт бойынша дифференциалдаймыз, яғни $F(t, \omega) = -A\omega$, мұндағы A - $s \times s$ өлшемді тұрақты матрица, бұдан алатынымыз:

$$\dot{\omega} = -A\omega - b\varphi(\sigma), \quad \sigma = c^T \omega. \tag{29}$$

Анықтама 1. Егер кез келген $\omega(t_0, x_0)$ *және* $\varphi(\sigma)$ *(28) шартын қанағаттандыратын (27) теңдеу шешімдері орнықты болса, онда* $\Omega(t)$ *бағдарламалық көпбейне абсолют орнықты деп аталады.*

Есептің қойылуы ω *вектор-функциясына қарағанда* $\Omega(t)$ *бағдарламалық көпбейненің абсолютты орнықтылығының шарттарын алу.*

(29) жүйе үшін келесі матрица-функцияны құрамыз:

$$M[\omega(t)] = L(\omega) + \alpha E_S \int_0^t S(\tau)d\tau + \beta \int_0^\sigma f(\sigma)d\sigma, \tag{30}$$

Мұндағы α және β - оң тұрақтылар, $H(\omega)$ - келесідей айнымалы матрица:

$$L(\omega) = \omega\omega^T. \tag{31}$$

Функцияны (29), (30) жүйесіне сәйкес дифференциалдай отырып, алатынымыз:

$$\begin{aligned} -\dot{M}[\omega(t)] &= L(\omega)A^T + AL(\omega) + \left(L(\omega)cb^T + bc^T L(\omega)\right)\psi + \\ &+ \alpha E_n \varphi^2 \left(1 - k_1\psi^{-1}\right)\left(\psi^{-1} - k_2^{-1}\right) + \beta E_n c^T Ax\varphi + \beta E_n c^T b\varphi^2, \end{aligned} \tag{32}$$

$$\psi = \psi(\sigma, t) = \varphi(\sigma(t))/\sigma(t), \quad \sigma(t) = c^T \omega(t), \quad \varphi = \varphi(\sigma(t)).$$

(29) теңдеу үшін салыстыру жүйесі ретінде (32) матрицалық дифференциалдық теңдеуін қарастырамыз. (29) теңдеудің бастапқы шешімдерін есептегенде алынған $\omega(t)$, яғни ω-ның үзіліссіз функциясы.

Айталық α, β теріс емес мәндері бар болсын. Барлық $\varphi(\sigma) \in C_{]k_1, k_2]}$ және $L_0 \in \operatorname{int} S$ матрицасы үшін келесі теңдік дұрыс:

$$\begin{aligned} F_0 &= (L_0 A^T + A L_0) + \left(L_0 c b^T + b c^T L_0\right)\varphi(\sigma) + \alpha E_n \varphi_0^2 \left(1 - k_1 \psi_0^{-1}\right) \times \\ &\times \left(\psi_0^{-1} - k_2^{-1}\right) + \beta E_n c^T A \omega_0 \varphi_0 + \beta E_n c^T b \varphi_0^2 > 0 \end{aligned} \tag{33}$$

Егер H_0-ды матрицалық теңсіздіктен табатын болсақ (33) шарт орындалатын болады**:**

$$L_0 A^T + A L_0 > \frac{k_2}{2} g g^T, \quad L_0 c + b = -g, \tag{34}$$

және

$$\alpha E_n \varphi_0^2 \left(1 - k_1 \psi_0^{-1}\right)\left(\psi_0^{-1} - k_2^{-1}\right) + \beta E_n c^T A \omega \varphi + \beta E_n c^T b \varphi_0^2 \geq 0.$$

$c \in R^n, c \neq 0$ үшін (34) ескерек:

$$\begin{aligned} c^T F_0 c > \frac{k_2}{2}\left[c^T g + \frac{2}{k_2}\left(c^T b\right)\psi(\sigma)\right]^2 + 2\left(c^T b\right)^2 \psi^2 \left(\psi^{-1} - k_2^{-1}\right) + \\ + c^T \left[\alpha E f^2 \left(1 - k_1 \psi^{-1}\right)\left(\psi^{-1} - k_2^{-1}\right) + \beta E c^T A x \varphi + \beta E_n c^T b \varphi^2\right] c \geq 0. \end{aligned} \tag{35}$$

(35) шарты орындалса онда (33) қатынаста орындалады. $\psi^{-1} = \sigma / \sigma\varphi(\sigma) = -W(i\varpi) = -c^T \left(A + i\varpi E\right)^{-1} b,$ болғандықтан (35) шарты орындалу үшін келесі теңдіктер жеткілікті:

$$\Pi(\varpi) = k_2^{-1} + \operatorname{Re} c^T \left(A + i\varpi E\right)^{-1} b > 0 \quad \forall \varpi \geq 0, \tag{36}$$

$$\Pi_1(\varpi) = \alpha k_2^{-1} + \beta c^T b + \left(1 + k_1 k_2^{-1}\right)\operatorname{Re} W(i\varpi) + k_1 \alpha \left|W(i\omega)\right|^2 > 0. \tag{37}$$

Теорема 1. Айталық $-A$ Гурвиц матрицасы болса, онда (36) теңсіздігі орындалып $]k_1, k_2]$ бұрышында бағдарламалық көпбейненің абсолютті орнықтылығы үшін кейбір тұрақты және α, β мәндерінде (37) теңсіздігінің орындалуы жеткілікті.

Автономды емес жүйелердегі бағдарламалық көпбейнеліктің орнықтылығы.

Басқарудың автономды емес жүйесін қарастырайық:

$$\dot{x} = f(t, x) - b(t)\xi, \quad \xi = \varphi(\sigma, t), \quad \sigma = c(t)^T \omega. \tag{38}$$

Мұнда $b(t)$ және $c(t)$ –басқаруды бақылаудың айнымалы векторлары, ξ және σ – скалярлық шамалар, $\varphi(\sigma, t)$– келесі шарттарды қанағаттандыратын үзіліссіз, сызықты емес функция:

$$\varphi(0,t)\equiv 0 \quad \forall t\in I=[0,\infty[, \tag{39}$$

$$0<\sigma\varphi(\sigma,t)<k\sigma^2,\ \forall\sigma\neq 0 \quad (k=k_2-k_2), \tag{40}$$

мұндағы және $k_1-\ k_2$ кейбір тұрақтылар.

(2) теңдеуді уақыт бойынша дифференциалдап (38) теңдеулер жүйесіне сәйкес $F(t,\omega)=-A(t)\omega$ екенін ескерсек, мұндағы $A(t)$– үзіліссіз, $s\times s$ өлшемді шенеулі матрица болғанда алатынымыз:

$$\dot{\omega}=-A(t)\omega-b(t)\xi, \quad \xi=\varphi(\sigma,t), \quad \sigma=c(t)^T\omega. \tag{41}$$

(41) жүйесі үшін матрица-функциясын құрамыз:

$$V(\omega,t)=M(\omega)+\alpha E_S\int_0^t S(\tau)d\tau, \quad (\alpha\geq 0) \tag{42}$$

Мұндағы $M(\omega)$ матрицасы (6) түрінде қарастырылады, ал $S(t)=\alpha(\sigma-k^{-1}\xi)\xi$. Онда (16), (41) және (42) ден алатынымыз:

$$\dot{V}(\omega,t)=W(\omega,\varphi),$$

мұндағы

$$W=-D(A\omega)MD(\omega)-D(b\varphi)MD(\omega)-\alpha E_n c^T\omega-D(x)MD(A\omega)+$$

$$+\frac{\alpha}{k}E_n\varphi^2-D(\omega)MD(b\varphi), \quad \varphi=\varphi(\sigma,t).$$

Теорема 2. Айталық $W\in\Xi$ және $W(0,t)=0$ қасиетіне сәйкес $S\geq 0,\ \ \alpha\in[-\alpha_0,\alpha_0]$ параметрінің тәуелділігіне байланысты $\widetilde{M}_0(\alpha)$ үзіліссіз функциясы бар болса, мұндағы $\alpha\widetilde{M}_0(\alpha)>0$

$$\alpha W\left[\widetilde{M}_0(\alpha),t\right]\leq-\varepsilon\widetilde{M}_0(\alpha) \tag{43}$$

$t\in I_0$ шарты және $\varepsilon>0$ мейлінше кіші болғанда орындалсын. Сонда бағдарламалық көпбейне (39), (40) шарттарында $]0,k]$ бұрышында ω вектор-функциясына қатысты асимптотикалық орнықты, (21) жиын (2) бағдарламалық көпбейненің тартылу аймағында жатады.

Осылайша, орнықтылық шарттары (43) вектордың ω және φ квадраттық формасына қатысты Сильвестр шартын табуға келтіріледі.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Conti R. Sulla prolungabilitia delle soluzioni di in sistema di equazioni differenzial ordinarit //Boll. Un. Mat. Ital.,-- 1956, № 11(3). -- P.510-514.

[2] Corduneanu C. Применение дифференциальных неравенств в теории устойчивости // An. Sti. Univ. "Al. I. Cuza", Iasi. Sect I a Mat. – 1960, № 6. --P. 47-58.

[3] Матросов В. М. Метод векторных функций Ляпунова в системах с обратной связью //Автоматика и телемеханика, -- 1972, № 9. -- С.63-75.

[4] Матросов В. М. Метод сравнения в динамике систем //Дифференц. уравнения, -- 1974. -- Т.10, № 9. -- С.1547-1559.

[5] Матросов В. М. Метод сравнения в динамике систем //Дифференц. уравнения, -- 1975. -- Т.11, № 3. -- С.403-417.

[6] Bellman R. Vector Liapunov functions // SIAM J. Control. Ser. A. I. , -- 1962. -- P.32-34.

[7] Постников Н. С., Сабаев Е. Ф. Матричные системы сравнения и их приложения к задачам автоматического регулирования //Автоматика и телемеханика, -- 1980, № 4. -- С.24-34.

[8] Майгарин Б. Ж. Матрица-функция в теории устойчивости динамических систем управления // Изв. АН КазССР. Сер.физ.-мат., – 1983, № 5. –С. 69-71.

[9] Майгарин Б.Ж. Устойчивость и качество процессов нелинейных систем автоматического управления. – Алма-Ата: Наука, – 1980. – 316 с.

[10] Еругин Н.П. Построение всего множества систем дифференциальных уравнению, имеющих заданную интегральную кривую // Прикл. Мат. и мех., – 1952. – Т. 16., вып. 6. – С. 653-670.

[11] Akhmetov M.U., Zafer A. (2000) Ustojchivost' nulevogo reshenija impulsnyh differencial'nyh uravnenij vtorym metodom Ljapunova [Stability of the zero solution of impulsive differential equations by the second Lyapunov method]. Zhurnal prikladnoj matematiki i analiza, 248, 69-82. https://doi.org/10.1006/jmaa.2000.6864

[12] R. Guo, H. Kadji, X. Zhang, U. E. Vincent, and W. Yu, "Control Problem of Nonlinear Systems with Applications," vol. 2016, 2016. https://doi.org/10.1155/2016/3137609

[13] X.-J. Xie, J. H. Park, H. Mukaidani, and W. Zhang, "Mathematical theories and applications for nonlinear control systems," vol. 2019, ed: Hindawi, 2019.

[14] J. Baranowski, M. Zagorowska, W. Bauer, T. Dziwinski, and P. Piatek, "Applications of direct Lyapunov method in Caputo non-integer order systems," in Elektronika ir Elektrotechnika vol. 21, ed, 2015, pp. 10-13. http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.21.2.11505

[15] J. Klamka, "Stochastic controllability of systems with variable delay in control," Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, pp. 279-284, 2008.

[16] A. Thabet, "Adaptive-state feedback control for Lipschitz nonlinear systems in reciprocal-state space: Design and experimental results," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, vol. 233, no. 2, pp. 144-152, 2019. https://doi.org/10.1177/0959651818786374

[17] A. Thabet, G. B. H. Frej, N. Gasmi, and M. Boutayeb, "Feedback stabilization for one sided Lipschitz nonlinear systems in reciprocal state space: Synthesis and experimental validation," Journal of Electrical Engineering, vol. 70, no. 5, pp. 412-417, 2019. DOI: 10.2478/jee-2019–0074

[18] S. Yin, P. Shi, and H. Yang, "Adaptive fuzzy control of strict-feedback nonlinear time-delay systems with unmodeled dynamics," IEEE transactions on cybernetics, vol. 46, no. 8, pp. 1926- 1938, 2015.

[19] X. Chen, Z. Chen, and C. Mei, "Sampled measurement output feedback control of multi-agent systems with jointly-connected topologies," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 61, no. 6, pp. 1670-1675, 2015.

[20] Z. Chen, "Feedforward design for output synchronization of nonlinear heterogeneous systems with output communication," Automatica, vol. 104, pp. 126-133, 2019.

https://doi.org/10.1016/j.automatica.2019.02.027

[21] A. Tleulessova ,S.Zhumatov, L.Zhapsarbayeva, "Absolute stability of program manifold of control systems with local connections", International Scientifically-technical journal «Herald to national engineering academy of the Republic of Kazakhstan», ISSN 2709–4693, 2024, № 4 (94), P. 301-309.

References

[1] Conti R. Sulla prolungabilitia delle soluzioni di in sistema di equazioni differenzial ordinarit //Boll. Un. Mat. Ital.,-- 1956, № 11(3). -- P.510-514.

[2] Corduneanu C. Application of Differential Inequalities in Stability Theory // An. Sti. Univ. "Al. I. Cuza", Iasi. Sect I a Mat. – 1960, № 6. --P. 47-58.

[3] Matrosov V. M. Metod vektornykh funktsii Lyapunova v sistemakh s obratnoi sviaz'yu [The method of vector Lyapunov functions in feedback systems]. Avtomatika i telemekhanika, 1972, no. 9, pp. 63–75. (in Russian).

[4] Matrosov V. M. Metod sravneniya v dinamike sistem [The comparison method in system dynamics]. Differentsial'nye uravneniya, 1974, vol. 10, no. 9, pp. 1547–1559. (in Russian).

[5] Matrosov, V. M. (1975). Metod sravneniya v dinamike sistem [The comparison method in system dynamics]. Differentsial'nye uravneniya 11(3): 403–417. (in Russian)

[6] Bellman R. Vector Liapunov functions // SIAM J. Control. Ser. A. I. , -- 1962. -- P.32-34.

[7] Postnikov N. S., Sabaev E. F. Matrichnye sistemy sravneniya i ikh prilozheniya k zadacham avtomaticheskogo regulirovaniya [Matrix comparison systems and their applications to automatic control problems]. Avtomatika i telemekhanika, 1980, no. 4, pp. 24–34. (in Russian).

[8] Maigarın B. Zh. Matritsa-funktsiya v teorii ustoichivosti dinamicheskikh sistem upravleniya [Matrix-function in the stability theory of dynamic control systems]. Izvestiya AN KazSSR. Seriya fiziko-matematicheskaya, 1983, no. 5, pp. 69–71. (in Russian).

[9] Maigarın B. Zh. Ustoichivost' i kachestvo protsessov nelineinykh sistem avtomaticheskogo upravleniya [Stability and quality of processes in nonlinear automatic control systems]. Alma-Ata: Nauka, 1980. 316 p. (in Russian).

[10] Erygın N. P. Postroenie vsego mnozhestva sistem differentsial'nykh uravnenii, imeyushchikh zadannuyu integral'nuyu krivuyu [Construction of the entire set of systems of differential equations having a given integral curve]. Prikladnaya matematika i mekhanika, 1952, vol. 16, no. 6, pp. 653–670. (in Russian).

[11[Akhmetov, M. U., and A. Zafer. (2000). "Stability of the Zero Solution of Impulsive Differential Equations by the Lyapunov Second Method." Journal of Mathematical Analysis and Applications 248: 69–82. https://doi.org/10.1006/jmaa.2000.6864

[12] R. Guo, H. Kadji, X. Zhang, U. E. Vincent, and W. Yu, "Control Problem of Nonlinear Systems with Applications," vol. 2016, 2016. https://doi.org/10.1155/2016/3137609

[13] X.-J. Xie, J. H. Park, H. Mukaidani, and W. Zhang, "Mathematical theories and applications for nonlinear control systems," vol. 2019, ed: Hindawi, 2019.

[14] J. Baranowski, M. Zagorowska, W. Bauer, T. Dziwinski, and P. Piatek, "Applications of direct Lyapunov method in Caputo non-integer order systems," in Elektronika ir Elektrotechnika vol. 21, ed, 2015, pp. 10-13. http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.21.2.11505

[15] J. Klamka, "Stochastic controllability of systems with variable delay in control," Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, pp. 279-284, 2008.

[16] A. Thabet, "Adaptive-state feedback control for Lipschitz nonlinear systems in reciprocal-state space: Design and experimental results," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, vol. 233, no. 2, pp. 144-152, 2019. https://doi.org/10.1177/0959651818786374

[17] A. Thabet, G. B. H. Frej, N. Gasmi, and M. Boutayeb, "Feedback stabilization for one sided Lipschitz nonlinear systems in reciprocal state space: Synthesis and experimental validation," Journal of Electrical Engineering, vol. 70, no. 5, pp. 412-417, 2019. DOI: 10.2478/jee-2019–0074

[18] S. Yin, P. Shi, and H. Yang, "Adaptive fuzzy control of strict-feedback nonlinear time-delay systems with unmodeled dynamics," IEEE transactions on cybernetics, vol. 46, no. 8, pp. 1926- 1938, 2015.

[19] X. Chen, Z. Chen, and C. Mei, "Sampled measurement output feedback control of multi-agent systems with jointly-connected topologies," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 61, no. 6, pp. 1670-1675, 2015.

[20] Z. Chen, "Feedforward design for output synchronization of nonlinear heterogeneous systems with output communication," Automatica, vol. 104, pp. 126-133, 2019.

https://doi.org/10.1016/j.automatica.2019.02.027

[21] A. Tleulessova ,S.Zhumatov, L.Zhapsarbayeva, "Absolute stability of program manifold of control systems with local connections", International Scientifically-technical journal «Herald to national engineering academy of the Republic of Kazakhstan», ISSN 2709–4693, 2024, № 4 (94), P. 301-309.

IRSTI 69.01.77

10.51889/2959-5894.2025.91.3.007

K.M. Shapen[1], M.B. Gabbassov [2], A.T. Rakhymova [1*], A.M. Kasymkhanov [3]

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[2]System Research Company ”Factor”, Astana, Kazakhstan
[3]Altai branch of LLP ”Scientific and Production Center of Fisheries”,
Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
*e-mail: *aigerim_rakhimova@mail.ru*

ASSESSMENT OF FISH POPULATION DYNAMICS IN LAKE ZAISAN USING A COHORT APPROACH

Abstract

This paper proposes a new approach for estimating changes in the abundance and biomass of fish populations in water reservoirs based on sample data from research and commercial fishing. The developed approach takes into account the age structure and dynamics of changes by cohort, without requiring additional information on absolute fish abundance. To reduce the influence of fluctuations and uncontrolled factors, pre-processing of the data using third-degree polynomial regression is used. A mechanism for conditionally accounting for sex composition in biomass calculations is also implemented, allowing for increased estimation accuracy. The presented formulas provide a flexible and adaptive analysis method suitable for conditions with limited or incomplete data. The new assessment approach provides reproducible and comparable results, enabling monitoring of population status and tracking trends in the abundance and biomass of fish resources. The proposed mathematical model is an alternative cohort method for estimating fish populations and their biomass, which should be considered in conjunction with other approaches to stock assessment and applied jointly to management decision-making in fisheries.

Keywords: mathematical modeling, cohort analysis, fish resources, biomass, abundance, scientific fishing, sex structure, data preprocessing, population dynamics.

К.М. Шапен [1], М.Б. Габбасов [2], А.Т. Рахымова [1], А.М. Касымханов [3]
[1] Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана қ., Қазақстан
[2] ТОО «КСИ Фактор», Астана қ., Қазақстан
[3]«Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай ф-лы, Өскемен қ., Қазақстан

ЖАЙСАН КӨЛІНДЕГІ БАЛЫҚТАРДЫҢ САНДЫҚ ДИНАМИКАСЫН КОГОРТТЫҚ ТӘСІЛМЕН БАҒАЛАУ

Аңдатпа

Жұмыста су қоймаларындағы балық популяцияларының сандық мөлшері мен биомассасының өзгерісін бағалаудың жаңа әдісі ұсынылады. Құрылған әдіс балықтардың жастық құрылымын және когорталар бойынша динамикасын ескереді, сонымен қатар олардың абсолюттік саны туралы қосымша ақпаратты қажет етпейді. Ауытқулар мен бақыланбайтын факторлардың әсерін азайту үшін деректер үшінші дәрежелі полиномиалдық регрессия әдісімен алдын ала өңделеді. Сонымен бірге биомассаны есептеу кезінде жыныстық құрамды шартты түрде ескеретін механизм енгізілген, бұл бағалаудың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған формулалар шектеулі немесе толық емес деректер жағдайында да икемді әрі бейімделгіш талдау әдісін қамтамасыз етеді. Жаңа бағалау тәсілі популяцияның жай-күйін бақылауға және балық ресурстарының сандық мөлшері мен биомассасының өзгеру үрдістерін қадағалауға мүмкіндік беретін қайта өндіруге болатын және салыстырмалы нәтижелер береді. Ұсынылған математикалық модель балық популяциясы мен оның биомассасын бағалауға арналған когорттық әдіске балама болып табылады және ол басқа тәсілдермен кешенді түрде қарастырылып, балық шаруашылығын басқару шешімдерін қабылдау кезінде олармен бірге қолданылуы тиіс.

Түйін сөздер: математикалық модельдеу, когортты талдау, балық ресурстары, биомасса, саны, ғылыми балық аулау, жыныстық құрылым, деректерді алдын ала өңдеу, популяция динамикасы.

К.М. Шапен [1], М.Б. Габбасов [2], А.Т. Рахымова [1], А.М. Касымханов [3]
[1] Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан
[2] ТОО «КСИ Фактор», г.Астана, Казахстан
[3]Алтайский ф-л ТОО "Научно-производственный центр рыбного хозяйства",
г.Усть-Каменогорск, Казахстан

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ РЫБ В ОЗЕРЕ ЖАЙСАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГОРТНОГО ПОДХОДА

Аннотация

В настоящей работе предлагается новый подход оценки изменения численности и биомассы рыбных популяций в водоёмах на основе выборочных данных научно-исследовательского и промыслового лова. Разработанный подход учитывает возрастную структуру и динамику изменений по когортам, при этом не требует дополнительной информации об абсолютной численности рыб. Для снижения влияния колебаний и неконтролируемых факторов применяется предварительная обработка данных методом полиномиальной регрессии третьей степени. Также реализован механизм условного учёта полового состава при расчёте биомассы, позволяющий повысить точность оценки. Представленные формулы обеспечивают гибкий и адаптивный способ анализа, пригодный для условий с ограниченными или неполными данными. Новый подход оценки обеспечивает воспроизводимые и сопоставимые результаты, позволяющие производить мониторинг состояния популяции и отслеживать тенденции изменения численности и биомассы рыбных ресурсов. Предложенная математическая модель является альтернативным когортным методом для оценки популяции рыб и ее биомассы, которая должна рассматриваться в комплексе с другими подходами при оценке запасов и применяться совместно с ними при принятии управленческих решений в области рыбного хозяйства.

Ключевые слова: математическое моделирование, когортный анализ, рыбные ресурсы, биомасса, численность, научный лов, половая структура, предварительная обработка данных, динамика популяций

Introduction

Assessing the status of fish populations in water reservoirs is of key importance for the management and planning of fisheries activities. However, in these conditions, researchers often consider limited or incomplete data obtained during research and/or commercial fishing. These data, as a rule, represent sample values, successive turns of fluctuations, transitions with variability of fishing conditions, seasonal factors, changes in sex structure and other sources of uncertainty.

Models based on control catch data are often used for Central Asian countries, including Kazakhstan. These models demonstrate high efficiency in predicting seasonal fluctuations of populations and take into account both natural and anthropogenic factors [1,2].

One of the reliable methods for assessing the current state of a population and forecasting its size is the analysis of the age structure based on scientific fishing data. Such a structure allows us to trace cohort transitions between age groups by year and model demographic dynamics even with limited information on external biotic and abiotic factors [3,4].

Paper [5] examines how the formation of the adult part of a fish population depends on environmental conditions and juvenile (cohort) dynamics. The authors compare two types of models: Internal state distribution models (e.g. partial differential equations) and Internal state configuration models (computer simulations that track the behavior of many individuals individually). Analytical solutions were obtained for three PDE models and compared with equivalent individual-based simulation models. The results showed that both approaches can give similar results, which allows them to be used interchangeably in many cases. However, if random fluctuations in fish growth are temporally correlated (e.g. if a fish grows faster than average one day, it tends to grow faster the next day), then the differences between the models become significant.

Mathematical modeling of fish population dynamics is an important tool in the study of aquatic ecosystems and fisheries management. Such models allow us to predict changes in population numbers, develop sustainable fishing strategies and assess the impact of external factors, including climate and anthropogenic changes. [6-10].

In the current situation, it is necessary to develop robust mathematical approaches that allow extracting useful information even from noisy samples. The aim of this study is to propose a methodology that provides an assessment of changes in the abundance and biomass of fish by species and age groups, taking into account the cohort structure, relative changes and pre-processed data.

In this article, we develop a model that allows tracking population dynamics without the need for absolute indicators. Particular attention is paid to the issue of adjusting the average fish weight taking into account the sex composition, which significantly increases the accuracy of biomass assessment. The developed methodology is oriented towards application in conditions of limited availability of detailed data and has a universality that allows it to be used for analyzing various types of water reservoirs.

In Kazakhstan, several established approaches based on different principles and input data are used to estimate fish populations. Each of these methods has its own advantages and limitations, is based on certain assumptions and is sensitive to the quality of the input information. Depending on the chosen approach, significant differences in results are possible, which complicates the adoption of scientifically based decisions in the field of fisheries management.

An additional complication is the limited observational data, information on commercial catches is often fragmentary, irregular and noisy, and scientific research is not conducted in all age groups or years. This significantly reduces the reliability of traditional population estimates.

Thus, there is a need for alternative models that can take into account the incompleteness, uncertainty and variability of data. In this study, a cohort approach is proposed as a dynamic model for assessing changes in fish abundance by age groups. The model does not require a full volume of information and is focused on identifying general trends and structural changes, complementing existing methods of analysis and assessment.

Research methodology

In accordance with the approved methodological guidelines, researchers in the Republic of Kazakhstan have at their disposal data on the quantity and weight of fish caught by species and age groups. This information was obtained as a result of scientific research fishing, and in some cases - on the basis of observations of commercial catch in different years.

Let us introduce the following notations:

x_{ij}^{k} is an amount of individuals of the *i*-th fish species of the *j*-th age in the *k*-th year caught by the method of scientific and/or commercial fishing;

w_{ij}^{k} is an average weight of one individual of the *i*-th fish species of the *j*-th age in the *k*-th year caught by the method of scientific and/or commercial fishing;

where $i = \overline{1,I}$ is fish species, $j = \overline{j_{i0},J_i}$ is age, $k = \overline{1,T}$ is year of observation (j_{i0} Minimum age estimated for the *i*-th species).

The initial data are sample values characterizing the structure of the fish population by species, age and years of observation. However, they are subject to the influence of a number of factors: uneven fishing intensity, seasonal fluctuations, variability of the sex composition and other random effects. In this regard, to increase the reliability and analytical value of the information, a preliminary processing stage is required, which allows eliminating noise and stabilizing statistics. Based on the purified data, a mathematical model is then built to assess the dynamics of the number and biomass of the water reservoir.

1.1. Data preprocessing

Due to the fact that data obtained from research and/or commercial fishing demonstrate high variability and random nature, they require preliminary processing.

Let us introduce the notation ξ_{ij}^{k} for observed data (noisy data).

In order to reduce the influence of random fluctuations and stabilize the sample, data are grouped according to relevant characteristics, such as age categories or catch share.

There are many methods for preprocessing $f(x)$ data, the choice of which depends on the amount and quality of available information. In this study, given the limited source data, various approaches were tested: Bayesian, k-nearest neighbors, linear and polynomial regression.

The best results in approximating dependencies were shown by third-degree polynomial regression, which ensured stable smoothing and preservation of characteristic trends. As a result, the following function was constructed:

$$\bar{\xi}_{ij}^{k} = f_{ij}(k) \tag{1}$$

where, $f_{ij}(k)$ is a data preprocessing function used to calculate the estimated value ξ_{ij}^{k},

$\bar{\xi}_{ij}^{k}$ is an estimated value of ξ_{ij}^{k}, obtained as a result of scientific fishing, after preliminary processing.

1.2. Construction of a mathematical model

In this study, only research and/or commercial fishing data are used as initial information. The lack of comprehensive data obtained by other methods does not allow for a reliable assessment of the absolute number of fish populations.

In this regard, the main emphasis is placed on assessing the dynamics of population change by age cohorts. This approach allows tracking trends in the population structure, despite the lack of information on absolute values.

The cohort approach is adopted as the basis for modeling, in which the transition of individuals from one age class to the next is described using a generalized form of the Baranov equation [11]:

$$N_{ij+1}^{k+1} = N_{ij}^{k} e^{-Z} \tag{2}$$

where, N_{ij}^{k} is an amount of individuals of the *i*-th fish species of the *j*-th age in the *k*-th year;

Z is a mortality coefficient.

Since absolute values of abundance are unknown and the model is based on data obtained as a result of scientific fishing, the transition between age classes and years is carried out on the basis of relative ratios of estimated values formed after preliminary processing. Taking into account equation (2), the dynamics of abundance can be represented as the following ratio:

$$N_{ij}^{k\pm l} = \frac{\bar{x}_{ij}^{k\pm l}}{\bar{x}_{ij}^{k}} N_{ij}^{k} \tag{3}$$

where, $\bar{x}_{ij}^{k}$ is an estimated value of the quantity x_{ij}^{k}, obtained as a result of scientific and/or commercial fishing, after data preprocessing from (1);

l is the number of years for which the population is restored based on relative changes.

This approach allows us to take into account relative changes in the sample, while maintaining the cohort logic of the transition between ages, despite the lack of absolute data.

Based on expression (3), it is possible to reconstruct the values of abundance by age, after which the total number of individuals of the *i*-th fish species in the *k*-th year is determined as the sum of all age groups:

$$N_{i}^{k} = \sum_{j=j_{i0}}^{J_i} N_{ij}^{k} \tag{4}$$

where, N_{i}^{k} is the amount of individuals of the *i*-th fish species in the *k*-th year, summed up for all age groups.

The change in the number of a given species for each subsequent year, according to equation (4), is calculated using the following formula:

$$\frac{N_i^{k+1}}{N_i^k} = \frac{\sum_{j=j_{i0}}^{J_i} N_{ij}^{k+1}}{\sum_{j=j_{i0}}^{J_i} N_{ij}^k} \quad (5)$$

In this way, the dynamics of the population of each species over time is determined, which creates the basis for subsequent generalization of the results at the level of the entire population.

1.3. Estimation of the total amount of fish in a water reservoir

To analyze the general state of the population, the total number of fish is calculated for all species and age groups in each year of observation. This indicator is determined by the formula:

$$N^k = \frac{1}{I}\sum_{i=1}^{I} \frac{N_i^k}{\bar{p}_i^k} \quad (6)$$

where, N^k is an amount of total fish stock in the *k*-th year of observation;

$\bar{p}_i^k$ is the proportion of the *i*-th fish species from the total amount of fish caught from scientific fishing in the *k*-th year, obtained as a result of scientific fishing, after data preprocessing from (1).

This calculation method allows us to recalculate the amount of each species taking into account its proportion in the total catch obtained from scientific and commercial fishing. Scientific fishing data is rarely proportional to the real population structure: some species are caught more often, others less often, and this creates a bias. Dividing N_i^k by $\bar{p}_i^k$ corrects this bias, allowing us to imagine what the number of a given species would be if the catch reflected the true population structure.

Summing over all species yields the total fish abundance, and dividing by the number of species *I* yields an average estimate that smooths out the effects of disproportions between species. This is especially important when working with limited and heterogeneous data, where one or more dominant species may distort the final outcomes.

Based on expression (6), it is possible to determine the relative change in the total amount of fish in a reservoir between two consecutive years. This allows tracking population growth or decline trends regardless of absolute values, which is especially important when working with sample data. The relative change in population is calculated using the following formula:

$$\frac{N^{k+1}}{N^k} = \frac{\sum_{i=1}^{I} \frac{N_i^{k+1}}{\bar{p}_i^{k+1}}}{\sum_{i=1}^{I} \frac{N_i^k}{\bar{p}_i^k}} \quad (7)$$

This approach allows us to generalize information on species and obtain an integral characteristic of the state of the population, smoothing out the impact of the irregular distribution of species in catches.

1.4. Estimation of total biomass in a water reservoir

Data on average fish weight obtained as a result of research and/or commercial fishing do not contain separate information by sex from year to year, which significantly complicates the analysis. Let us consider the following expression:

$$\bar{q}_{i,j}^k = \alpha_{ij}^k \bar{q}_{i,j}^{(f)k} + (1 - \alpha_{ij}^k)\bar{q}_{i,j}^{(m)k} \quad (8)$$

where, $\bar{q}_{i,j}^{(f)k}$, $\bar{q}_{i,j}^{(m)k}$ are the average weight of females and males respectively;

α_{ij}^k is the proportion of females in the catch of a given age group.

Since the proportion of sexes varies from year to year, the average mass may be biased by changes in the catch structure rather than biological factors. To eliminate this bias, the study implemented a conditional reconstruction of the average mass by sex. Based on the known proportions and the accepted assumptions, the values of the mass of males and females were reconstructed. This made it

possible to reduce the influence of variations in the sex composition and ensure comparability of data between years.

Based on expression (8), the average mass is further used to perform calculations:

$$\bar{q}_{i,j}^{(avg)k} = \frac{1}{2}\left(\bar{q}_{i,j}^{(f)k} + \bar{q}_{i,j}^{(m)k}\right) \tag{9}$$

Taking into account (9), the total biomass in the *k*-th year is determined:

$$W^k = \sum_{i=1}^{m} W_i^k = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{\bar{p}_i^k}\sum_{j=j_{i0}}^{n_i}\bar{q}_{i,j}^{(avg)k} N_{ij}^k \tag{10}$$

where, W^k is a biomass of the total fish stock in the *k*-th year of observation;

W_i^k is a biomass of the total stock of the *i*-th fish species in the *k*-th year of observation;

$\bar{q}_{ij}^{\,k}$ is a mass of caught fish of the *i*-th species of the *j*-th age in the *k*-th year, after data preprocessing from (1).

Based on equation (10), the dynamics of changes in the biomass of each individual is calculated, similar to the assessment of its numbers:

$$\frac{W_i^{k+1}}{W_i^k} = \frac{\sum_{j=j_{i0}}^{J_i}\bar{q}_{i,j}^{(avg)k+1}N_{ij}^{k+1}}{\sum_{j=j_{i0}}^{J_i}\bar{q}_{i,j}^{(avg)k}N_{ij}^k} \tag{11}$$

The dynamics of changes in the total biomass in a water reservoir is calculated as:

$$\frac{W^{k+1}}{W^k} = \frac{\sum_{i=1}^{I} W_i^{k+1}}{\sum_{i=1}^{i} W_i^k} = \frac{\frac{1}{I}\sum_{i=1}^{I}\frac{1}{\bar{p}_i^k}\sum_{j=j_{i0}}^{J_i}\bar{q}_{i,j}^{(avg)k+1}N_{ij}^{k+1}}{\frac{1}{I}\sum_{i=1}^{I}\frac{1}{\bar{p}_i^k}\sum_{j=j_{i0}}^{J_i}\bar{q}_{i,j}^{(avg)k}N_{ij}^k} \tag{12}$$

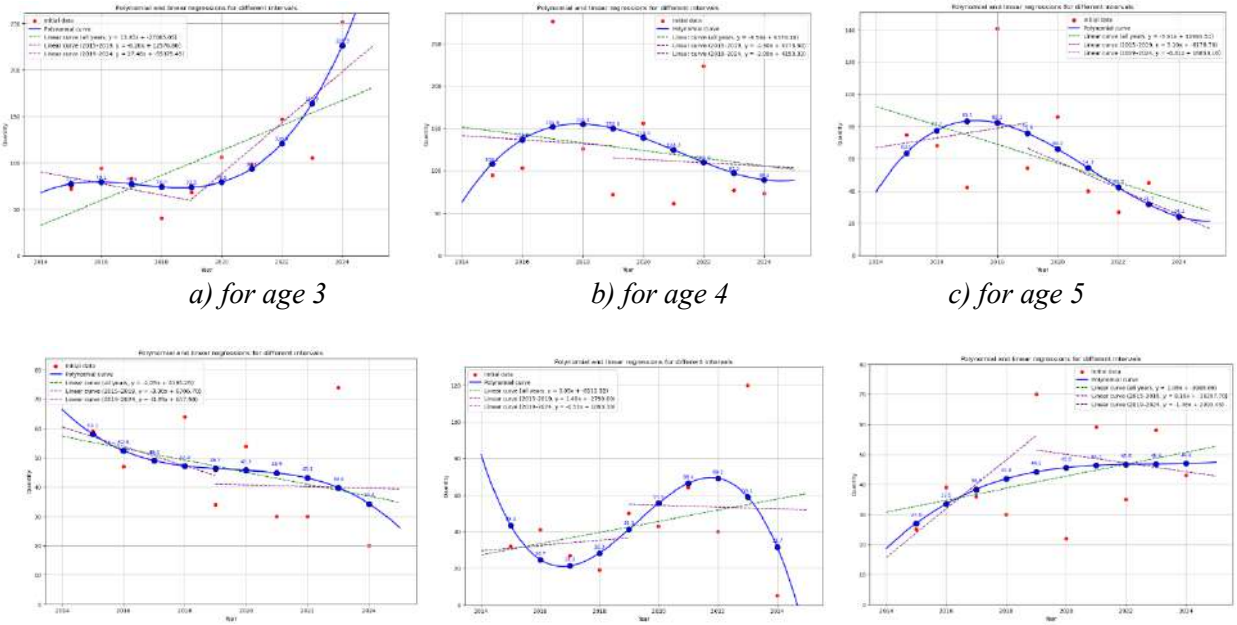
This approach allows us to eliminate distortions arising from changes in the sex composition of the sample and to obtain a more stable and comparable estimate of the fish biomass in the reservoir.

Based on equations (5) and (11), the dynamics of changes in the amount of each individual and its biomass by year are calculated. Equations (7) and (12) allow us to determine the aggregate indicators reflecting changes in the total amount and biomass of fish at each time step. These dependencies serve as indicators of the state of the population, allowing us to track trends and identify changes in the studied water reservoir. Below are the results obtained on the basis of a mathematical model constructed using research and commercial fishing data.

Results of the study

Since the data obtained as a result of research and commercial fishing are stochastic in nature and characterized by high variability, they are largely subject to the influence of random fluctuations caused by both biological factors (differences in sex composition, heterogeneity of fish distribution in the water area, seasonal migrations) and technical features of the fishing process itself (location and time of setting gear, sampling intensity, weather conditions). In this regard, at the first stage of the analysis, special attention was paid to the procedures of preliminary data processing aimed at eliminating noise distortions and stabilizing time series. In this study, third-degree polynomial regression (k = 3) was used as a basic tool for smoothing and restoring the patterns of the population age structure. This choice is due to its ability to simultaneously ensure the stability of the approximation with a limited volume of observations and preserve key trends characteristic of population dynamics. As a result of the processing, reconstructed series of fish numbers by age groups were obtained, which made it possible to increase the reliability of the analysis and create a basis for further construction of cohort models.

The study focused on the five most typical fish species for the ichthyofauna of Lake Zhaisan: bream, pikeperch, perch, roach, ide and pike. These species represent both mass commercial objects and important elements of the trophic structure of the ecosystem, which makes them indicative for analyzing the general state of populations in the studied reservoir. Data processing for the remaining species was carried out using a similar method, but due to their large volume, they are not included in this section. In Figure 1 (a, b, c, d, e, f), the red dots represent the original results of the scientific catch, the blue line corresponds to the smoothed curve obtained from the regression analysis, and the dotted lines illustrate the general trends in abundance in age cohorts.

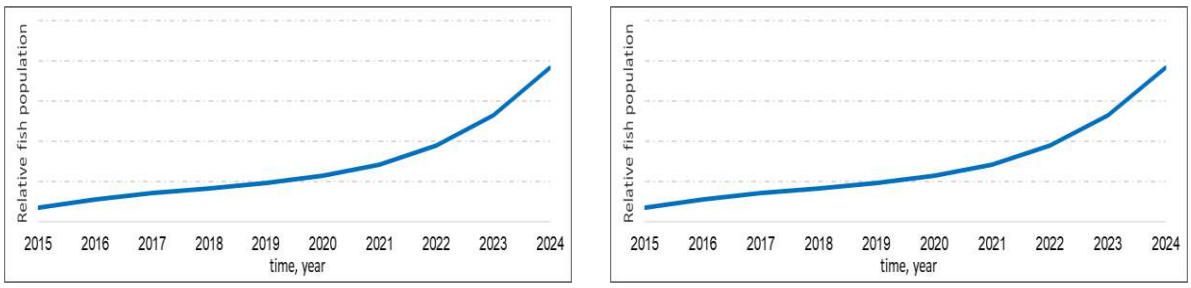


a) for age 3 *b) for age 4* *c) for age 5*

d) for age 6 *e) for age 7* *f) for age 8*

Figure 1. Input data trends for ages 3-8 (for bream species)

Let us proceed to discuss the results obtained on the basis of the developed mathematical model. Figure 2 (a) shows the dynamics of changes in the bream population for the period from 2015 to 2024, showing a gradual increase in numbers throughout the entire observation period. In the first years of observations, a gradual increase in numbers is noted, which subsequently becomes more pronounced. The highest growth rates occur in the middle of the study period, when the number increased especially quickly, reflecting the entry of numerous generations into the population. In subsequent years, growth continued, but its rate slowed down somewhat, which may be due to natural limitations caused by the capacity of the ecosystem and intrapopulation competition. Figure 2 (b) shows the dynamics of the population biomass, which also demonstrates a steady increase throughout the observation period.



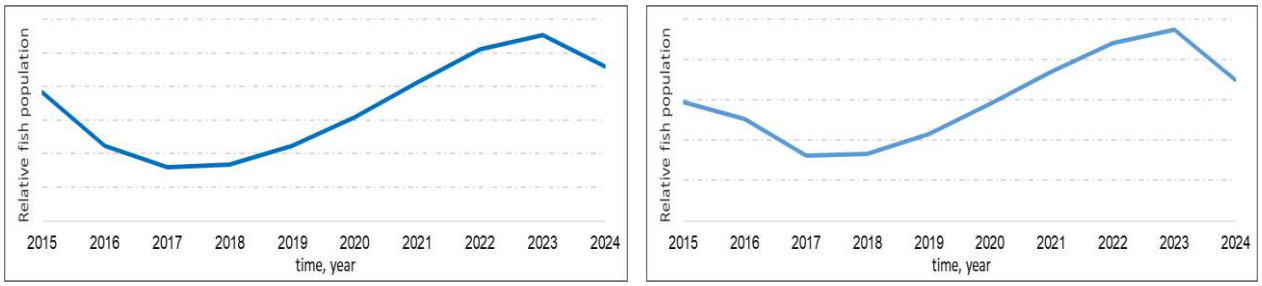
a) bream population *b) bream biomass*

Figure 2. Dynamics of changes in the population and biomass of bream by year

In the first years, the increase was moderate, but with the accumulation of older age groups, the rate of increase increased, and the maximum values were reached in the final years. Thus, the modeling results confirm the positive trend in both numbers and biomass, which indicates population stability.

Further, Figure 3 (a, b) shows changes in the dynamics of the population size and biomass of the pikeperch in the period from 2015 to 2024. Unlike bream, the dynamics of the pikeperch population is more oscillatory. At the beginning of the period under review, a decrease in the indicator was observed, reaching minimum values by 2017–2018. In subsequent years, the number began to gradually recover: the growth became especially noticeable after 2019, when the values stably increased until 2022–2023. By the end of the period, a slight decrease in numbers is noted, which may be due to natural population fluctuations and the impact of external factors.

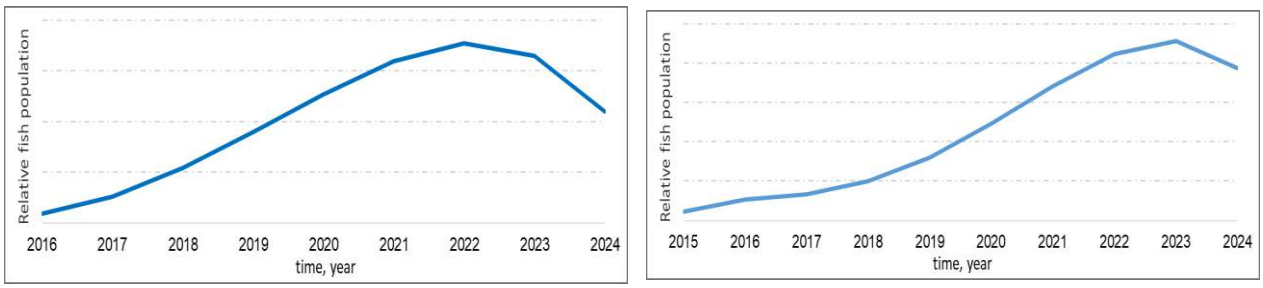
The change in pikeperch biomass generally follows the dynamics of abundance. After a decline in the first years, the indicators remained at a relatively low level, but starting in 2019, there was a steady increase, reaching a maximum by 2022–2023. In 2024, a slight decrease was recorded, coinciding with a decrease in abundance.



a) pikeperch population *b) pikeperch biomass*

Figure 3. Dynamics of changes in the population and biomass of pikeperch by year

Figure 4 (a, b) shows changes in the dynamics of the population size and biomass of the perch population from 2015 to 2024. The population dynamics are characterized by progressive growth throughout most of the period under review. Initially, the growth was moderate, but starting in 2018, the rate of increase increased significantly, and by 2022–2023, the population reached its maximum values. In 2024, a decrease in the indicator was recorded, which may be due to natural population fluctuations and a decrease in the proportion of older age groups.



a) perch population *b) perch biomass*

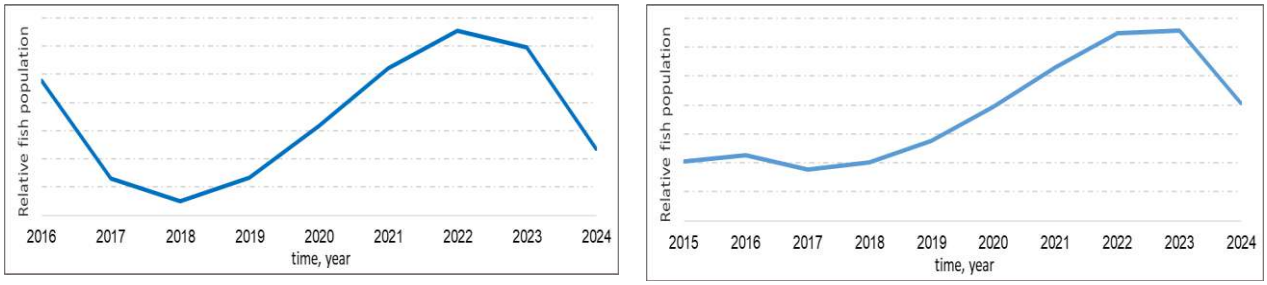
Figure 4. Dynamics of changes in the population and biomass of perch by year

The change in biomass generally follows the identified trends in numbers. Throughout the period, there was an increase, most pronounced from the end of the second decade, when a greater number of adults began to predominate in the population. The maximum values are in 2022–2023, after which a slight decrease is noted in 2024.

Figure 5 (a, b) shows changes in the dynamics of the abundance and biomass of the roach population in the period from 2015 to 2024. In the first years of observation, the population showed

a downward trend, reaching minimum values in 2017. Later, the situation changed: starting in 2018, there was a steady increase that continued until 2022. By 2023, the population remained relatively high, but in 2024 there was a noticeable decrease, which reflects the oscillatory nature of the dynamics of this species.

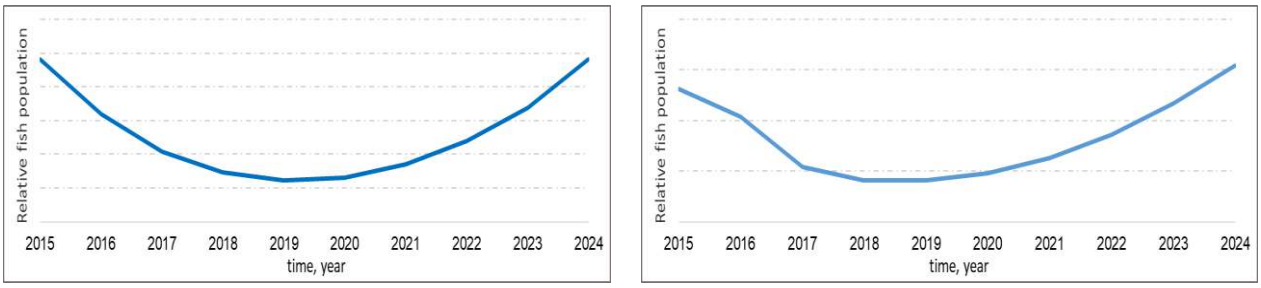
The change in biomass generally corresponds to the identified trends. After moderate fluctuations at the beginning of the period, a consistent increase in values was observed until 2022–2023, when a maximum was recorded. In 2024, the indicators decreased significantly, which coincides with a decrease in the population.



a) roach population *b) roach biomass*

Figure 5. Dynamics of changes in the population and biomass of roach by year

Figure 6 (a, b) show changes in the abundance and biomass of the pike population in the period from 2015 to 2024. The population dynamics are characterized by a decrease in the first years of observations, when the indicators reached minimum values by 2018–2019. The situation gradually improved: starting in 2020, there was a steady increase, which continued until the end of the period, reaching a maximum in 2024. The change in biomass generally follows these trends. After a noticeable decrease in the first half of the period, the values remained low until 2019. Since 2020, a gradual recovery has been outlined, accompanied by an increase in biomass, which led to maximum values in 2024.



a) pike population *b) pike biomass*

Figure 6. Dynamics of changes in the population and biomass of pike by year

To assess changes in the total fish population in a reservoir, it is necessary to track how the shares of individual species and age groups in the community structure change. Based on previously calculated indicators for each species, an integrated assessment of the total fish population was made for the period 2015–2024. Figures 7 and 8 show the dynamics of population change for all species considered, as well as the corresponding changes in their total biomass.

Based on the calculations of the population dynamics for five fish species (bream, pikeperch, perch, roach, pike) for the period 2015–2024, a steady upward trend is observed. A particularly pronounced increase is observed after 2020, indicating an improvement in the state of fish resources. The bream population made the greatest contribution to the growth of relative abundance. Thus, Figures 8 and 9 reflect the overall picture of the positive dynamics of the abundance and biomass of fish in Lake Zhaisan.

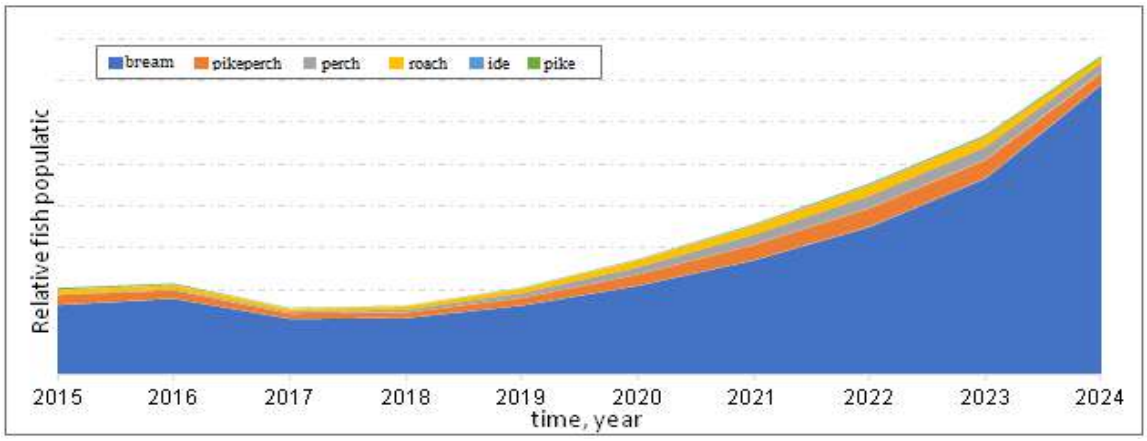


Figure 7. Dynamics of total abundance of all species

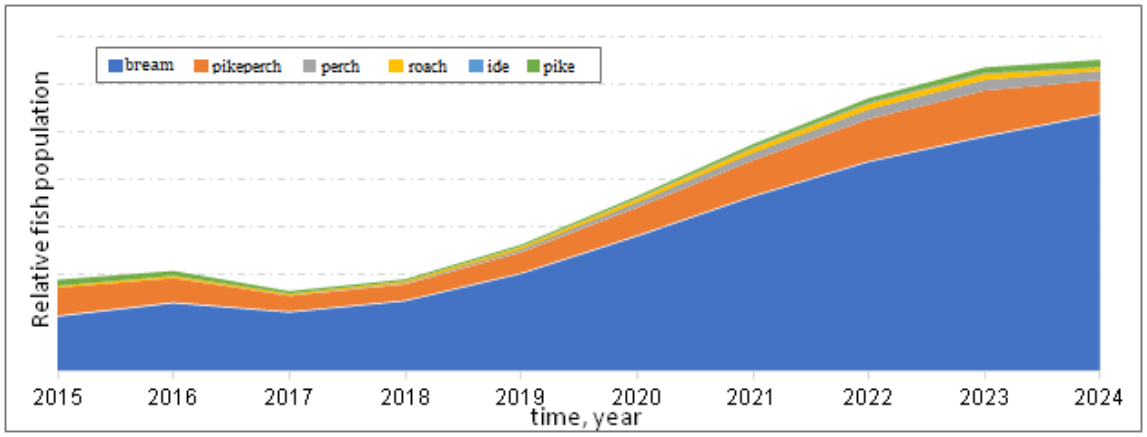


Figure 8. Dynamics of total biomass of all fish species

Discussion

The results obtained during the study demonstrate the high practical significance of the proposed cohort approach for assessing the abundance and biomass of fish populations in conditions of limited and fragmentary initial data. The use of smoothing methods based on polynomial regression made it possible to significantly increase the reliability of calculations and eliminate the influence of random fluctuations characteristic of research and commercial fishing data.

Analysis of the dynamics of changes in the fish population and biomass of the five main fish species of Lake Zhaisan revealed a stable positive trend, especially pronounced in the period after 2020. This may be due to a number of factors, including changes in the water regime, a decrease in fishing pressure, or other ecological and economic conditions. The most significant contribution to the growth of the total abundance and biomass was made by bream, which is consistent with its dominant position in the catch structure.

The advantage of the proposed model is its adaptability to incomplete and irregular data, as well as the possibility of application in the absence of information on sex composition, absolute abundance and biomass. This approach can be useful in the analysis of poorly observed or hard-to-reach water bodies, where traditional methods do not provide sufficient accuracy and completeness.

Conclusion

In this study, an approach to assessing the dynamics of changes in fish population and biomass based on cohort analysis and regression smoothing of sample data from scientific and commercial fishing was developed and implemented.

The application of this methodology to fish populations in Lake Zhaisan allowed us to identify a steady increase in relative abundance and biomass indicators over recent years, as well as to determine species-specific features of changes in age structure.

The proposed approach is a universal tool that allows assessing the state of aquatic bioresources in conditions of limited information. It can be recommended for further use in monitoring systems and scientific substantiation of management decisions in the field of protection and rational use of fish stocks, including within the framework of existing fisheries regulation programs in the Republic of Kazakhstan.

Acknowledgements

This research has been/was/is funded by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR23591095)

Список использованных источников

[1] Казанцев Н.М. (2016). Использование математических моделей для оценки динамики численности рыбы в пресных водоемах Казахстана. Экология, 47(1), 38-45.

[2] Дерендяева Т.М. Математические модели управления рыболовством // Theory and practice of modern science. 7(13) (2016), 125-128.

[3] Ohlberger J, Langangen Q, Stige LC. (2022). Age structure affects population productivity in an exploited fish species. Ecol Appl. Jul;32(5):e2614. DOI: 10.1002/eap.2614.

[4] Rovellini A, Punt AE, Dorn M.W., Kaplan I.C., Bryan M.D., Adams G., Aydin K., Baker M.R., Barnes C.L., Ferriss B.E., Fulton E.A., Haltuch M.A., Hermann A.J., Holsman K.K., McGilliard C.R., McHuron E.A., Morzaria-Luna H.N., Surma S. (2025). Evaluating ecosystem caps on fishery yield in the context of climate stress and predation. Ecol Appl. Apr;35(3):e70036. DOI: 10.1002/eap.70036.].

[5] Deangelis D.L., Rose K.A., Crowder L.B., Marschall E.A., Lika D. Fish cohort dynamics: application of complementary modeling approaches // The American Naturalist, Vol. 142, No. 4. 1993, pp. 604-622. DOI: 10.1086/285560 http://www.journals.uchicago.edu/loi/an

[6] Shapen K.M., Gabbassov M.B., Rakhymova A.T., Kasymkhanov A.M. Mathematical modeling of fish resources assessment. KazNU Bulletin. Mathematics, Mechanics, Computer Science Series, 123(3) (2024), 147–156. DOI: 10.26577/JMMCS2024-v123-i3-12

[7] Éva E. Plagányi. Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 477. Rome. 2007.

[8] Isam Al-Darabsah, Yuan Yuan. A Stage-Structured Mathematical Model for Fish Stock with Harvesting. SIAM Journal on Applied Mathematics. Vol.78(1) (2018), 145-170. DOI.org/10.1137/16M1097092

[9] Максименко В.П., Антонов Н.П. Количественные методы оценки рыбных запасов: моногр. — Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2003. — 256 с.

[10] Страшкраба, М.; Гнаук, А. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование. Издательство: М.: Мир. 1989 г. 376 с.

[11] Баранов Ф.И. (1918) К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Изв. Отдела рыбоводства и научно-рыбоводческих исследований Т. 1. Вып.2. - С.84–128

References

[1] Kazantsev, N. M. (2016). Ispol'zovanie matematicheskikh modelei dlya otsenki dinamiki chislennosti ryby v presnykh vodoemakh Kazakhstana [The use of mathematical models to assess fish population dynamics in freshwater bodies of Kazakhstan]. Ekologiya, 47(1), 38–45.

[2] Derendyaeva, T. M. (2016). Matematicheskie modeli upravleniya rybolovstvom [Mathematical models of fisheries management]. Theory and Practice of Modern Science, 7(13), 125–128.

[3] Ohlberger J, Langangen Q, Stige LC. (2022). Age structure affects population productivity in an exploited fish species. Ecol Appl. Jul;32(5):e2614. DOI: 10.1002/eap.2614.

[4] Rovellini A, Punt AE, Dorn M.W., Kaplan I.C., Bryan M.D., Adams G., Aydin K., Baker M.R., Barnes C.L., Ferriss B.E., Fulton E.A., Haltuch M.A., Hermann A.J., Holsman K.K., McGilliard C.R., McHuron E.A.,

Morzaria-Luna H.N., Surma S. (2025). Evaluating ecosystem caps on fishery yield in the context of climate stress and predation. Ecol Appl. Apr;35(3):e70036. DOI: 10.1002/eap.70036.].

[5] Deangelis D.L., Rose K.A., Crowder L.B., Marschall E.A., Lika D. Fish cohort dynamics: application of complementary modeling approaches // The American Naturalist, Vol. 142, No. 4. 1993, pp. 604-622. DOI: 10.1086/285560 http://www.journals.uchicago.edu/loi/an

[6] Shapen K.M., Gabbassov M.B., Rakhymova A.T., Kasymkhanov A.M. Mathematical modeling of fish resources assessment. KazNU Bulletin. Mathematics, Mechanics, Computer Science Series, 123(3) (2024), 147–156. DOI: 10.26577/JMMCS2024-v123-i3-12

[7] Éva E. Plagányi. Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 477. Rome. 2007.

[8] Isam Al-Darabsah, Yuan Yuan. A Stage-Structured Mathematical Model for Fish Stock with Harvesting. SIAM Journal on Applied Mathematics. Vol.78(1) (2018), 145-170. DOI.org/10.1137/16M1097092

[9] Maksimenko, V. P., & Antonov, N. P. (2003). Kolichestvennye metody otsenki rybnykh zapasov [Quantitative methods for assessing fish stocks]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO.

[10] Strashkraba, M., & Gnauk, A. (1989). Presnovodnye ekosistemy. Matematicheskoe modelirovanie [Freshwater ecosystems: Mathematical modeling]. Moscow: Mir.

[11] Baranov, F. I. (1918). K voprosu o biologicheskikh osnovaniyakh rybnogo khozyaistva [On the biological foundations of fisheries]. Izvestiya Otdela Rybovodstva i Nauchno-Rybovodcheskikh Issledovanii, 1(2), 84–128.

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

МРНТИ 14.25.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.008

Г. Абиқызы[1]*, Б. Д. Сыдыхов[1]

[1]SDU University, г. Каскелен, Казахстан
**e-mail: abikyzy89@gmail.com*

ОБ ОБУЧЕНИИ ОБЫКНОВЕННЫМ ДРОБЯМ В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация

В данной статье проводится анализ школьных программ и учебных пособий по обучению школьников обыкновенным дробям в основной школе. Обыкновенные дроби — важная тема, освоение которой формирует базу для дальнейшего изучения математики, однако её усвоение часто вызывает трудности у школьников. В статье рассматривается использование числовой оси и особенности представления дробей в различных учебных материалах, включая нормативные документы и дополнительную литературу, ориентированную на учителей и учащихся. Особое внимание уделено методам введения понятий дроби, единичного отрезка и их изображению на числовой оси. Выявлены основные трудности, с которыми сталкиваются ученики при освоении этой темы, а также ограничения в представлении материала в существующих учебниках. В статье также рассматриваются теоретические особенности обучения обыкновенным дробям в условиях цифровизации, а также ее роль в повышении качества их усвоения в основной школе. В заключении предлагаются рекомендации по улучшению методик обучения обыкновенных дробей на числовой оси с использованием цифровых инструментов, что способствует развитию математического мышления у школьников.

Ключевые слова: обыкновенные дроби; числовая ось; единичный отрезок; методика преподавания математики; трудности усвоения; представление дробей; цифровизация образования.

Г. Абиқызы, Б. Д. Сыдыхов
SDU University, Қаскелең қ., Қазақстан

БІЛІМ БЕРУДІ ЦИФРЛАНДЫРУ ЖАҒДАЙЫНДА НЕГІЗГІ МЕКТЕПТЕ ЖАЙ БӨЛШЕКТЕРДІ ОҚЫТУ ТУРАЛЫ

Аңдатпа

Бұл мақалада негізгі мектепте оқушыларға жай бөлшектерді оқыту бойынша мектеп бағдарламалары мен оқу құралдарына талдау жүргізіледі. Жай бөлшектер – математика пәнін одан әрі үйренуге негіз болатын маңызды тақырып, алайда оны игеру оқушыларға жиі қиындық тудырады. Мақалада сандық осьті пайдалану және әртүрлі оқу материалдарында, соның ішінде нормативтік құжаттар мен мұғалімдер мен оқушыларға арналған қосымша әдебиеттерде бөлшектердің берілу ерекшеліктері қарастырылады. Бөлшек ұғымын, бірлік кесіндіні енгізу әдістеріне және олардың сандық осьте бейнеленуіне ерекше назар аударылады. Оқушылардың осы тақырыпты игеру кезінде кездесетін негізгі қиындықтар, сондай-ақ қолданыстағы оқулықтарда материалдың берілу ерекшеліктері анықталды. Мақалада сондай-ақ цифрландыру жағдайында жай бөлшектерді оқытудың теориялық ерекшеліктері және оның негізгі мектепте игерудің сапасын арттырудағы рөлі қарастырылады. Қорытындыда цифрлық құралдарды қолдану арқылы сандық осьте жай бөлшектерді

оқыту әдістемесін жетілдіруге арналған ұсыныстар беріліп, ол оқушылардың математикалық ойлауын дамытуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: жай бөлшектер, сандық ось, бірлік кесінді, математиканы оқыту әдістемесі, меңгеру қиындықтары, бөлшектердің берілуі, білім беруді цифрландыру.

G. Abikyzy, B. D. Sydykhov
SDU University, Kaskelen, Kazakhstan

ABOUT TEACHING COMMON FRACTIONS IN MIDDLE SCHOOL IN THE CONTEXT OF EDUCATION DIGITALIZATION

Abstract

This article provides a comprehensive analysis of school curricula and textbooks on teaching ordinary fractions in middle school. Fractions are an important topic that forms the foundation for further mathematical study; however, students often encounter difficulties in mastering it. The use of the numerical axis and the features of the representation of fractions in various educational materials, including normative documents and additional literature aimed at teachers and students, are considered. Special attention is paid to the methods of introducing the concepts of fractions, unit segments and their representation on the numerical axis. The main difficulties faced by students in mastering this topic, as well as limitations in the presentation of material in existing textbooks, are revealed. The article also examines the theoretical foundations of teaching fractions in the context of digitalization, as well as its role in improving the quality of their acquisition in primary school. In conclusion, recommendations are offered to improve teaching methods and representation of fractions on the numerical axis, which contributes to the development of mathematical thinking in schoolchildren with the use of digital tools.

Keywords: ordinary fractions; numerical axis; unit segment; mathematics teaching methods; difficulties in comprehension; representation of fractions; digitalization of education.

Введение

Актуальность темы статьи обоснована современным состоянием обучения обыкновенным дробям в основной школе в условиях цифровизации. Обыкновенные дроби являются основой для понимания более сложных математических концепций, таких как десятичные дроби, проценты и алгебра. Полное понимание этой темы на ранних этапах школьного обучения является ключевым для дальнейшего успеха учащихся в математике. Согласно исследованиям, учащиеся часто испытывают сложности в визуализации дробей, определении их эквивалентности и в действиях с ними. Эти трудности связаны с абстрактностью понятий, недостаточной визуализацией и отсутствием практического применения. Результатом данного исследования явлчется обоснование влияния цифровых инструменты при изучении обыкновенных дробей, которое позволяет сделать процесс обучения более наглядным и интерактивным, а также могут значительно улучшить усвоение понятий.

Цифровизация математического образования – один из важных шагов по совершенствованию образовательного процесса. Благодаря эффективному использованию электронных средств можно углубить математические знания учащихся, развить их способность логически мыслить, сделать процесс обучения интересным и доступным [1]. В частности, цифровые технологии предоставляют возможности для создания интерактивных и динамических средств обучения, которые способствуют более глубокому и осмысленному усвоению материала, преодолевая ограничения традиционных учебных пособий. Применение интерактивных числовых осей, визуальных моделей и специализированных программ позволяет не только повысить наглядность, но и обеспечить индивидуализированный подход к обучению, что особенно важно при работе с абстрактными понятиями, такими как дроби. В этой связи использование цифровых технологий становится ключевым элементом в совершенствовании методики преподавания математики, способствуя развитию математического мышления и формированию навыков, необходимых для успешного освоения более сложных математических концепций.

Проблема обучения обыкновенным дробям занимает одно из важных мест в курсе математики начальной школы, так как она закладывает основы математической грамотности и логического мышления у школьников. Освоение этой темы позволяет детям развить навыки работы с числами, понимание отношения частей к целому, а также формирует математическую культуру, необходимую для успешного обучения в дальнейшем. Однако, несмотря на важность данного раздела, процесс освоения обыкновенных дробей нередко вызывает трудности у учеников. Это обусловлено не только сложностью самого понятия, но и качеством используемых учебных пособий и методических материалов.

Целью данной статьи является проведение всестороннего анализа современных школьных программ, учебных пособий и цифровых инструментов, применяемых в процессе обучения школьников обыкновенным дробям. В ходе исследования планируется выявить достоинства и недостатки существующих подходов, а также определить эффективность используемых методов и приемов для формирования навыков работы с дробями у учащихся.

Методология исследования

Обыкновенные дроби играют важную роль в формировании математической грамотности школьников.

В казахстанских школах обучение обыкновенным дробям в основной школе начинается в 5 классе, и является одной из ключевых тем математического образования. Основные учебники, используемые для изучения обыкновенных дробей, разработаны с учетом государственного образовательного стандарта и включают работы Т.А. Алдамуратовой и ее соавторами [2], издаваемые в Алматы издательством "Атамұра". Учебник Т.А. Алдамуратовой и ее соавторов ставит цель познакомить учеников с основными понятиями обыкновенных дробей, развить навыки работы с ними и подготовить к их практическому применению. Курс направлен на формирование у школьников навыков чтения, записи, сравнения и упрощения обыкновенных дробей, а также на освоение арифметических действии с обыкновенными дробями. Важным аспектом в учебнике является использование числовой оси для представления дробей. Учебник вводит числовую ось, начиная с простых дробей, чтобы облегчить ученикам понимание относительных значений дробей и дать визуальную опору для их сравнения. Однако некоторые ученики испытывают трудности с визуализацией дробей и с пониманием концепций правильных и неправильных дробей.

Аналогичный способ представления дробей на числовой оси наблюдается и в учебнике математики для 5 класса под редакцией А.Е. Абылкасымовой и ее соавторов [3]. Анализируя описанный подход к объяснению изображения дробей на координатном луче в учебнике А.Е. Абылкасымовой и ее соавторов отметим, что процесс построения обыкновенных дробей на координатном луче предоставлен в виде примера, что облегчает усвоения темы. В целом, вышеизложенные методы объяснения изображения обыкновенных дробей на числовой оси в этом учебнике можно усовершенствовать посредством использования цифровых инструментов.

Внедрение цифровых технологий в обучение обыкновенным дробям в Казахстане пока находится на стадии развития. Некоторые школы используют интерактивные числовые оси и динамические модели для визуализации дробей, но такие подходы пока не получили широкого распространения в общеобразовательных школах. Однако потенциал цифровизации в этом контексте очевиден: использование специализированных программных инструментов позволяет создавать динамические модели числовой оси, где дроби можно изображать более точно и понятно. Эффективное использование цифровых технологий и инструментов в математическом образовании основывается на проектировании технологии обучения, разработка структуры учебной деятельности и постановка дидактических задач [4].

С внедрением в основное образование современных технологий появилась необходимость иной формы представления знаний, пересмотра методов, форм и средств обучения. Многие авторы предлагают применятьэлектронное обучение в качестве новой формы изучения

материала: Г.Д. Гаджиев, Р.Р. Мухаметшин, Н.Ю. Оганнисян, А.И. Саблинский и др. Несомненно, возникают отдельные вопросы, касающиеся методов, способов и средств для реализации электронного обучения отдельных школьных предметов, в том числе и математики.

Предлагаемые этапы интеграции цифровых технологий

1. Подготовка уроков. Учителям необходимо разработать планы уроков, в которых интегрированы цифровые ресурсы. Это включает подбор подходящих платформ и программ, создание интерактивных заданий и тестов.
2. Проведение уроков. На уроках используются интерактивные доски, мультимедийные презентации и образовательные игры. Эти элементы делают процесс обучения более динамичным и увлекательным.
3. Оценивание знаний. После изучения материала проводится оценка знаний с помощью онлайн-тестов и практических заданий. Это позволяет получить оперативную обратную связь и выявить пробелы в знаниях.

Рассмотрим существующие на сегодня цифровые технологии по обучению обыкновенным дробям.

Одна из крупнейших образовательных платформ в Казахстане Bilimland (*bilimland.kz*) - предлагает интерактивные уроки, анимации и тренажёры по математике, включая разделы по обыкновенным дробям. Имеется возможность визуализации дробей на числовой оси, создание анимационных уроков, а также представлены практические задания для отработки навыков сложения, вычитания и упрощения дробей.

GeoGebra (*GeoGebra.org*) – бесплатное программное обеспечение для изучения математики, которое широко используется в казахстанских школах для визуализации различных математических тем, включая обыкновенные дроби.

LearnSmart (*learnsmartglobal.com*) – онлайн-платформа, предназначенная для эффективного и прозрачного взаимодействия в образовательной среде. Ученики могут сами создавать модели дробей и работать с ними в реальном времени.

Международная образовательная платформа EduPage (*edupage.org*) уже используется в некоторых казахстанских школах. Платформа предоставляет возможность создания тестов и упражнений по темам дробей, учителя могут создавать собственные интерактивные задания с визуализацией дробей, используя встроенные инструменты платформы.

Тренажер Mathematica club (*matematika.club*) прост в использовании, имеет яркое цветовое оформление, что, безусловно, привлекает внимание детей. Имеется возможность проверки выполненного задания. Работа тренажера основана на генерации примеров с различными видами дробей. Решение примеров способствует развитию скорости и качества устного счёта. Однако тренажер не дает возможности для обратной связи с учителем и требует ввода готового ответа без промежуточных вычислений, что достаточно сложно для учащихся 5 класса.

Одним из популярных в настоящее время является сервис LearningApps (*learningapps.org*). Он не только имеет богатую библиотеку уже готовых упражнений по различным предметам, но и дает возможность создавать собственные задания, используя готовые шаблоны. Так, по теме «Обыкновенные дроби» есть возможность найти различные виды упражнений для отработки действий с дробями.

Онлайн тренажер на портале Mathsimple (*mathsimple.ru*) «Дроби. Сложение, Вычитание, Умножение и Деление» представляет собой набор тренажеров для отработки арифметических действий с обыкновенными и десятичными дробями. Однако он тоже требует конкретного ответа без промежуточных действий, которые необходимо выполнить и не представляется возможности набора ответа помощью клавиатуры, а только на клавиатуре в интерфейсе самого тренажера, требует авторизации, что может запутать учащихся.

Существуют сайты, на которых у школьников есть возможность пройти тесты по теме «Обыкновенные дроби». Например, сайт Online Test Pad (*onlinetestpad.com*) не только содержит готовые тесты, но и позволяет их конструировать самостоятельно.

Как видим, в настоящее время существует большое количество электронных курсов для учащихся, созданных специальными организациями, общеобразовательными школами, либо частными лицами. Однако, выделим некоторые методические требования к содержанию учебного материала по теме «Обыкновенные дроби».

Во-первых, содержание обучения должно соответствовать требованиям к результатам освоения темы по школьной программе учебного года.

Во-вторых, подбирая содержание учебного материала, необходимо следовать постоянно меняющимся запросам общества, т.е. использовать в обучении современные информационные технологии обучения.

В-третьих, содержание обучения должно быть внешне привлекательным, любопытным, захватывающим, чтобы у обучающихся было желание изучать ту или иную тему.

Учитывая возраст обучающихся традиционные методы обучения нужно дополнить интерактивными методами, в частности дидактическими играми. В случае цифрового обучения можно говорить о мультимедийных дидактических играх, которые построены в компьютерной среде и преследуют дидактическую цель.

В ходе нашего исследования выявили, что практически ко всем урокам темы «Обыкновенные дроби» можно подобрать и систематизировать цифровые инструменты [5], отвечающие методическим требования, описанным выше. Для наглядности составлен пример календарного планирования календарного планирования к урокам темы «Обыкновенные дроби» с использованием цифровых ресурсов (Таблица 1).

Таблица 1. Пример календарного планирования к урокам темы «Обыкновенные дроби» с использованием цифровых ресурсов.

№	*Тема урока*	*Цифровой ресурс*	*Примечание*
1	*Сравнение обыкновыенных дробей*	*https://www.GeoGebra.org/m/ffx8dhaj*	*Интерактивное упражнение на портале GeoGebra*
2	*Смешанное число*	*https://learningapps.org/649572*	*Интерактивная игра «Переведи неправильную дробь в смешанное число»*
4	*Общий знаменатель*	*https://www.GeoGebra.org/m/z9eymbwq*	*Моделирование (визуализация) эквивалентных дробей*
5	*Представление дробей на числовой оси*	*https://www.GeoGebra.org/m/fcvdamhz*	*Визуализация обозначения расположения дробей на числовой оси*
6	*Сокращение дробей*	*https://onlinetestpad.com/ru/testview/2884944-sokrashhenie-drobej*	*Тест с моментальной проверкой знании и умении в вопросах сокращения дробей.*
7	*Умножение и деления обыкновенных дробей*	*https:// https://bilimland.com/ru/courses/math-ru/arifmetika/raczionalnye-chisla/doli-obyknovennye-drobi/lesson/umnozhenie-i-delenie-obyknovennyx-drobei-i-smeshannyx-chisel*	*Интерактивное объяснение темы*
8	*Нахождение дроби от числа*	*https://learningapps.org/9072380*	*Онлайн – тренажер для закрепления пройденной темы*

Использование подобных цифровых ресурсов позволяет повысить продуктивность работы преподавателя и его учеников [6]. Ниже приведена таблица сравнения традиционных и цифровых методов обучения дробям с точки зрения их эффективности и влияния на учащихся (Таблица 2):

Таблица 2. Сравнительный анализ традиционных и цифровых методов обучения дробям с точки зрения их эффективности и влияния на учащихся

Критерий анализа	*Традиционные учебники*	*Цифровые ресурсы*
Структура учебников	*Содержат последовательные темы, направленные на развитие базовых знаний об обыкновенных дробях. Они включают текстовые объяснения, примеры и задачи для отработки навыков, акцентируя внимание на методическом подходе к обучению.*	*Интерактивные платформы и приложения (например, Bilimland и др.) предлагают мультимедийный контент, анимации и виртуальные задачи, которые помогают визуализировать понятия дробей и делают обучение более наглядным.*
Эффективность обучения	*Обеспечивают структурированное обучение с постепенным усложнением тем. Они способствуют развитию логического мышления через текстовые задачи, однако ограничена визуализация материала.*	*Цифровые инструменты позволяют более эффективно иллюстрировать дроби с помощью анимаций и интерактивных числовых осей. Это улучшает понимание и интерес учеников, особенно тех, кто предпочитает визуальный стиль обучения. Однако цифровые методы могут вызывать отвлекающие факторы, требуя дополнительных усилий для удержания внимания учеников на задании.*
Влияние на учащихся	*Обеспечивают развитие навыков работы с текстом, чтение математических понятий и самостоятельное решение задач. Они развивают навык последовательного мышления и самостоятельного анализа, но могут быть менее привлекательны для современных учеников, привыкших к цифровому контенту.*	*Повышают мотивацию и вовлеченность за счёт игрового и интерактивного контента, создавая больше возможностей для активного участия в процессе обучения. Ученики могут использовать дополнительные упражнения и тренажёры, что способствует лучшему закреплению материала. Однако отсутствие контроля и самоорганизации может снизить эффективность обучения.*
Возможности для индивидуализации	*Представляют единый подход к обучению, ориентированный на среднего ученика*	*Позволяют использовать персонализированный подход, адаптируя задания к уровню знаний конкретного ученика и предоставляя обратную связь в режиме реального времени. Ученики могут учиться в своём темпе, что способствует более глубокому усвоению материала.*
Сложности и ограничения	*При сложении и вычитании дробей, ученики сталкиваются с трудностями в понимании, что может потребовать дополнительных объяснений и повторения материала.*	*Требуют стабильного доступа к интернету и технического оборудования, что может быть проблемой в некоторых школах и регионах Казахстана.*

Доступность и удобство использования	*Не требуют специальных устройств или подключения к интернету, доступны в любое время и месте. Однако их физический вес и необходимость носить с собой могут быть неудобными для некоторых учащихся.*	*Доступны на различных устройствах (компьютеры, планшеты, смартфоны) при наличии интернета. Однако требуют технического оснащения и базовых навыков работы с цифровыми технологиями.*
Актуальность содержания	*Содержат проверенную временем информацию, но обновление содержания происходит медленно из-за длительного процесса издания и распространения.*	*Позволяют оперативно обновлять и дополнять материалы, обеспечивая актуальность информации. Это особенно важно в быстро меняющихся областях знаний.*
Возможности для оценки и обратной связи	*Предлагают упражнения и задачи для самостоятельного решения, однако проверка и оценка результатов обычно требуют участия преподавателя, что может замедлять процесс получения обратной связи.*	*Обладают встроенными инструментами для автоматической оценки и мгновенной обратной связи. Это позволяет учащимся сразу видеть результаты своих действий, понимать ошибки и корректировать их.*

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что традиционные и цифровые методы имеют свои сильные и слабые стороны. Традиционные учебники обеспечивают фундаментальное понимание дробей и способствуют развитию навыков самостоятельной работы. Цифровые методы, в свою очередь, повышают вовлеченность и предлагают более гибкое обучение. Однако, наряду с преимуществами есть и трудности. Во многих школах и учебных заведениях отсутствие соответствующего технического оборудования может препятствовать эффективному использованию цифровых инструментов. Отсутствие стабильной доступности цифровых ресурсов и навыков у учителей может повлиять на качество преподавания. Поэтому необходимо постоянно обучать учителей и повышать их квалификацию. Содержание цифровых инструментов должно быть качественным и понятным школьникам. Здесь важно тесное сотрудничество преподавателей и ИТ-специалистов [1].

Результаты исследования

В ходе исследования и эксперимента, проведенного с участием учащихся 5 классов, была выявлена положительная динамика в успеваемости и мотивации. Средний уровень успеваемости в классах, где использовались цифровые инструменты, вырос на 15–20% по сравнению с традиционным подходом. Методика преподавания обыкновенных дробей с использованием цифровых ресурсов должна быть направлена на развитие познавательной активности и когнитивных навыков учащихся. Она способствует улучшению понимания материала, повышению мотивации и индивидуализации учебного процесса. Однако важно сохранять баланс между цифровыми и традиционными методами для достижения оптимальных результатов обучения.

Настоящая статья имеет обзорный характер и основана на аналитическом подходе, включающем систематизацию и сравнительный анализ данных, полученных из различных источников.

1. *Актуальность цифровых технологий в обучении дробям.* Цифровизация образовательного процесса предоставляет новые возможности для углубленного изучения обыкновенных дробей. Интерактивные цифровые инструменты, такие как GeoGebra, Bilimland, Learning App и другие, способствуют более наглядному и динамичному усвоению материала, снижая когнитивную нагрузку на учащихся.

2. *Трудности в обучении дробям.* Несмотря на наличие методических рекомендаций в школьных учебниках, учащиеся сталкиваются со сложностями в визуализации дробей, понимании их эквивалентности и выполнении арифметических операций. Основные трудности связаны с представлением дробей на числовой оси и делением единичного отрезка на равные части.

3. *Сравнительный анализ традиционных и цифровых методов*. Проведенный сравнительный анализ показал, что традиционные методы обучения дробям обеспечивают фундаментальное понимание темы, но имеют ограниченные возможности визуализации. В то же время цифровые методы позволяют учащимся взаимодействовать с материалом в интерактивном формате, что повышает их мотивацию и интерес к изучению дробей.

4. *Научная значимость исследования.* Полученные результаты подтверждают необходимость модернизации методов преподавания обыкновенных дробей с учетом цифровых технологий. Внедрение интерактивных инструментов и онлайн-платформ способствует формированию у школьников математического мышления, повышает уровень понимания темы и облегчает освоение более сложных математических концепций.

5. *Рекомендации по совершенствованию методики.* Для повышения эффективности обучения рекомендуется:

– Активное использование цифровых платформ для наглядного представления дробей и их манипуляции;

– Разработка новых цифровых инструментов, адаптированных к национальной образовательной программе;

– Интеграция цифровых технологий в традиционные методы обучения для достижения оптимального баланса между классическими и инновационными подходами.

Таким образом, исследование подтверждает, что цифровые технологии играют важную роль в улучшении понимания обыкновенных дробей у учащихся, а их грамотное внедрение способствует повышению качества математического образования в условиях цифровизации. Электронная система обучения должна стать одним из главных средств модернизации образования [7].

Дискуссия

Современные исследования в области преподавания обыкновенных дробей подчеркивают значимость их визуального представления, особенно в условиях цифровизации образования. Несмотря на разнообразие методических подходов, анализ учебных материалов показывает, что традиционные методы обучения часто не обеспечивают достаточной наглядности при освоении темы числовой оси и дробей. Однако, современная школа должна отвечать вызовам информационного общества, готовя личностей, способных успешно взаимодействовать с обществом и успешно реализовывать себя [8] [9].

С одной стороны, использование числовой оси способствует формированию у учащихся интуитивного представления о дробях, их сравнении и соотношении с целыми числами. С другой стороны, исследования указывают на сложность восприятия учащимися дробей на числовой оси, особенно в условиях недостаточного объяснения методики построения. В частности, трудности возникают при делении отрезков на равные части, что приводит к ошибкам в построении и интерпретации дробей. Это подтверждается наблюдениями, которые показывают, что без дополнительного объяснения и использования интерактивных средств ученики часто воспринимают дроби как отдельные символы, а не как числовые значения.

В последние годы активно исследуются возможности цифровых инструментов для улучшения преподавания дробей. В частности, платформы Bilimland, GeoGebra и другие образовательные ресурсы позволяют наглядно демонстрировать процесс построения дробей, обеспечивая интерактивное взаимодействие с числовой осью. Такие технологии, по мнению ряда исследователей, помогают снизить когнитивную нагрузку на учащихся и улучшить понимание сложных математических концепций. Однако проведенное исследование,

предостерегают о возможных трудностях в применении цифровых технологий в образовательном процессе, связанных с недостаточной технической подготовленностью учителей и ограниченным доступом к цифровым ресурсам в некоторых регионах.

Таким образом, в условиях цифровизации образования необходимо находить баланс между традиционными и инновационными методами преподавания обыкновенных дробей. Использование цифровых инструментов открывает новые возможности для наглядного представления материала, но при этом важно учитывать необходимость методической поддержки и обучения преподавателей. Одной из достоинств цифровых образовательных платформ в математическом образовании являе«лёгкость визуализации» математических объектов и отношений [10].

Заключение

Цифровизация образовательного процесса предоставляет новые возможности для более эффективного обучения обыкновенным дробям. Использование цифровых инструментов, таких как интерактивные числовые оси, динамические визуализации и специализированные обучающие приложения, позволяет преодолеть сложности в представлении дробей и делении отрезков на равные части. Это способствует формированию более глубокого понимания математических понятий у учащихся. Цифровые ресурсы могут адаптировать сложные математические темы к индивидуальным потребностям учеников, обеспечивая интерактивный и доступный способ изучения дробей. Таким образом, внедрение цифровых технологий в обучение обыкновенным дробям не только повышает качество математической подготовки, но и развивает навыки работы с современными инструментами, что является важным аспектом в условиях стремительного развития цифрового общества. Таким образом, оптимальным подходом является сочетание обоих методов для повышения эффективности и глубины усвоения темы обыкновенных дробей в основной школе.

Список использованной литературы

[1] Бидайбеков Е.Ы., Пак Н.И., Ошанова Н. Т. Математикалық білім беруді цифрландыру: математиканы оқутудың электрондық құралдарын құру. // Вестник КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки», №2(86). – 2024. - С. 138-144. https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.013.

[2] Алдамуратова, Т., Байшоланова К, Байшоланова Е. Математика: учебник для 5 класса общеобразовательных школ: в 2 ч.// Атамұра. – 2019. Ч. 1. - С. 148-155. URL: https://okulyk.kz/matematika/123/

[3] Абылкасымова А.Е., Кучер Т., Жумагулова З. Математика: учебник для 5 класса общеобразовательных школ: в 2 ч.// Мектеп. – 2017. - Ч. 1. - С. 100-102. URL: https://okulyk.kz/matematika/148/

[4] Drijvers P. Digital Technology in Mathematics Education: Why It Works (Or Doesn't) // Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education / ed. S. Cho. – Springer, Cham, 2015. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_8.

[5] Зулпукарова Д. И. Применение Googlenприложений в организации самостоятельной работы студентов // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т. 5. –№12. – С. 420–430. – URL: https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/52.

[6] Ошанова Н.Т., Буканова А.К. Оқу үдерісінде қолданылатын ментальды карталар// Қазақстанның ғылымы мен өмірі «Педагогика сериясы». Нұрсұлтан. - № 10/2 (142). – 2020. - Б. 259-263.

[7] Ibrayeva.A. Assessment of digital transformation in the education system of Kazakhstan / A. Ibrayeva, S. Yegemberdiyeva // Экономическая серия Вестника ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. № 4. – 2022. – Р. 152-160. https://doi.org/10.32523/2789-4320-2022-4-152-160.

[8] Agafonova S. V., Bryukhova N. G., Kaigorodov B. V., Kuznetsova Yu. V. Digital Transformation of Education for Sustainability of the Caspian Region / // Galactica Media: Journal of Media Studies. – Vol. 4, №3, 2022, – P. 208-222/. https://doi.org/10.46539/gmd.v4i3.321.

[9] Eppler, Martin J. A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing / Martin J. Eppler // Information Visualization. № 5, 2006, – С. 202- 210. https://doi.org/10.1057/palgrave.ivs.9500131

[10] Sacristán A. I. Digital technologies in mathematics classrooms: barriers, lessons and focus on teachers // Proceedings of the 39th annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education / eds. E.Galindo, J. Newton. – Indianapolis, IN: Hoosier Association of Mathematics Teacher Educators, 2017. – P. 90–99.

References

[1] Bidaibekov E.Y., Pak N.I., Oshanova N.T. (2024) Matematykalyk bilim berudi tsyfrlandyru: matematikany oқytudyn elektrondyқ kuraldaryn kuru [Digitalization of mathematical education: creation of electronic tools for teaching mathematics]. Vestnik KazNPU im. Abaia, seriia «Fiziko-matematicheskie nauki», №2(86), 138–144. (In Kazakh). https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.013.

[2] Aldamuratova T., Baisholanova K., Baisholanova E. (2019) Matematika: uchebnik dlia 5 klassa obshcheobrazovatel'nykh shkol: v 2 ch. [Mathematics: textbook for the 5th grade of secondary schools: in 2 parts]. Atamura, Ch. 1, 148–155. (In Russian). URL: https://okulyk.kz/matematika/123/.

[3] Abylkasymova A.E., Kucher T., Zhumagulova Z. (2017) Matematika: uchebnik dlia 5 klassa obshcheobrazovatel'nykh shkol: v 2 ch. [Mathematics: textbook for the 5th grade of secondary schools: in 2 parts]. Mektep, Ch. 1, 100–102. (In Russian). URL: https://okulyk.kz/matematika/148/.

[4] Drijvers, P. (2015). "Digital Technology in Mathematics Education: Why It Works (Or Doesn't)", in Cho, S. (ed.). Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education, Springer, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_8 (In English).

[5] Zulpukarova D.I. (2019) Primenenie Google-prilozhenii v organizatsii samostoiatel'noi raboty studentov [The use of Google applications in organizing students' independent work]. Biulleten' nauki i praktiki, T. 5, №12, 420–430. (In Russian). https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/52

[6] Oshanova N.T., Bukanova A.K. (2020) Oқu uderisinde koldanylatyn mentaldyқ kartalar [Mental maps used in the educational process]. Kazakhstannың gylymy men omiri «Pedagogika seriiasy». Nursultan, № 10/2 (142), 259–263. (In Kazakh).

[7] Ibrayeva A., Yegemberdiyeva S. (2022) Assessment of digital transformation in the education system of Kazakhstan. Ekonomicheskaia seriia Vestnika ENU im. L.N. Gumileva, № 4, 152–160. https://doi.org/10.32523/2789-4320-2022-4-152-160.

[8] Agafonova S. V., Bryukhova N. G., Kaigorodov B. V., Kuznetsova Yu. V. Digital Transformation of Education for Sustainability of the Caspian Region / // Galactica Media: Journal of Media Studies. – Vol. 4, №3, 2022, – P. 208-222/. https://doi.org/10.46539/gmd.v4i3.321.

[9] Eppler, Martin J. A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing / Martin J. Eppler //Information Visualization. № 5, 2006, – С. 202- 210. https://doi.org/10.1057/palgrave.ivs.9500131.

[10] Sacristán, A. I. (2017). "Digital technologies in mathematics classrooms: barriers, lessons and focus on teachers", in Galindo, E., & Newton, J., (eds.). Proceedings of the 39th annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, Indianapolis, Hoosier Association of Mathe-matics Teacher Educators, IN, pp. 90–99 (In English).

IRSTI 14.35.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.009

А.Е. Әбілқасымова[1], Б.М. Қосанов[1], Б.Я. Халимбетов[1*]

[1]Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
**e-mail: khalimbet.b@mail.ru*

ҚАЗАН ТӨҢКЕРІСІНЕ ДЕЙІНГІ ҚАЗАҚСТАНДА МАТЕМАТИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУДІҢ ЖАҒДАЙЫНА ТАРИХИ ШОЛУ

Аңдатпа

Мақалада Қазан төңкерісі 1917 жылға дейін Қазақстандағы математикалық білім берудің тарихи дамуы қарастырылды. Зерттеу барысында мұсылмандық мектептердегі арифметикалық білімнің ерекшеліктері, орыс-қазақ және орыс-бұратана мектептеріндегі математиканы оқыту әдістері талданды. Сонымен қатар, XIX ғасырдың екінші жартысындағы педагогикалық жаңғырулар және математикалық оқулықтардың рөлі сипатталды. Зерттеу әдістері ретінде тарихи-салыстырмалы талдау, педагогикалық деректерді жүйелеу және мұрағаттық құжаттар зерделенді. Қазан төңкерісіне дейін Қазақстанда математикалық білім берудің дамуы күрделі әрі көпқырлы болды, ал оның құрылымы әртүрлі оқу жүйелерінің ықпалымен қалыптасты. Бұл зерттеу Қазақстандағы математикалық білім беру тарихының үздіксіздігін және оның дамуына ықпал еткен факторларды анықтауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: математикалық білім, математикалық білім беру, мұсылмандық мектептер, орыс-қазақ мектептері, орыс-бұратана мектептері, оқыту әдістемесі, Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстан.

А.Е. Абылкасымова[1], Б.М. Косанов[1], Б.Я. Халимбетов[1]
[1]Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ ДО ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Аннотация

В статье рассматривается историческое развитие математического образования в Казахстане до Октябрьской революции 1917 года. В ходе исследования проанализированы особенности арифметического обучения в мусульманских школах, а также методы преподавания математики в русско-казахских и русско-инородческих школах. Кроме того, охарактеризованы педагогические изменения второй половины XIX века и роль математических учебников. В качестве методов исследования использовались историко-сравнительный анализ, систематизация педагогических данных и изучение архивных документов. Развитие математического образования в Казахстане до Октябрьской революции было сложным и многогранным, его структура формировалась под влиянием различных систем обучения. Настоящее исследование позволяет выявить преемственность в истории математического образования в Казахстане и определить факторы, повлиявшие на его развитие.

Ключевые слова: математическое образование, обучение математике, мусульманские школы, русско-казахские школы, русско-инородческие школы, методика преподавания, Казахстан до Октябрьской революции.

A.E. Abylkassymova[1], B.M. Kossanov[1], B.Y. Khalimbetov[1]
[1]Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

HISTORICAL REVIEW OF THE STATUS OF MATHEMATICS EDUCATION IN KAZAKHSTAN BEFORE THE OCT REVOLUTION

Abstract

This article examines the historical development of mathematical education in Kazakhstan prior to the October Revolution of 1917. The study analyzes the characteristics of arithmetic instruction in Muslim schools, as well as the methods of teaching mathematics in Russian-Kazakh and Russian-native schools. Additionally, the pedagogical transformations of the second half of the 19th century and the role of mathematics textbooks are described. The research methods include historical-comparative analysis, systematization of pedagogical

data, and examination of archival documents. The development of mathematical education in pre-revolutionary Kazakhstan was complex and multifaceted, shaped by the influence of diverse educational systems. This study provides insight into the continuity of mathematical education in Kazakhstan and identifies the factors that influenced its evolution.

Keywords: mathematical education, teaching mathematics, Muslim schools, Russian-Kazakh schools, Russian-native schools, teaching methodology, pre-revolutionary Kazakhstan.

Кіріспе

Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстандағы математикалық білім беру ісі ұзаққа созылатын және күрделі, әрі көпқырлы дамуды бастан кешірген тарихи-педагогикалық үдеріс болып табылады. Бұл үдерістің түп-тамыры тым тереңде жатыр, оны барлық түрік тілдес халықтардың математикалық мәдениетінен, мұсылман өркениетіндегі математикалық жетістіктерден, сондай-ақ XIX ғасыр мен XX ғасыр басындағы орыс және татар халықтарының математикалық мәдениетінен бөле-жара қарауға болмайды. Жалпы алғанда, XIX ғасырдың ортасына дейінгі кезеңде Қазақстанда математикалық білім беру мұсылмандық оқу орындары арқылы жүзеге асырылды. Бұл оқу орындарының екі негізгі түрі жұмыс істеді, олар: мектептер және медреселер. Мұсылмандық мектептерде жас балалардың мұсылмандық дүниетанымын қалыптастыруға ыңғайланған бастауыш математикалық білім беру мақсаты көзделсе, медреселерде теориялық арифметика мәселелерімен қатар, алгебра мен геометриядан білім беру жүзеге асырылды. Алайда, бұл оқу орындарында негізінен, математикалық білім берудің діни сипатына басымдық берілгенін атап айту керек.

XIX ғасырдың ортасынан бастап, Қазақстанда дүниелік мектептер ашыла бастады (Жәңгір мектебі, 1841 ж.; Орынбор шекара комиссиясы жанындағы мектеп, 1850 ж.; Торғай бекінісіндегі мектеп, 1864 ж.; т.б.). Ғылыми-педагогикалық әдебиетте орыс-қазақ мектептері деген ерекше атауға ие болған бұл оқу орындарында басқа оқу пәндерімен қатар арифметикадан да бастауыш білім беру қолға алынып, орыс математиктері мен әдіскерлерінің орыс тіліндегі оқу құралдары қолданыла бастады. Осылайша, XIX ғасырдың орта шенінде Қазақстанның математикалық білім беру ісінде түбірлі өзгерістер орын алды: арифметиканы оқыту мақсатының анықталуы; оқыту ісінде арнайы оқу бағдарламалары мен оқу құралдарының, оқыту әдістерінің басшылыққа алынуы (аударма әдіс, ланкастер әдісі, Грубе әдісі, т.б.); оқыту құралдарының пайдаланылуы (есепшот, арифметикалық жәшік, көбейту кестесі, т.б.); оқытуды ұйымдастыру формаларының енгізілуі (сынып-сабақ жүйесі мен тұрақты сабақ кестесінің болуы, т.б.), оқыту нәтижелерінің қадағалануы (емтихандар, т.б.). Орыс-қазақ мектептері сол кездері Ресей империясы жаулап алған Батыс және Орталық Қазақстанда кеңінен таралды. Осыған байланысты Ресей империясының Халық ағарту министрлігі 26.03.1870 ж. «Ресейді мекендейтін бұратана халықтарға білім беру шаралары» атты арнайы ереже қабылдады. Ереже отарланған халықтардың балаларына арнап, орыстың көрнекті миссионер-ғалымы Н.И.Ильминский жасаған аралас мектеп жүйесі негізінде жасалды [1]

Ресей империясы Оңтүстік Қазақстан мен Орта Азияны жаулап алғаннан кейін, XIX ғ. 70-жж. осы өңірлерде орыс үлгісіндегі аралас мектептердің айрықша бір түрі пайда болды. Бұл мектептер ғылыми-педагогикалық әдебиетте орыс-бұратана мектептері деп аталады. Өңір халқының көп ұлттылығы, олардың арасында мұсылмандық діни фанатизмнің күшті болуы, мұсылмандық мектептер жүйесінің кеңінен таралуы сияқты жағдайлар мұнда орыс-қазақ мектептерінен сәл өзгеше мектеп жүйесін құруды қажет етті. Орыс-бұратана мектептерінің басты ерекшелігі, оларда білім алушылар екі сыныпта бірдей, орыс сыныбында да мұсылмандық сыныпта да оқитын болып белгіленді. Бұл әрине, жергілікті халықты орыс мектебінен үркітіп алмау себебінен туындаған жағдай еді. Жалпы алғанда, орыс-бұратана мектептерінің де орыс-қазақ мектептері сияқты Ресей үкіметінің отаршылдық саясатының басты құралы ретінде, жергілікті халықты біртіндеп орыстандыру мақсатында ашылғанын атап айту керек. Алайда, соған қарамастан, бұл мектептердің қай-қайсысының болмасын,

Қазақстанда математикалық білім беру ісінің өркендеуіне игілікті әсер еткендігін жоққа шығаруға болмайды.

XIX ғасырдың екінші жартысында орыс үлгісіндегі мектептер желісінің барынша кеңейе түсуі және мұсылмандық оқу жүйесінің өскелең заман талаптарын қанағаттандыра алмайтындығы белгілі бола бастады. Әрине, бұл жағдай мұсылман ғұламаларын бей-жай қалдыра алмады, олар туған халқын жаппай орыстандыру саясатынан құтқарудың жолдарын іздестіруге мәжбүр болды. Осының барысында олар мұсылмандық оқу жүйесіне заман талаптарына сай реформалар жасауды ұсынып, діни оқуды математика сияқты дүниелік пәндермен ұштастыра оқыту мақсатын алға қойған ағартушылық ағымның негізін салды. Бұл ағартушылық ағым кейінірек, «жадидизм» деген атауға ие болды. Жадидизм идеясы әсіресе, Қырым және Еділ бойы татарлары арасында кеңінен таралды. Оның бастауында Ш.әл-Маржани, М.Файзханов, Ы.Ғаспірәлі сияқты татар халқының ұлы ағартушы-педагогтары тұрды. Осының нәтижесінде «Усул жәдит» мектептері (мағынасы «Жаңа әдісті» мектептер) ашыла бастады. Олармен қатар бұрынғы мұсылмандық мектептер де жұмыс істеді, бірақ ендігі жерде олар «Усул қадым» мектептері (мағынасы «Жаңа әдісті» мектептер) деп аталатын болды [2].

Сонымен, XIX ғасырдың ортасында Қазақстанда математикалық пәндерді оқытудың классикалық тұжырымдары мен тәжірибелері пайда болды. Сондықтан да XIX ғасырдың ортасын Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстандағы математикалық білім берудің даму тарихындағы жаңа кезеңнің бастауы ретінде бағалауға болады. Зерттеу мәселесіне осы тұрғыдан келу Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстандағы математикалық білім беру ісінің тарихын шартты түрде екі кезеңге бөліп қарастыруға мүмкіндік береді, олар: 1) XIX ғасырдың ортасына дейінгі кезең және 2) XIX ғасырдың ортасынан кейінгі кезең.

Зерттеу әдіснамасы

Мақаланың мақсаты - Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстандағы математикалық білім берудің жағдайын объективті, қазіргі жаңа айқындамалар тұрғысынан қарастыра отырып, осы үдеріске тарихи шолу жасау. Осы мақсатқа жету үшін зерттеудің әдіснамалық негізіне жас ұрпаққа білім мен тәрбие беру туралы философиялық қағидалар, тарихи үдерістің теориясы мен әдістемесі жөніндегі тоталитарлық жүйе мен саяси идеологияның қасаң түйіндеулерінен ада, қазақ халқының педагогикалық мәдениетін объективті тұрғыда қарастыруға бағытталған еңбектер алынды. Зерттеудің дерек көздері ретінде математиканы оқыту әдістемесінің тарихы бойынша соңғы жылдары орындалған ғылыми еңбектер, мұрағат деректері, кітапханалардың сирек кездесетін қорларында сақталған материалдар, математиканың Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстан мектептерінде пайдаланылған оқу бағдарламалары мен оқу-әдістемелік құралдары кеңінен пайдаланылды. Мақаланы жазу барысында зерттеу проблемасына қатысты педагогикалық және әдістемелік әдебиетті теориялық талдау, тарихи-салыстырмалы әдіс, мұрағат құжаттарын жинақтау, талдау және қорыту сияқты ғылыми-зерттеу әдістері пайдаланылды. Мақала қарастырылған материалдарының молдығымен және келтірілген тарихи деректерінің дәлелділігімен, жасалған теориялық қорытындыларының әдіснамалық тұрғыда негізделуімен және дереккөздерінің объективтік тұрғыда талдануымен ерекшеленеді.

Зерттеу нәтижелері

Қазақстандағы білім беру жүйесіне арналған тарихи-педагогикалық еңбектерге, сондай-ақ, зерттеліп отырған мәселеге қатысты мұрағат құжаттарына жаңа айқындамалар тұрғысынан жасалған талдаулар барысы Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстанда негізінен алғанда, екі түрлі оқу жүйесінің қалыптасып, жұмыс істегенін анықтауға мүмкіндік жасады, олар: 1) мұсылмандық оқу жүйесі және 2) орыс үлгісіндегі оқу жүйесі. Мұсылмандық оқу жүйесі «Усул қадым» және «Усул жәдит» мектептері, ал орыс үлгісіндегі оқу жүйесі орыс-қазақ және орыс-бұратана мектептері арқылы жүзеге асырылды.

Алайда, қазақ жерінде мұсылмандық оқу жүйесінің нақты қай уақыттан бастап енгізілгенін дөп басып айту мүмкін емес, өйткені бұған қатысты дәлелді мәліметтер мен нақты деректер сақталмаған. Жалпы алғанда, мұсылмандық оқу жүйесінің жергілікті халықтардың санасына мұсылмандық дүниетанымды қалыптастырудың басты құралы ретінде енгізілгенін ескерер болсақ, оның қазақ жерінде араб шапқыншылығынан, яғни VIII ғасырдан кейін пайда болғанын аңғару қиын емес. Алайда, соңғы жылдардағы тарихи-педагогикалық зерттеулер VIII ғасырға дейін-ақ қазақ даласында аса бай математикалық мәдениеттің болғандығын анықтап отыр [3]. Бұл орайда, ғылым тарихы алдында осыған қатысты мүлде зерттелмеген орасан зор мәселелердің тұрғандығын атап айту керек. Сондықтан Қазақстандағы математикалық білім беру ісінің тарихын мұсылмандық оқу жүйесінің енгізілу кезінен бастап қарастыруға тура келеді.

Мұсылмандық білім беру орындарының ішіндегі халық арасында ең кең таралғаны – бастауыш оқыту жүйесі бар мектептер еді. Бұл оқу орындары ғылыми-педагогикалық еңбектерде «қадим» мұсылман мектептері ретінде сипатталады («қадим» – ескі, көне деген мағынада). Бұл мектептерде математика жеке пән ретінде оқытылмаса да, шәкірттердің мұсылмандық дүниетанымын қалыптастыруға бағытталған математикалық білім беру жүзеге асырылды. Мұсылман мектептерінде міндетті оқу материалы ретінде арабтың алфавиттік нумерациясына негізделген «Әбжад хисабы» қарастырылған. Мұнда оқыту жүйесі пәндер бойынша емес, арнайы оқу құралдары арқылы жүргізілген. Қазақ қоғамында алғашқы оқулық ретінде «Иман шарт» деп аталып кеткен «Шараит-уль-иман» кітабы кеңінен қолданылды. Мәселен, оқушылар араб алфавиттік жүйесіне негізделген «Әбжад хисабы» тәсілі арқылы сандардың мәнін түсініп, есептеулер жүргізді. Көбейту кестесі арнайы сөздік конструкциялар арқылы беріліп, әр сөз көбейткіштердің және олардың көбейтіндісінің сандық мәнін сипаттады. Оқыту жаттау, қайталау және ауызша есептеуге негізделді. Оқытуды ұйымдастыру сыныптық емес, жеке сипатта болды: әрбір шәкіртке сабақ жеке түсіндіріліп, олар оны мұғалімге қайта айтып беру арқылы меңгерді. Оқушылар қосымша сұрақтарын тікелей ұстаздан немесе сабақта көмек көрсететін аға шәкірттерден сұрай алатын. Мектептердегі математикалық білімнің мазмұны молданың шешіміне байланысты өзгеріп отырды. Көп жағдайда оқу құралдары жетіспейтіндіктен, оқыту араб және түрік-араб диалектісіндегі кітаптар арқылы жүргізілді, ал жазу құралы ретінде әріптер күйдіріліп жазылған жауырын сүйектер қолданылды. Қазақстан аумағындағы мұсылмандық мектептермен қатар, ірі елді мекендерде медреселер де жұмыс істеді, онда жоғары деңгейдегі діни және жаратылыстану ғылымдары, соның ішінде математика оқытылды. Медреселерде әл-Хорезмидің еңбектері, сондай-ақ Жәмшид әл-Кәшидің «Мифтах әл-хисаб» атты еңбегі негізгі оқулық ретінде қолданылды. Бұл еңбек арифметика, алгебра, астрономиялық есептеулер және өлшеу негіздеріне бөлініп, жүйелі түрде математикалық білім беруді қамтамасыз етті. Қазақ даласындағы «Усул қадым» медреселерінде «Қауани-әл-хисаб» атты математика оқулығы кеңінен пайдаланылды, оны Мұхаммедзия Бақтияруллы жазған. Бұл оқулық 1898 жылы Қазан университетінің баспаханасынан жарық көріп, арифметиканың негізгі ережелерін қамтыды. Бұл оқулықтың ерекшелігі ауызша көбейту қызықты және оңай есте сақтау тәсілдері жеке параграф ретінде қарастырылған. Мысалы, 15-ті 16-ға көбейту амалын ауызша орындау былай түсіндіріледі: 1) 15+16=21; 2) 21·10=210; 3) 5·6=30; 4) 210+30=240. Осылайша 240 саны ізделінді көбейтінді болады». Оқулықта және екі таңбалы сандарды көбейтудің 5 мысалы өзіндік әдістемелік ерешелігімен көрсетілген. Осыдан біз медреселерде ауызша есептеулерге ерекше көңіл бөлгенін аңғарамыз.

Медресе шәкірттері үшін математиканы меңгеру ең алдымен, мұрагерлік мәселелерін реттеумен байланысты мұсылмандық құқық саласының маңызды бөлігі – «Фараиз» ілімін түсіну үшін қажет болды. Бұл білім негізінен мұрагерлік үлестерін әділ бөлуге арналған және оны жетік меңгеру шәкірттерден талап етілді. Осы мақсатта «Фараиз» дәптерлері деп аталатын оқу құралдары әзірленіп, олардың негізінде мұрагерлікке қатысты түрлі есептерді шығару оқытылды. Осы оқулықтардың мазмұнын көрсету үшін «Фараиз» оқулығынан бір есепті

мысал ретінде қарастырайық: «Бір құлдың 3 қызы болыпты. Олар әкелерін құлдықтан құтқармақ болып ақша жинаған екен. Ортаншы қыздың ақшасы жоқ болған, ал үлкен қыздың 30 теңгесі, кіші қыздың 20 теңге ақшасы бар екен. Олар әкелерін 50 теңге ақша беріп, құлдықтан құтқарып алыпты. Бірнеше жылдан кейін әкелері қайтыс болыпты, бірақ ол қыздарына мұра қалдырған екен. Мұраны қыздар қалай бөлісуі керек?» Кітапта бұл мысалдың шешімі: «Барлық мұраның 2/3-сін барлық қыздарға тең бөліп беру керек, ал мұраның қалған 1/3-ін 45 бөлікке бөліп, оның 27 бөлігін үлкен қызға және 18 бөлігін кіші қызға беру керек, соңғыдан ортаншы қызға ештеңе берілмеуі тиіс».

Осындай еңбектердің пайдаланылуы мұсылмандық оқу орындарында математиканы оқыту жүйесінің белгілі бір деңгейде дамығанын көрсетеді.[3]

XIX ғасырдың екінші жартысында Қазақстанда орыс-қазақ мектептері жүйесі қалыптаса бастады. Бұл мектептер математикалық білім берудің алғашқы жүйеленген үлгілерінің бірі болды және қазақ халқының батыс мәдениетімен танысуына ықпал етті. Бастапқыда арифметиканың тек төрт амалы ғана оқытылып, математикалық білім өте қарапайым деңгейде болды. Бірақ уақыт өте келе оқу бағдарламасына миллионға дейінгі сандарды санау, бөлшектер, геометрия негіздері енгізіліп, білім мазмұны кеңейе түсті. Математиканы оқытуда көрнекілік, жүйелілік және практикалық әдістер қолданылып, есептер оқушылардың күнделікті өмірімен байланыстырылды. Ы. Алтынсарин бұл мектептерде математиканы оқыту әдістерін жетілдіруге ерекше көңіл бөлді, оның бастамасымен қазақ балаларына арифметиканы өмірлік қажеттілік ретінде үйрету қолға алынды. Дегенмен, бұл мектептердің негізгі мақсаты жергілікті халықты орыс тіліне үйрету және патша үкіметінің саяси мүддесіне қызмет ету болды.

XX ғасырдың басында Ресей империясы қазақ даласындағы білім беру жүйесін реттеп, орыс-қазақ мектептеріндегі оқу бағдарламаларына математиканы міндетті пән ретінде енгізді. Осыған байланысты 1906-1907 жылдары математиканы оқытуға бөлінген сағаттар саны артты. Ауылдық мектептерде аптасына 4-6 сағат, болыстық училищелерде 4-6 сағат, ал екі сыныптық училищелерде 6 сағатқа дейін математика оқытылды. Бұл мектептерде оқытушылар ретінде орыс миссионер-ғалымдары қызмет етті, олардың арасында Н.И. Ильминский, А.Е. Алекторов, С.М. Граменицкий, В.А. Евтушевский сынды педагогтар болды. Олар қазақ балаларының математикалық сауатын ашуға арналған арнайы оқулықтар жазып, арифметиканы оқытудың тиімді әдістерін енгізді. В.А. Евтушевскийдің "Арифметика" оқулығы, А.В. Гольденбергтің оқу құралдары, К.П. Арженковтың есептер жинағы және С.М. Граменицкийдің "Бастауыш арифметикасы" кеңінен қолданылды. Бұл оқулықтарда ауызша және жазбаша есептеулерге ерекше назар аударылып, тұрмыстық есептерді шешу дағдыларын дамыту көзделді. Орыс-қазақ мектептері қазақ халқының математикалық сауатын ашуда белгілі бір рөл атқарды, дегенмен олардың негізгі мақсаты білім беруден гөрі, орыстандыру саясатына қызмет ету болды. Осыған қарамастан, бұл мектептерде алғаш рет жүйеленген математикалық білім беру бағдарламасы енгізіліп, қазақ тіліндегі математикалық терминология қалыптаса бастады. Оқу барысында орыс әдіскерлері мен педагогтарының еңбектері қолданылып, қазақ балаларының логикалық ойлау қабілетін дамытуға ықпал етті. Орыс-қазақ мектептерінің түлектері арасында болашақ ағартушылар, ғалымдар және қоғам қайраткерлері шығып, олар ұлттық білім беру жүйесінің негізін қалады. Осылайша, бұл мектептер Қазақстанда математиканы оқыту әдістемесінің дамуына жол ашып, кейінгі білім беру реформаларының негізін қалады. [4]

Жәдидтік мектептерде математиканы оқыту жүйесі мұсылмандық оқу орындарын жаңғыртудың бір бөлігі ретінде қарастырылып, білім беру дыбыстық әдіске, әңгіме, әңгімелесу, сұрақ-жауап, көрнекі құралдарды қолдануға және сыныптық-сабақтық жүйеге негізделді. И. Гаспиринский бастаған реформаторлар оқу бағдарламасына арифметиканы арнайы пән ретінде енгізіп, оның практикалық маңыздылығын арттыруға баса назар аударды. Осы мақсатта «Хисаб мас'алалари», «Асбаб хисаб», «Кичик хисаб» секілді оқулықтар пайдаланылып, математиканы арифметикалық амалдардан бастап, пайыздық есептеулер,

алгебра және геометрия негіздеріне дейін жүйелі түрде үйрету қолға алынды. Сабақ барысында есепшоттар, көбейту кестелері, арифметикалық жәшіктер қолданылып, оқушыларға есептерді жазбаша және ауызша шешу дағдылары үйретілді.

Бұл кезеңде мұсылмандық оқу жүйесіне жаңартулар енгізіліп төмендегідей төрт басқыштан құрылды:

1) Ибтидаи – алғашқы басқыш (4 жыл);

2) Рушдия – орта басқыш (3 жыл);

3) Игдадия – үлкен басқыш (4 жыл);

4) Ғалия – жоғары басқыш (2-3 жыл).

Бастауыш деңгейде меңгерілетін математикалық білім мұсылмандық оқу жүйесінің негізгі бөлігі ретінде қарастырылып, оны игеру келесі оқу сатысына өтудің міндетті шарты болды. Рушдияның бірінші сыныбына түсу үшін оқушылар төрт арифметикалық амал мен ауызша және жазбаша есептеу тәсілдерін меңгеріп, емтихан тапсыруы қажет еді. Ал игададияның бірінші сыныбына қабылдану үшін олар Малинин, Буренин және Верещагин сияқты ғалымдардың арифметика оқулықтарында қамтылған толық курс көлеміндегі білімді игеруге тиіс болды.

1913 жылы Уфада өткен имамдар жиналысында арифметика мен алгебраның мұсылмандық мектептерде міндетті пән ретінде енгізілуі керек екендігі атап көрсетілді, өйткені бұл пәндер мұрагерлік есептерді, сауда жүргізуді, өлшемдер мен күнтізбелерді есептеуді дұрыс орындауға мүмкіндік берді. Орынбордағы «Хусаиния» медресесі, Қазан қаласындағы «Мұхаммадия», Уфадағы «Ғалия» сияқты оқу орындары математикалық білімді жетілдіруде маңызды рөл атқарды. Дегенмен, жаңа әдісті мектептер орталықтандырылмағандықтан, оқу бағдарламалары әртүрлі болды, алайда мұсылмандық оқу жүйесінде математиканы жүйелі түрде оқытуға көшу – бұл білім сапасын жақсартудағы үлкен жетістік еді. [3]

XX ғасырдың 20-жылдары Кеңес үкіметінің білім беру саласындағы реформаларына сәйкес, бастауыш мектептерде бірыңғай оқу бағдарламалары енгізілді. Бұл өзгерістер қазақ балаларына ана тілінде білім беру қажеттілігін арттырды. 1922 жылы М. Дулатовтың *«Есеп құралы»* еңбегі бастауыш мектепке арналған негізгі оқулық ретінде жарияланып, 1928 жылға дейін бірнеше рет басылып шықты. Бұл оқулық қазақ мектептерінде математика пәнін оқытуда негізгі құрал ретінде кеңінен қолданылды.Оқулық екі кітаптан тұрады:1-кітап: 10-ға дейінгі сандар, толық ондықтар, 10-20 аралығындағы сандар, 100-ге дейінгі есептер.2-кітап: 100-ге дейінгі сандар, 1000-ға дейінгі санау амалдары, төрт арифметикалық амал.

Оқулық мазмұны арифметиканың негізгі бағыттарын қамтыды:

- Сандардың нумерациясы – балаларға сандарды тану, жазу және атау дағдыларын қалыптастыруға бағытталған;
- Арифметикалық амалдар – қосу, азайту, көбейту және бөлудің кезең-кезеңмен үйретілуі;
- Геометриялық түсініктер – бұрыштар, үшбұрыш, төртбұрыш, перпендикулярлар;
- Шамалар және өлшем бірліктері – ұзындық, салмақ, уақыт өлшемдері;
- Алгебра элементтері – белгісіз компоненттермен есептер шығару, теңдеулерді қарапайым тәсілмен шешу.

Оқулықта оқушылардың жас ерекшеліктеріне сай бірнеше әдістемелік тәсілдер қолданылды:

- Көрнекілік әдісі – есепшот, таяқшалар, асықтар арқылы санды үйрету;
- Практикалық тәсіл – өмірлік мысалдар мен есептерді қолдану;
- Жүйелілік әдісі – материалдың концентрлік түрде берілуі;
- Талдау және синтездеу әдісі – арифметикалық амалдардың өзара байланысын түсіндіру.

М. Дулатовтың «Есеп құралы» қазақ тілінде жазылған алғашқы математикалық оқулықтардың бірі болып, Кеңес мектебінің реформаларына сәйкес бірнеше рет жаңартылды. Бұл еңбек қазақ және қырғыз бастауыш мектептерінде негізгі оқу құралы ретінде қолданылып, қазақ балаларының ана тілінде математикалық білім алуына мүмкіндік жасады. [3]

XIX ғасырдың екінші жартысында Қазақстанда патша үкіметінің отаршылдық саясатына байланысты орыс-бұратана мектептері кеңінен тарала бастады. Бұл мектептер Ресей империясының бұратана халықтарды орыстандыру саясатының бір құралы ретінде ашылды. Алғашқы орыс-бұратана мектебі Ташкентте құрылып, кейінірек Түркістан өлкесінде осындай мектептер көбейе түсті.

Орыс-бұратана мектептері екі негізгі сыныптан тұрды: орыс сыныбы және бұратаналар сыныбы. Орыс сыныбында оқыту орыс тілінде жүргізіліп, христиан дінін насихаттау мақсатында құрылды, ал бұратаналар сыныбы мұсылмандық мектептерге ұқсас болды және онда діни білім басым болды. Бірақ уақыт өте келе бұратаналар сыныбына да орыс тілі мен арифметика пәндері енгізілді. Бұратана сыныбында оқу мазмұны жүйеленбеген, оқу мерзімі 6-8 жылға дейін созылуы мүмкін еді. Патша үкіметі орыс мектептерінің беделін арттыру үшін мұсылмандық медреселерде оқытылмайтын атаулы сандарды қолдану, арифметикалық амалдар мен тұрмыстық есептерді шешу сияқты дағдыларды енгізуге тырысты.

1886 жылы Түркістан генерал-губернаторы Розенбах бекіткен «Түркістан өлкесі орыс-бұратана училищелері меңгерушілеріне арналған нұсқауға» сәйкес, орыс-бұратана мектептерінде арифметиканы оқытуға ерекше мән берілді. Бұл мектептерде оқушылардан мектеп бітіргенде төрт арифметикалық амалға берілген есептерді ауызша және жазбаша шығару, миллионға дейінгі сандарды таңбалау, ұзындық, салмақ, уақыт өлшеуіштерін білу талап етілді.

Оқытудың бастапқы жылдарында ана тіліне сүйену дұрыс емес деген көзқарас қалыптасып, аударма әдісін табиғи әдіспен алмастыру, яғни тікелей орыс тілінде оқыту қолға алынды. Алайда, математиканы оқытуда ауызша есептеуге аз көңіл бөлінуі негізгі кемшіліктердің бірі болды.

Орыс-бұратана мектептері математикалық білім берудің алғашқы құрылымданған жүйесін енгізуге ықпал етті. Мұнда оқушылар арифметиканың негіздерін, орыс өлшеуіштерін және практикалық есептерді шешу дағдыларын меңгерді. Бірақ бұл мектептердің негізгі мақсаты терең білім беруден гөрі, орыс тілін үйрету және бұратана халықтарды орыстандыру болды.

XX ғасырдың басында Ресейде орыс емес халықтарды ағарту ісінде Ы. Алтынсариннің идеяларын қолдаушы педагогтардың тобы қалыптасты. Бұл педагогтар орыс-бұратана мектептерінде оқыту әдістерін жетілдіруге үлес қосты.

Орыс-бұратана мектептеріндегі оқу үдерісін жетілдіруде ғалымдар мен педагогтардың еңбектері мен қосқан үлестерін атап өтер болсақ:

- С.М. Граменицкий – бұл мектептерде арифметиканы оқытуды жүйелеп, «Бастауыш арифметиканы оқытуға арналған есептер мен мысалдар жинағы» (1897) атты оқу құралын шығарды. Бұл кітап 1916 жылға дейін 13 рет басылып шығып, кеңінен пайдаланылды.
- Н.А. Бобровников – «Бастауыш арифметиканы оқыту әдістемесі» атты еңбегінде ана тілінің рөлін жоғары бағалап, арифметиканы ана тілінде оқытудың маңызын атап өтті.
- М.П. Ронинский – ауылдық мектептердегі арифметиканы оқыту әдістерін жетілдіруге ықпал етті.
- Ғ. Бальғымбаев – арифметиканы оқытуда көрнекілік әдісін қолдану қажеттігін атап көрсетті.
- С.В. Чичерина – аралас мектептерде арифметиканы орыс тілінде оқытудың орнына, ана тілінде түсіндіру қажеттігін айтты.
- А.Е. Алекторов, А.В. Васильев, Н.П. Остроумов – орыс-бұратана мектептерінде математикалық білімді ұйымдастыру мәселелерімен айналысты.

Орыс-бұратана мектептерінде арифметиканы оқытуда негізінен жазбаша есептеуге басымдық беріліп, ауызша есептеуге жеткіліксіз көңіл бөлінді. Бастапқыда аударма әдісі қолданылғанымен, кейіннен ол табиғи әдіспен алмастырылып, оқыту толықтай орыс тілінде жүргізілді. Сабақтарда көрнекілік әдісі қолданылып, есептер мен мысалдар оқушылардың күнделікті өмірімен байланыстырылды. Оқу материалы құрылымдық әдіспен ұйымдастырылып, біртіндеп күрделенді. Сонымен қатар, практикалық есептерге ерекше мән

беріліп, арифметика сабақтарында тұрмыстық жағдайларға негізделген тапсырмалар енгізілді [4].

Жоғарыда айтқанымыздай, XIX ғасырдың ортасына, яғни орыс үлгісіндегі мектептер ашылғанға дейінгі кезеңде Қазақстанда негізінен, «Усул қадым» мектептері жұмыс істеді. Оларға мұғалімдер дайындау қазақ даласының әр түкпірінде, сондай-ақ Хиуа, Бұқара, Самарқан сияқты қалаларда жұмыс істеген медреселер арқылы жүзеге асырылды. Медреселерде практикалық арифметика ғана емес, сонымен қатар *«Хисаб ән-назари»* (теориялық арифметика), *«Хандаса»* (геометрия) және *«әл-Жебр»* (алгебра), сондай-ақ *«Фараиз»* (мұра бөлісумен байланысты мұсылмандық құқық курсы) ілімдері оқытылды. Бұл пәндерді оқыту үдерісінде оқу құралдары ретінде әр кезеңдерде әл-Фараби, әл-Бируни, ибн Сина, О.Хайям, Н.әт-Туси, әл-Кәши, ар-Руми, Әли Құсшы сияқты мұсылман ғұламаларының математикалық трактаттары, сондай-ақ мұра бөлісушілікпен байланысты әралуан есептер қамтылған «Фараиз дәптерлері» пайдаланылды [3].

XIX ғасырдың соңына қарай қазақ даласында орыс-қазақ және орыс-бұратана мектептері санының көбеюіне байланысты орыс үлгісіндегі әртүрлі педагогикалық оқу орындары ашыла бастады. XX ғасыр басында Қазақстанда мына сияқты педагогикалық оқу орындары жұмыс істеді: мұғалімдік семинариялар, педагогикалық кластар мен курстар, мұғалімдер мектебі. Бұл оқу орындарында арифметиканың жүйелі курсына, алгебра мен геометрияның бастауыш курстарына, сондай-ақ олардың әдістемесі пәндерін оқытуға айтарлықтай мән берілді. Мәселен, Верный мұғалімдер семинариясында «Арифметика мен геометрия әдістемесі» пәнінің апталық жүктемесі 2 сағат болса, Қостанайдағы педагогикалық класта «Арифметика» аптасына 5 сағаттан, «Геометрия» 5 сағаттан, ал «Арифметика әдістемесі» 3 сағаттан оқытылды. Осы математикалық пәндерді оқытуда В. Евтушевский, А. Гольденберг, С. Шохор-Троцкий, Е. Буняковский, А. Малинин, К. Буренин, А. Давидов, К. Лебединцев, Г. Вишневский сияқты орыстың алдыңғы қатарлы математиктері мен әдіскерлерінің оқу құралдары пайдаланылды [3].

XX ғасыр басында «Усул жәдит» мектептері желісінің кеңейе түсуіне байланысты оларға мұғалім кадрларын дайындау ісі жаңа сипат алып, жәдиттік үлгідегі «Мұхаммедия» (Қазан), «Расулия» (Троицк), «Ғалия (Уфа) медреселерінде білім алатын қазақ жастарының саны артты. Осындай жаңа әдісті медреселер Қазақстанда да ашылды (Орынборда «Хусаиния» және «Бағбұстан ханым», Жетісуда «Мамания» медреселері, т.б.). Кейбір деректерге қарағанда, 1911 ж. Қазақстанда 84 медресе жұмыс істеді, онда 130 оқытушы сабақ берді және 4 915 шәкірт білім алды. Оларда басқа да пәндермен қатар, математикалық пәндерді оқыту да жүзеге асырылды. Мәселен, «Мұхаммедия» медресесінде 1912-13 оқу жылында математикалық пәндер үш бөлімге бөлініп оқытылды: 1-бөлім – арифметика (төрт амал); 2-бөлім – арифметика және геометрияның бастамалары; 3- бөлім – математикалық ғылымдар (алгебра, геометрия және тригонометрия). Математикадан оқу құралы ретінде түркі-араб тілінде жазылған Қ. Насыри, М. Бахтияруллы, М. Құрбанғалиев сияқты татар оқымыстыларының, сондай-ақ орыс тіліндегі кейбір озық оқу құралдарының татар тіліндегі аудармалары, мәселен, орыс математигі А.Ю.Давидовтың «Элементарная геометрия» оқулығының «Мұхтасар һәндесе» деген атпен аударылған аудармасы пайдаланылған [3].

Дискуссия

Тарихи-педагогикалық әдебиетке жасалған талдаулар Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстандағы мектеп пен оқу-ағарту жүйесінің дамуына байланысты мәселелердің Ә. Сембаев [5], Г.М. Храпченков [6], И.Я Гармс [7] және т.б. ғалымдардың еңбектерінде қарастырылғанын көрсетеді. Ал, осы кезеңдегі математикалық білім берудің кейбір мәселелері М. Исқақовтың [8], Қ. Нұрсұлтановтың [9], Е. Төлемісовтің [10] және т.б. еңбектерінде зерттелген. Соңғы жылдары Қазақстандағы математиканы оқыту әдістемесінің қалыптасуы мен даму жолдары жүйеге келтірілген А.Е. Әбілқасымова мен Б.М. Қосановтың бірқатар зерттеу жұмыстары жарық көрді [1-4]. Оларда қойылып отырған мәселе Қазақстандағы

математиканы оқыту әдістемесінің қалыптасу және даму тарихының құрамды бөлігі ретінде қарастырылып, Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстандағы математикалық білім берудің жалпы бағыттары белгіленген. Соңғы уақыттардағы қоғамымыздың жалпы қазақ тарихының, қазақ халқының объективті педагогикалық мәдениетінің жаңа айқындамалармен толықтырыла түсуі бұл мәселені осы тұрғыда тереңірек зерттеуді қажет етеді. Сондықтан мақалада Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстандағы математикалық білім берудің тарихына онда әр кезеңдерде жұмыс істеген мектептердегі математиканы оқытудың мақсатының, әдістері мен құралдарының және математиканы оқытуды ұйымдастыру формаларының ерекшеліктері тұрғысынан екі кезеңге бөлініп, шолу жасалды. Бұл, өз кезегінде, Қазақстандағы математикалық білім берудің жалпы даму үрдісінің үздіксіздігі мен сабақтастығын ашып көрсетуге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері Қазан төңкерісіне дейінгі Қазақстанда математикалық білім берудің бірнеше даму кезеңдерінен өткенін көрсетті. Бұл кезеңдерде мұсылмандық мектептерден бастау алған білім беру жүйесі орыс-қазақ және орыс-бұратана мектептері арқылы күрделі өзгерістерге ұшырап, математикалық білім мазмұны біртіндеп кеңейіп, жүйеленді.

Сонымен қатар, қазақ тіліндегі алғашқы математикалық оқулықтардың жазылуы, мұғалімдер даярлау жүйесінің дамуы және білім беру әдістерінің жетілдірілуі Қазақстандағы математикалық білім беру жүйесінің одан әрі дамуына негіз қалады. Осы тұрғыда М. Дулатовтың «Есеп құралы» оқулығы қазақ тіліндегі алғашқы математикалық оқулықтардың бірі ретінде ұлттық білім беру жүйесінің қалыптасуына зор үлес қосты. Оның еңбегі қазақ балаларына ана тілінде математикалық білім алуға мүмкіндік жасап, бастауыш сыныптарға арналған жүйеленген оқу құралы ретінде қолданылды. Бұл қазақ халқының өз тілінде ғылым мен білім игеруіне жол ашқан маңызды қадамдардың бірі болды.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Әбілқасымова А.Е., Қосанов Б.М. Қазақстандағы математиканы оқыту сабақтастығының қалыптасу тарихы: Оқу құралы. -Алматы: «Мектеп», 2023.-332 с.

[2] Абылкасымова А.Е., Косанов Б.М. История становления и развитие методики преподавания математики: Учебное пособие.-Алматы: «Мектеп», 2020.-336 с.

[3] Қосанов Б.М. Ана тіліндегі алғашқы математика оқулықтары: монография.-Алматы, «Мерей», 2015.-500 б.

[4] Әбілқасымова А.Е., Қосанов Б.М. Қазақстандағы математиканы оқыту әдістемесінің қалыптасуы мен дамуы: Оқу құралы. -Алматы: «Мектеп», 2018.-260 б.

[5] Сембаев Ә.І. Қазақ совет мектебінің тарихы: монография.-Алматы: «Мектеп»,1967. -396 б.

[6] Храпченков Г.М. Проблемы содержания и методов обучения в школах Казахстана. монография.- Алматы: «Мектеп»,1983. -324 б.

[7] Гармс И.Я. «Народное образование среди казахов дореволюционного Казахстана» - Петропавловск: Изд.ПГПИ, 1957.- 120 с.

[8] Исқақов М. Қазақ мектебінде математиканы оқыту тарихынан// «Қазақстан мектебі».- №11.-1977.

[9] Нұрсұлтанов Қ. Очерк истории математических знаний в Казахстане и вопросы использования ее материалов в педагогическом процессе казахской школы. Дисс. на соиск. уч. степени канд. пед. наук.-Алматы, 1974.-121 с.

[10] Тулемисов Е.Т.Педагогические проблемы становления и развития новометодных школ Казахстана. Дисс. на соиск. уч. степени канд. пед. наук.-Алматы, 1981.-141 с.

References

[1] Abylkasymova A.E., Kosanov B.M. (2023) Qazaqstandagy matematikany oqytu sabaqtastygynyn qalyptasu tarikhy: Oqu quraly [History of the formation of continuity in teaching mathematics in Kazakhstan: Textbook]. Almaty: "Mektep", 332 p. (In Kazakh).

[2] Abylkasymova A.E., Kosanov B.M. (2020) Istoriia stanovleniia i razvitie metodiki prepodavaniia matematiki: Uchebnoe posobie [History of formation and development of methods of teaching mathematics: Textbook]. Almaty: "Mektep", 336 p. (In Russian).

[3] Kosanov B.M. (2015) Ana tilindegi alghashqy matematika oqulyqtary: monografia [The first mathematics textbooks in the native language: monograph]. Almaty: "Merei", 500 p. (In Kazakh).

[4] Abylkasymova A.E., Kosanov B.M. (2018) Qazaqstandagy matematikany oqytu adistemesinin qalyptasu men damuy: Oqu quraly [Formation and development of methodology of teaching mathematics in Kazakhstan: Textbook]. Almaty: "Mektep", 260 p. (In Kazakh).

[5] Sembaev A.I. (1967) Qazaq sovet mektebinin tarikhy: monografia [History of the Kazakh Soviet school: monograph]. Almaty: "Mektep", 396 p. (In Kazakh).

[6] Khrapchenkov G.M. (1983) Problemy soderzhaniia i metodov obucheniia v shkolakh Kazakhstana: monografia [Problems of the content and methods of teaching in schools of Kazakhstan: monograph]. Almaty: "Mektep", 324 p. (In Russian).

[7] Garms I.Ya. (1957) Narodnoe obrazovanie sredi kazakhov dorevoliutsionnogo Kazakhstana [Public education among the Kazakhs of pre-revolutionary Kazakhstan]. Petropavlovsk: Izd. PGPU, 120 p. (In Russian).

[8] Isqaqov M. (1977) Qazaq mektebinde matematikany oqytu tarikhyndan [From the history of teaching mathematics in the Kazakh school]. "Qazaqstan mektebi", №11, 15–22. (In Kazakh).

[9] Nursultanov Q. (1974) Ocherk istorii matematicheskikh znanii v Kazakhstane i voprosy ispol'zovaniia ee materialov v pedagogicheskom protsesse kazakhskoi shkoly [Essay on the history of mathematical knowledge in Kazakhstan and issues of using its materials in the pedagogical process of the Kazakh school]. Diss. na soisk. uch. stepeni kand. ped. nauk. Almaty, 121 p. (In Russian).

[10] Tulemisov E.T. (1981) Pedagogicheskie problemy stanovleniia i razvitiia novometodnykh shkol Kazakhstana [Pedagogical problems of the formation and development of new-method schools in Kazakhstan]. Diss. na soisk. uch. stepeni kand. ped. nauk. Almaty, 141 p. (In Russian).

МРНТИ 27.01.45

10.51889/2959-5894.2025.91.3.010

R.A. Zhunussova[1*], A.K. Kireyeva[1], M.S. Bokayeva[1], B.A. Naimanov[1], A.B. Naimanova[1]

[1] Margulan University, Pavlodar, Kazakhstan
[*]*e-mail: rzhunusova@mail.ru*

DEVELOPMENT OF STUDENTS' RESEARCH COMPETENCIES WHEN STUDYING ANALYTICAL AND PROJECTIVE GEOMETRY

Abstract

The article discusses the methods of developing research skills among future teachers of mathematics and physics in the process of studying analytical and projective geometry at the university using interactive learning tools. Let us note that research competencies are a component of the professional competencies of bachelors in the areas of training "Mathematics" and "Mathematics and Physics". Therefore, in the course of the study, we developed and tested the educational and methodological complex "Analytical and Projective Geometry" using interactive programs, and also proposed methods, forms and criteria for assessing the research abilities of future mathematics and physics teachers. Methods of problem-based learning, practice-oriented learning, methods of analysis and synthesis, and observation methods were used. The relevance of the research topic lies in the problem of developing the research skills of future mathematics and physics teachers, and their use of such interactive programs as living geometry and geogeography can be used by them to create a research lesson. The methodological approach to teaching analytical and projective geometry presented in the article was implemented in the educational process in the course of "Analytical and projective geometry" in Pavlodar Pedagogical University named after A.Margulan during training of future bachelors of "Mathematics", "Mathematics and Physics" and allowed to achieve positive results in teaching.

Keywords: analytical and projective geometry, research ability, development of research competence, future teacher, GeoGebra.

Р.А. Жунусова[1*], А.К. Киреева[1], М.С. Бокаева [1], Б.А. Найманов [1], А.Б. Найманова [1]
[1]Марғұлан университеті, Павлодар қ., Қазақстан

АНАЛИТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ПРОЕКТИВТІК ГЕОМЕТРИЯНЫ ОҚЫТУ БАРЫСЫНДА СТУДЕНТТЕРДІҢ ЗЕРТТЕУ ҚҰЗЫРЕТТІЛЕРІН ДАМЫТУ

Аңдатпа

Мақалада интерактивті оқыту құралдарын пайдалана отырып, университетте аналитикалық және проективтік геометрияны оқу барысында болашақ математика және физика мұғалімдерінің зерттеушілік дағдыларын дамыту әдістері қарастырылған. Ғылыми-зерттеу құзыреттіліктері «Математика» және «Математика және физика» мамандықтары бойынша бакалаврлардың кәсіби құзыреттіліктерінің құрамдас бөлігі болып табылатынын атап өтейік. Сондықтан зерттеу барысында біз интерактивті бағдарламалар арқылы «Аналитикалық және проекциялық геометрия» оқу-әдістемелік кешенін және болашақ математика және физика мұғалімдерінің зерттеушілік қабілеттерін бағалаудың ұсынылған әдістерін, формалары мен критерийлерін әзірлеп, сынақтан өткіздік. Проблемалық оқыту әдістері, тәжірибеге бағытталған оқыту, талдау және синтез әдістері, бақылау әдістері қолданылды. Зерттеу тақырыбының өзектілігі болашақ математика және физика мұғалімдерінің зерттеушілік дағдыларын дамыту мәселесінде және тірі геометрия және геогебра сияқты интерактивті бағдарламаларды қолдану арқылы сабақ – зерттеу құруға болады. Мақалада келтірілген аналитикалық және проективтік геометрияны оқытудың әдістемелік тәсілі Марғұлан университетінде «Аналитикалық және проективтік геометрия» курсын оқу үдерісінде «Математика», «Математика және физика» бағдарламалары бойынша болашақ бакалаврларды дайындауда жүзеге асырылды және оң нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: аналитикалық және проективтік геометрия, зерттеушілік қабілеті, зерттеу құзыреттілігін қалыптастыру, болашақ мұғалім, геогебра.

Р.А. Жунусова[1*], А.К. Киреева[1], М.С. Бокаева[1], Б.А. Найманов[1], А.Б. Найманова[1]
[1]А.Маргулан университет, г.Павлодар, Казахстан

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ И ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Аннотация

В статье рассматриваются способы организации учебно-исследовательской деятельности студентов и методы развития исследовательских умений будущих учителей математики и физики в процессе изучения аналитической и проективной геометрии в вузе. Отметим, что исследовательские компетенции являются составляющей профессиональных компетенций бакалавров по направлению подготовки «Математика» и «Математика и физика». Поэтому в ходе исследования нами был разработан и апробирован учебно-методический комплекс «Аналитическая и проективная геометрия» с использованием интерактивных программ, предложены методы, формы, критерии оценки исследовательских умений будущих учителей математики и физики. Применялись методы проблемного обучения, практико-ориентированного обучения, методы анализа и синтеза, методы наблюдения. Актуальность темы исследования заключается в проблеме развития исследовательских умений будущих учителей математики и физики, а использование таких интерактивных программ как живая геометрия, геогебра могут быть использованы ими для составления урока - исследования. Представленный в статье методический подход к обучению аналитической и проективной геометрии был реализован в учебном процессе на занятиях по курсу «Аналитическая и проективная геометрия» в Павлодарском педагогическом университете имени А.Маргулана при подготовке будущих бакалавриатов по направлениям «Математика», «Математика и физика» и позволил добиться положительных результатов в обучении.

Ключевые слова: аналитическая и проективная геометрия, исследовательская способность, формирование исследовательской компетенции, будущий учитель, геогебра.

Introduction

The relevance of the topic of the article is justified by the modern requirement for the training of future teachers of mathematics and physics, namely the ability to conduct research activities at school. The purpose and objectives of the lesson are to develop research skills in lessons on analytical and projective geometry using an interactive program. The methodology proposed in the article is based on the need to use such programs as living geometry and geoalgebra in practical and independent classes. The main conclusions are the need to develop research competencies, develop modern teaching tools and improve practical training for effective work. The importance of emphasizing the use of interactive programs for solving and proving geometric problems is also emphasized, which contributes to the development of research competencies of future mathematics and physics teachers.

Due to transition to a credit-unit system of education, projective geometry is not a separate discipline, it is as one of the modules of the discipline “Analytical and projective geometry”. Therefore, to avoid deterioration in quality of geometric training of students of physics and mathematics direction we use computers, interactive means of support in the study of the discipline. Note that by the concept of “ability to use interactive teaching tools” we mean the ability to use ready-made programs for conducting experiments and solving problems on a plane and in space such as “Living Geometry” [1] and GeoGebra [2], “Cabri Geometry”, “C.a.R.”, “GeoNext”, “Mathematical Constructor”. Among these interactive aids we often used the GeoGebra program, because unlike other programs for dynamic manipulation of geometric objects, the idea of the GeoGebra environment lies on an interactive combination of geometric, algebraic and numeric representation. GeoGebra is a free program that provides the ability to create geometrical constructions. The use of computer technology in the geometry course during training of a teacher of mathematics and physics can significantly improve the quality of teaching material absorption. In addition, it sets a certain direction of students’ mathematical training.

Analyzing domestic and foreign experience in using a computer as one of the means of teaching geometry, we can conclude that universities and pedagogical institutions have accumulated certain experience and obtained profound results that have theoretical and practical significance in the field

of computerization of geometry [3-8]. Abroad, two software products of dynamic geometry enjoy the greatest popularity in the process of geometric training of students. One of them (Cabri geometry) is developed in France (J.-M. Laborde, F. Bellemain, etc.), the other (Geometer's Sketchpad) - in the USA (J. King, D. Sher, etc.).

The most complete and interesting results in the field of computerization of the basic geometry course, supported by a large number of publications and implementation in the educational process [9-10].

Materials and methods

We will begin the description of the educational and methodological complex we have developed with the course of lectures we have developed "Analytical and Projective Geometry. It consists of thirty lectures on major additional topics; examples of standard and non-standard tasks for the development of creative thinking; problem questions are focused on the ability to perform research actions. The difficulty of studying this discipline is that students have been studying Euclidean geometry all their conscious life and are used to its standards. Therefore, when studying projective geometry, it becomes difficult for them to understand its structure and basic elements.

When preparing a lecture and delivering it, problem-based teaching methods are used. Experience shows that problem lectures are perceived by students with interest and understanding [11]. Therefore, the use of problem situations in lectures can promote a creative approach to problem solving. Tasks should be structured in such a way that students can propose their own ways to solve the problem. Let's look at some projective geometry questions that require creativity. For example, the intersection of parallel lines. From the school course of geometry students know that parallel lines are lines that do not have a common point. In reality, it turns out that Euclidean geometry is not the only option of this science, that there are non-Euclidean types of geometry such as Lobachevsky geometry, spherical, projective, etc.

Table 1. Structure of a problem lecture on projective geometry on the example of the topic "Desargues Theorem".

Stages of the lecture	*Teacher's objective*	*Techniques and methods of teacher's activity*
Introduction	*Cultivate student interest in the topic and capture the attention of the audience*	*Task: parallel lines do not intersect. Why do we see train tracks crossing in the distance at one point?*
Setting of a problem	*Determine the goal, objectives of the problem, show relevance, find out where contradictions appear*	*Projective geometry radically extends the well-known duality principle. Compare. Students should gain a deeper understanding of the notion of an incidence relation, or the belonging of one subspace to another. Realize that in projective geometry, lines are treated as points and three-dimensional spaces as lines. They then discover an unexpected connection between the generalized Desargues theorem and the triangle altitude theorem.*
Break a big problem into small tasks	*Clearly identify key issues and create an action plan.*	*The study of the Desargues' configuration in various options and modifications, contributes to a better understanding of perspective theory.* *Give examples on the use of Desargues' generalized theorem. Students give examples of use in architecture, design, fine arts, etc.*
Explanation of your solution, method, method	*Compare your solution method with others and analyze*	*It is reasonable to demonstrate that the Desargues configuration is not only fundamental to projective geometry, being the basic configuration of*

		projection and perspective correspondence of series of points and lines, but also has very numerous applications in architecture and design. Students justify evidence, judgments, arguments and use methods of critical analysis and comparison
Conclusions. Analysis	*Analyze, draw a conclusion*	*However, it should be taken into account that the theorem is quite complex, therefore, to master it, the department uses computer programs that allow one to become familiar with all the basic invariant properties of the Desargues configuration.*

Thus, the use of a problematic presentation of lecture material when studying the course "Analytical and Computational Geometry" contributes to the formation of deep knowledge among students in combination with the development of interest and motivational aspects in the learning process, and also contributes to the intensification of students' research activities. Therefore, it is perceived with interest by students, shows the creative abilities of students, which, in turn, contributes to a deep understanding of the topic and is an effective way of learning.

In practical classes there is an exchange of knowledge, ideas between students, students and instructor. To improve research skills, we used interactive programs in practical classes. For example, the study of analytical geometry at a pedagogical university traditionally ends with the topic "surface of the second degree." This topic has great potential for demonstrating the process of exploring the geometric properties of surfaces using their algebraic equations. Modern digital technologies make it possible to simulate various geometric structures and show them from convenient angles. For this purpose, it is proposed to use the GeoGebra program, which successfully combines the ability to depict three-dimensional figures and perform complex mathematical calculations. In the section of a conic surface with a plane, an ellipse, a hyperbola and a parabola were obtained, and the type of the section and the name of the curve changed depending on the angle of inclination of the cutting plane. In addition, the possibilities of the use of GeoGebra program were considered in all sections of the theory of the second-degree surface: the method of sections for the study of the surface configuration; surfaces of rotation; cylindrical and conical surfaces; ellipsoid, hyperboloids and paraboloids; rectilinear formations of one-sheeted hyperboloid and hyperboloid paraboloid. Special attention was paid to the problem of classifying surfaces by simplifying their general equation when moving to a new coordinate system. With the help of GeoGebra it was possible to visualize the dynamics of such coordinates transformation, presenting it as a result of the corresponding space motion.

For example, when covering topics about surfaces of revolution, single-sheeted, double-sheeted hyperboloid, hyperbolic paraboloid, the use of GeoGebra made it possible not only to see when rotating, but also to look when cutting the surface, which made it possible to use it in solving problems (Figure 1).

Figure 1. Visualization of surfaces of revolution and hyperbolic surfaces using GeoGebra

Projective geometry is a rather difficult section of geometry for students to understand. As experience shows, creating videos with solutions to problems and demonstrations of proofs of theorems contributes to a faster and deeper understanding of the subject and the emergence of interest in its study. GeoGebra just presents such opportunities, namely, the possibility of step-by-step viewing of the solution of a problem or proof of a theorem. Therefore, the computer program GeoGebra was used in practical classes to solve problems in analytical and projective geometry. For example, when studying the theorem of Desargues which states: On the projective plane there are six different points C, B, D, E, F, G. The lines BE, DF, CG intersect in one point A if and only if the intersection points of pairs of lines CB and EG, BD and EF, CD and GF lie on the same line. Students prove this theorem using the GeoGebra program and obtain the following image (Figure 1). By moving the triangles students see that the three points are always collinear.

Let us emphasize to students that in projective geometry instead of the words “a point lies on a line” and “a line passes through a point” we can use the words “a point and a line are incident”. If we now write down the formulation of the theorem using this artificial turn, then in the resulting text the words “point” and “line” can be interchanged. As a result of this “linguistic” procedure, Desargues’ direct theorem can be turned into an inverse theorem and written as: If the points of intersection of lines CB and EG, BD and EF, CD and GF are collinear, then lines BE, DF, CG intersect at the same point A. . Students prove this theorem using the GeoGebra program and receive the following image (Figure 2). By moving the triangles, students see that the three points are always collinear.

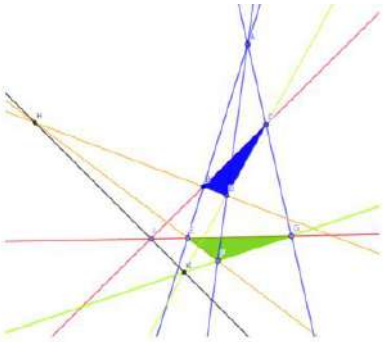


Figure 2. GeoGebra illustration of Desargues’ theorem showing collinear intersection points

Students begin to realize that in projective geometry the same “transformation” can be applied to the text of any theorem. After all, in the projective plane, unlike the Euclidean plane, there are no parallel lines. That is, “any two lines are incident to one common point”, “any two points are incident to one common line”. Since there are no distances, angles, or areas in projective geometry, all theorems refer only to the incidence of points and lines. The condition and conclusion involve mainly collinear triples of points (three points are incident to one line) and competitive triples of lines (three lines are incident to one point).

Thus, if a theorem of projective geometry is proved, its dual theorem, which is obtained from it by swapping points and lines, can also be considered as proved. As an important example, one tries to construct a theorem dual to the theorem about the projective mapping of one line to another.

While passing the topics on projective geometry students showed their creative and research abilities by applying linear perspective, shadow theory, Desargue configurations in painting, design, architecture. Therefore, for independent work, students were given tasks to study the Desargues configuration in different versions and modifications, the theory of perspective and shadow (Figure 3). We learned to use a special type of perspective art - anamorphosis (Figure 4).

However, it should be taken into account that many provisions of the theory are quite complicated and it takes considerable time to master it.

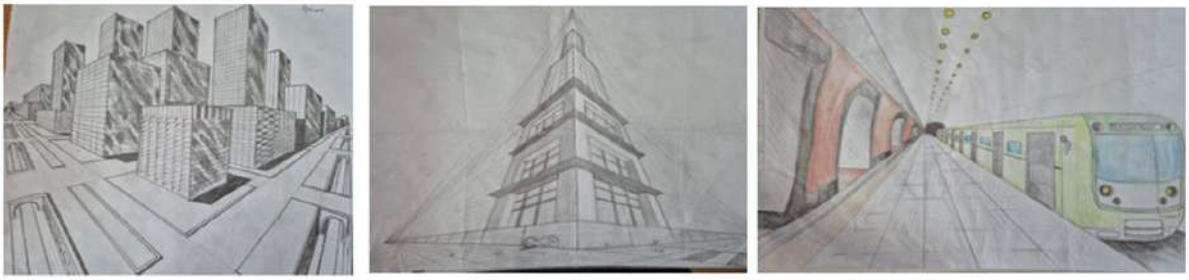


Figure 3. Students' independent work on Desargues configurations and perspective and shadow theory using GeoGebra

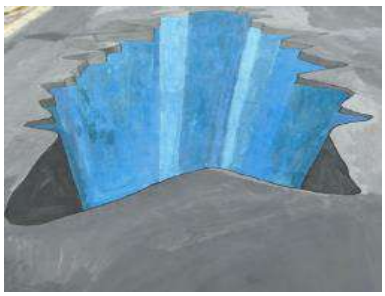


Figure 4. Example of applying anamorphosis as a special type of perspective art

By the end of the semester, students knew the basic methods of constructing perspective images of geometric figures; the basic rules of applying perspective projections in drawing and analyzing perspective images; solved the problems of constructing shadows of objects in perspective at different positions of the light source

Results and discussion

When studying the discipline "Analytical and Projective Geometry" with second-year students at Margulan University, we used pre-developed indicators and test materials to diagnose the level of development of the research abilities of future mathematics and physics teachers [11]. During the study, we used the levels we developed: high, sufficient, threshold, low, critical, which made the assessment more objective [11]. During our study, students were not divided into control and experimental groups. We carried out diagnostics at the beginning of using the educational and methodological complex and after. The criteria are shown in Table 2.

Table 2. Criteria of the level of research skills formation

Criterion	*Level and score of research skills formation*				
	Critical /1	*Low /2*	*Cut-off /3*	*Sufficient /4*	*High /5*
A. Ability to see the problem	*No interest shown*	*Delves into the problem as needed*	*Delves into as needed*	*The problem is viewed one-sidedly*	*Able to research a problem from different angles*
B. Ability to hypothesize	*No interest shown*	*Doesn't know how to hypothesize*	*Produces a hypothesis during teamwork*	*Can reason logically*	*Able to hypothesize not only through logical reasoning, but also as into-itive thinking*
C. Ability to set a problem and propose ways to solve it	*No interest shown*	*Doesn't know how to put forward a task*	*Sets goals, solves problems together as a team*	*Knows how to set a problem but has*	*Able to independently set solutions and find ways to solve it*

				difficulty in solving it	
D. Ability to analyze	*No interest shown*	*Doesn't know how to analyze*	*Makes analysis when working with a group*	*Able to analyze, has difficulty in drawing conclusions*	*Able to analyze results, draw conclusions*
E. Ability to make judgments	*No interest shown*	*Does not know how to speak on the topic*	*Makes his judgments with uncertainty*	*Makes incomplete statements*	*Can not only make judgments but also draw inferences*
F. Ability to observe	*No interest shown*	*Can't repeat during observations*	*Observes and understands problem solving*	*Draws conclusions from his observations*	*Not only knows how to observe, but also draws his conclusions based on those observations*
G. Ability to use interactive programs	*No interest shown*	*Does not know how to use*	*Uses with the teacher*	*Uses in some cases*	*Uses interactive programs in problem solving*
H. Classification skills	*No interest shown*	*Does not know how to divide by common features*	*Only when working as a team*	*Able to classify by common features*	*Able not only to classify by general features, by the course of decision, etc., but also to distinguish common es-sential features in them*

At the beginning of the semester, students showed low indicators, i.e., they were not able to find and work with information, with literature, did not show persistence in solving problems, were not able to analyze and correctly formulate the solution and the main points of the research, etc.

Taking into account that the maximum score is 5 and the minimum score is 1 score, we converted the obtained indicators into scores

$$\mathrm{X} = \frac{A + B + C + D + E + F + G + H}{8}$$

Subsequently, analyzing the results at the initial stage of the study, where the level of development of research skills was low, we saw that threshold and low scores predominated. The level of development of the students' research skills with the use of the same methodology was repeatedly diagnosed at the final stage. Let's conduct a statistical analysis using the Wilcoxon T-test and determine whether there is an intensive shift in indicators in this direction (Table 3).

H_0: Post-experiment scores are higher than pre-experiment scores. H_1: Post-experiment scores are less than pre-experiment scores.

The sum of the ranks column is equal to ∑=666.

Checking the correctness of the matrix based on checksum calculation:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)m}{2} = \frac{(1+36)36}{2} = 666$$

Table 3. Application of the Wilcoxon T-test to determine the reliability of the shift in indicators of the level of development of students' research skills and abilities

№	Before measurement, t_{before}	After measurement, t_{after}	Difference (t_{before}-t_{after})	The absolute value of the difference	Difference rank number
1.	2.8	2.8	0	0	8.5
2.	2.1	2.2	0.1	0.1	26
3.	3.2	3.2	0	0	8.5
4.	2.6	2.7	0.1	0.1	26
5.	3.1	3.2	0.1	0.1	26
6.	4.1	4.2	0.1	0.1	34.5
7.	2.3	2.3	0	0	8.5
8.	2.4	2.5	0.1	0.1	26
9.	3.1	3.1	0	0	8.5
10.	3.2	3.3	0.1	0.1	17.5
11.	4.2	4.2	0	0	8.5
12.	2.8	2.8	0	0	8.5
13.	2.8	2.9	0.1	0.1	26
14.	3.1	3.2	0.1	0.1	26
15.	3.2	3.2	0	0	8.5
16.	4.1	4.2	0.1	0.1	34.5
17.	3.1	3.1	0	0	8.5
18.	2.0	2.1	0.1	0.1	26
19.	3.1	3.2	0.1	0.1	26
20.	2.6	2.5	-0.1	0.1	26
21.	2.2	2.4	0.2	0.2	36
22.	2.3	2.4	0.1	0.1	26
23.	3.1	3.1	0	0	8.5
24.	3.2	3.2	0	0	8.5
25.	2.6	2.7	0.1	0.1	26
26.	2.6	2.5	-0.1	0.1	26
27.	3.1	3.2	0.1	0.1	26
28.	3.2	3.2	0	0	8.5
29.	4.0	4.1	0.1	0.1	17.5
30.	4.6	4.6	0	0	8.5
31.	2.5	2.6	0.1	0.1	26
32.	2.5	2.5	0	0	8.5
33.	2.1	2.1	0	0	8.5
34.	3.3	3.3	0	0	8.5
35.	3.4	3.4	0	0	8.5
36.	3.4	3.5	0.1	0.1	26
	Sum				666

The column sum and the checksum are equal, so the ranking is correct. Now let us mark the directions that are atypical, in this case, negative. The sum of the ranks of these “rare” directions is the empirical value of the criterion T: $T=\sum Rt=26+26=52$

We use the table to find the critical values for the Wilcoxon T-criterion for n=36: $T_{cr}=185$ ($p\leq0.01$). $T_{cr}=227$ ($p\leq0.05$). The zone of significance in this case extends to the left; indeed, if there were no “rare”, in this case positive, directions at all, then the sum of their ranks would be zero. In this case, however, the empirical value of T falls into the zone of significance: $T_{emp}<T_{cr}(0.01)$. Hypothesis H_0 is accepted. Post-experiment indicators exceed the values of pre-experiment indicators.

A statistically significant positive shift was noted: indicators of the level of development of research skills at the final stage increased compared to similar indicators at the first defining stage.

The study of the formation of research skills and abilities when studying the module of the discipline “Analytical and Projective Geometry” showed positive statistics. Thus, the results obtained from a small sample are reliable. They can be extended to the entire population of subjects and contain methodological recommendations.

Conclusion

The analysis of the results of our research on the problem of formation of students’ research abilities allows us to talk about the significance and feasibility of using interactive programs, in particular, the dynamic system GeoGebra, which favorably affects the students’ understanding of the educational material in the study of the discipline “Analytical and projective geometry”. The level of learning on the topic is not reduced if you use computer dynamic drawings instead of paper textbooks and notebooks. This does not mean that it is necessary to give up writing, but partial replacement of manual writing with computerized drawings takes place.

This study is aimed at ensuring the purposeful mastering by future teachers of mathematics and physics of the theoretical foundations of research activity through the formation of their research skills of a generalized nature and at organizing special training of students to carry out research activities in geometry lessons.

Список использованных источников

[1] Orazali G., Dauletkulova A., Mekebayev N. Methodology of teaching geometry in the context of digitalization of education. Bulletin of Ablai Khan KazUIRandWL Series “Pedagogical Sciences” No 1 (76) 2025, pp. 446-457 DOI: https://doi.org/10.48371/PEDS.2025.76.1.029

[2] Clark-Wilson A., Robutti O., Thomas M. Teaching with digital technology. ZDM Mathematics Education. - 2020. - No52(7). - C. 1223–1242 DOI:10.1007/s11858-020-01196-0

[3] Yarullin, I. F., Bushmeleva, N. A., & Tsyrkun, I. I. The Research Competence Development of Students Trained In Mathematical Direction. International Electronic Journal of Mathematics Education, 2015, 10(3),c. 137-146. https://doi.org/10.29333/iejme/296

[4] Nazarovich, S. T., & Kurudirek, A. An Overview of Existing Problems in Teaching the Science ”Fundamentals of Geometry”. International Journal of Social Sciences & Educational Studies, 2024, 11(2), 91-106. https://doi.org/10.23918/ijsses.v11i2p91

[5] Wardhani I. S. et al. The Model of Geometry Learning With Spatial Skills Features: Is It Possible? //Journal of Higher Education Theory & Practice. 2023, T. 23, №. 14. DOI: https://doi.org/10.33423/jhetp.v23i14.6397

[6] Osta, Iman & Laborde, Collete & Hoyles, Celia & Jones, Keith & Graf, Klaus-D & Hodgson, Bernard. Computer technology and the teaching of geometry. 1998, DOI:10.1007/978-94-011-5226-6_5

[7] Hamidah H. et al. Self-investigation exercises: geometry learning strategies for prospective teacher students //Journal of Education and Learning (EduLearn). – 2025. – T. 19. – №. 2. – C. 814-830. DOI:10.11591/edulearn.v19i2.21012

[8] Matheou Argyrou Aphrodite, & Panaoura Rita. Young Students’ Ability on Understanding and Constructing Geometric Proofs . Social Education Research, 2021, 2(2), 121–133. https://doi.org/10.37256/ser.222021784

[9] Noviana A. P., Nurhayati E., Rustiana R. Developing Students' Mathematical Communication Skills on Geometric Number Patterns Through Group Investigation and Peer Teaching //International Journal of Geometry Research and Inventions in Education (Gradient). – 2024. – T. 1. – №. 2. – C. 94-101. DOI:10.56855/gradient.v1i2.1249

[10] Drushlyak M. G. et al. Methodology of formation of modeling skills based on a constructive approach (on the example of GeoGebra) //CTE Workshop Proceedings. – 2021. – T. 8. – C. 458-472. DOI: https://doi.org/10.55056/cte.300

[11] Zhunussova R.A., Seitkhanova A.K., Kissabekova A.A., Alina A.B.. Formation of students' research abilities while studying the discipline "Optics" // Recent Contributions to Physics, 86(3), 85–94. https://doi.org/10.26577/RCPh.2023.v86.i3.010

References

[1] Orazali G., Dauletkulova A., Mekebayev N. Methodology of teaching geometry in the context of digitalization of education. Bulletin of Ablai Khan KazUIRandWL Series "Pedagogical Sciences" No 1 (76) 2025, pp. 446-457 DOI: https://doi.org/10.48371/PEDS.2025.76.1.029

[2] Clark-Wilson A., Robutti O., Thomas M. Teaching with digital technology. ZDM Mathematics Education. - 2020. - No52(7). - C. 1223–1242 DOI:10.1007/s11858-020-01196-0

[3] Yarullin, I. F., Bushmeleva, N. A., & Tsyrkun, I. I. The Research Competence Development of Students Trained In Mathematical Direction. International Electronic Journal of Mathematics Education, 2015, 10(3),c. 137-146. https://doi.org/10.29333/iejme/296

[4] Nazarovich, S. T., & Kurudirek, A. An Overview of Existing Problems in Teaching the Science "Fundamentals of Geometry". International Journal of Social Sciences & Educational Studies, 2024, 11(2), 91-106. https://doi.org/10.23918/ijsses.v11i2p91

[5] Wardhani I. S. et al. The Model of Geometry Learning With Spatial Skills Features: Is It Possible? //Journal of Higher Education Theory & Practice. 2023, T. 23, №. 14. DOI: https://doi.org/10.33423/jhetp.v23i14.6397

[6] Osta, Iman & Laborde, Collete & Hoyles, Celia & Jones, Keith & Graf, Klaus-D & Hodgson, Bernard. Computer technology and the teaching of geometry. 1998, DOI:10.1007/978-94-011-5226-6_5

[7] Hamidah H. et al. Self-investigation exercises: geometry learning strategies for prospective teacher students //Journal of Education and Learning (EduLearn). – 2025. – T. 19. – №. 2. – C. 814-830. DOI:10.11591/edulearn.v19i2.21012

[8] Matheou Argyrou Aphrodite, & Panaoura Rita. Young Students' Ability on Understanding and Constructing Geometric Proofs. Social Education Research, 2021, 2(2), 121–133. https://doi.org/10.37256/ser.222021784

[9] Noviana A. P., Nurhayati E., Rustiana R. Developing Students' Mathematical Communication Skills on Geometric Number Patterns Through Group Investigation and Peer Teaching //International Journal of Geometry Research and Inventions in Education (Gradient). – 2024. – T. 1. – №. 2. – C. 94-101. DOI:10.56855/gradient.v1i2.1249

[10] Drushlyak M. G. et al. Methodology of formation of modeling skills based on a constructive approach (on the example of GeoGebra) //CTE Workshop Proceedings. – 2021. – T. 8. – C. 458-472. DOI: https://doi.org/10.55056/cte.300

[11] Zhunussova R.A., Seitkhanova A.K., Kissabekova A.A., Alina A.B.. Formation of students' research abilities while studying the discipline "Optics" // Recent Contributions to Physics, 86(3), 85–94. https://doi.org/10.26577/RCPh.2023.v86.i3.010

ҒТАХР 14.35.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.011

К.Ж. Назарова[1*], Ж.С. Еркишева[1]

[1]Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан
[*]*e-mail: kulzina.nazarova@ayu.edu.kz*

MAPLE КОМПЬЮТЕРЛІК МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ИНТЕГРАЛДЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕР ТЕОРИЯСЫН ОҚЫТУДЫ ЖЕТІЛДІРУ

Аңдатпа

Бұл мақалада Maple бағдарламаларын интегралдық есептеулерде пайдаланудың ерекшеліктері қарастырылады. Жоғары оқу орнына жаратылыстану ғылымдары бойынша білім беру саласына түсетін білім алушылардың мансап жолы үшін математикалық білімінің жоғары болуы өте маңызды. Дегенмен, бұл сала бойынша оқытылатын білім беру бағдарламаларына түсуші әртүрлі білім алушылардың математикалық білімдері әрқашанда жоғары болмайды. Бұл олқылықты жоюдың тиімді стратегияларының бірі математикалық білім беруде оқыту әдістерін жетілдіру болып табылады. Бұл зерттеу 6B05449-Математика білім беру бағдарламасының екінші курс білім алушылары арасында математикалық білімдерін кеңейту және ондағы есептерді шығару жолдарын түсінуді жақсарту мақсатында Maple компьютерлік математикалық жүйесін пайдаланып интегралдық есептеулерді оқытудың жаңа тәсілін ұсынады. Зерттеуде математиканы меңгеру деңгейі әртүрлі 6B05449-Математика білім беру бағдарламасының екінші курс білім алушыларына интегралдық есептеулерді оқытуда Maple компьютерлік математикалық жүйесін практикалық сабақ барысында интеграцияланудың тиімділігі көрсетіледі**.**

Түйін сөздер: интегралдық есептеулер, Maple компьютерлік математикалық жүйесі, білім беру бағдарламасы, «Математикалық талдау II» пәнін оқыту.

К.Ж. Назарова[1], Ж.С. Еркишева[1]
[1] Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
г.Туркестан, Казахстан

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБУЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОМУ ИСЧИСЛЕНИЮ ПОСРЕДСТВОМ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ MAPLE

Аннотация

В данной статье рассматриваются особенности использования программы Maple для изучения интегрального исчисления. Для карьерного пути студентов, поступающих в высшие учебные заведения по направлению естественнонаучного образования, очень важно иметь высокий уровень математических знаний. Однако уровень математических знаний у разных студентов, поступающих на образовательные программы данной области, не всегда является высоким. Одной из эффективных стратегий устранения данного разрыва является совершенствование методов преподавания математических дисциплин. В данном исследовании представлена новая методика обучения интегральному исчислению с использованием компьютерной математической системы Maple, направленная на расширение математических знаний и улучшение понимания способов решения задач у студентов второго курса образовательной программы 6B05449-Математика. Эффективность интеграции компьютерной математической системы Maple в практические занятия по обучению исчислению подтверждена результатами исследования.

Ключевые слова: интегральное исчисление, компьютерная математическая система Maple, образовательная программа 6B05449 - Математика, преподавание дисциплины «Математический анализ II».

K.Zh.Nazarova[1], Zh.S.Yerkisheva[2]
[1] International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan, Kazakhstan

IMPROVING THE TEACHING OF INTEGRAL CALCULUS USING THE MAPLE COMPUTER MATHEMATICS SYSTEM

Abstract

This article discusses the features of using the Maple program for studying integral calculus. For students pursuing higher education in the field of science education, it is very important to have a high level of mathematical knowledge. However, the level of mathematical preparation among students entering educational programs in this field is not always sufficient. One effective strategy to bridge this gap is to improve teaching methods in mathematics education. This study presents a new methodology for teaching integral calculus using the Maple computer mathematics system, aimed at expanding students' mathematical knowledge and improving their understanding of problem-solving techniques among second-year students of the educational program 6B05449 – Mathematics. The effectiveness of integrating the Maple computer mathematics system into practical calculus lessons has been confirmed by the results of the study.

Keywords: integral calculus, computer mathematical system Maple, educational program, teaching the subject of «Mathematical analysis II».

Кіріспе

Қазіргі уақытта білім берудің негізгі міндеті - білім сапасын арттыру. Адамзат үнемі бізді қоршаған дүниенің әртүрлі үлгілерін жасайды, ал көрнекі модельдер оқу процесінде маңызды рөл атқарады. Дамып келе жатқан компьютердің динамикалық оқу құралы ретінде енгізілуі оқу үдерісінде алға қойылған маңызды қадам болды. Оқытуда компьютерді және арнайы бағдарламалық құралдарды пайдалану оқу процесін жан-жақты және тереңірек етеді, бұл оның тиімділігіне оң әсер етеді. Математиканы ақпараттық технология мүмкіндіктерімен интеграциялау білім алушыларға физикалық процестердің элементтерімен танысуға және компьютерді зерттеу құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл білім алушылардың шығармашылық қабілеттерін дамытуға ықпал етеді. Қазіргі заманғы ақпараттық технологиялар, мысалы, AutoCAD, MATLAB, Maple, Mathematica және т.б математикалық пакеттер оқу үдерісіне белсенді түрде енгізілуде. Бұл құралдарды математика сабақтарында қолдану күрделі есептерді шешуге және үлкен масштабты математикалық түрлендірулерді қатесіз орындауға көмектеседі.

Математикалық білім кез келген прогрессивті елдің экономикалық, ғылыми-техникалық ілгерілеуінің негізі ретінде қарастырылады. Осы себепті олардың дамуына алаңдайтын елдердің білім беру жүйесі математиканы зерттеуге көп көңіл бөледі.

Қазіргі уақытта компьютерлік технологияларды оқыту және ғылыми зерттеулер үшін математиканы қолдану саласы үнемі дамып келеді. Компьютерлік математикалық жүйелер ғылыми зерттеулерде, инженерлік және экономикалық-математикалық есептеулерде кеңінен қолданылады. Заманауи компьютерлік математикалық жүйелерді болашақ математиктерді тәрбиелеуге біріктіру қазіргі заманғы қоғам талаптарымен маңызды. Бұрынғы кезде қоғамның табысқа жетуі үшін білім мен біліктіліктің жоғары деңгейіне жету жеткілікті болатын. Дегенмен, бүгінгі күнде болашақ маман бойынан әртүрлі мәселелерді өз бетінше шешу қабілетіне баса назар аударады.Осы жаңа талаптарды қанағаттандыру үшін жоғары оқу орнын бітіруші түлектерде бәсекеге қабілетті және қоғам үшін құндылығы басым дағдыларға ие болуы керек. Болашақ математиктерді математикалық компьютерлік математикалық жүйелерді пайдалана отырып оқыту білім алушыларды өз зерттеулерін жобалауға үйретуді көздейді. Бұл процесс әдістемелерді анықтауды, зерттеу жолдарын жоспарлауды, күтілетін нәтижелерді белгілеуді, нәтижелерді бағалауды және т.б. қамтиды.

Сонымен қатар, компьютерлік математикалық жүйелерді пайдалану арқылы білім алушылар өздерінің шығармашылық қабілеттерін тиімді көрсете алады, білімдері мен зерттеу қабілеттерін арттыра алады, өз бетінше немесе бірлесіп жұмыс істей алу қабілеттері арытады және маңызды нәтижелерге қол жеткізе алады. Оқыту барысында компьютерлік

математикалық жүйелерді пайдалану тек есептерді шығаруды жеңілдетіп қана қоймайды, сонымен қатар академиялық және кәсіби ортада өркендеу үшін қажетті дағдыларды дамытады. Компьютерлік математикалық жүйелер білім алушыларды күрделі есептерді шешуге және олардың шешімдерін тексеруге қызықтыра алады. Екіншіден, болашақ кәсіби қызмет саласында пайдалы болатын математикалық дағдыларды меңгеруді қамтамасыз етеді.

Maple графикалық интерфейсі шығармашылық зерттеулерге мүмкіндік береді. Maple - ғылымның, білімнің және технологияның әртүрлі салаларында математикалық есептерді автоматты түрде шешу үшін кеңінен қолданылатын компьютерлік математиканың қуатты және жан-жақты жүйесі. Қазіргі уақытта қол жетімді Maple әртүрлі нұсқалары математикалық негізде құрылған кешенді жүйелер болып табылады [1]. Maple операторлар мен функциялардың негізгі кітапханасын қамтиды, олардың көпшілігі қарапайым функциялар сияқты қосымша шақыруларсыз үздіксіз пайдалануға болады, ал басқалары арнайы енгізулерді қажет етуі мүмкін [2]. Математикалық есептерді шешу үшін Maple өзін қоршаған ортадағы әртүрлі процестерді математикалық модельдеуге негізделген әртүрлі мақсаттарға арналған жүйелер мен қондырғыларды жылдам есептеу қабілетімен ерекшеленеді [3]. Maple символдық математикалық жүйелер мен символдық есептеулердің әмбебап жүйелері арасында көшбасшы ретінде ерекшеленеді. Ол кез келген күрделіліктегі математикалық зерттеулерге қолайлы интеллектуалды орта жасайды және ғылыми ортада маңызды мәнге ие [4]. Математикалық таңбалар мен геометриялық фигураларды, сондай-ақ формулалар мен теорияларды зерттеуден тұратын математикалық зерттеу білім алушылардың көпшілігі үшін тым дерексіз. Математикалық есептерді сәтті шешу үшін білім алушылар математикалық терминологияларды түсіну қиындықтарын жеңу арқылы өздерінің концептуалды түсіну қабілетін жетілдіруі және есеп шығару дағдыларын дамыту үшін теориялық білімді қолдануы қажет [5]. Қазіргі таңда білім алушылардың математикадан есеп шығару дағдыларын дамыту үшін теориялық білімнің қажет екендігін көпшілігі ұғына бермейді. Көп жағдайда білімалушылар дайын формуланы пайдаланып, оқу үдерісінде сол формула төңірегінде ғана есеп шығарады. Алайда теориялық білімнің жеткіліксіздігінен, кейбір есептердің шешімін шығаруда көптеген қиындықтарға тап болуда. Осыған байланысты ақпараттық техниканың дамыған қоғамда білім алушыларды дәстүрлі түрде есеп шығару дағдыларымен қатар, компьютерлік математикалық жүйелердің мүмкіндіктерін қолданып есептердің шешімін алуға машықтандыру болашақ кәсіби қызметтеріне және ғылыми зерттеу жұмыстарын сауатты да сапалы жүргізуге оң ықпал етеді.

Осы тұрғыдан алғанда, интегралдық есептеулерді оқыту үдерісін цифрландыру жағдайында жаңғырту қажеттілігімен байланысты. Дәстүрлі оқыту әдістері көбінесе күрделі математикалық ұғымдарды түсіну мен оларды тәжірибеде қолдану деңгейін қамтамасыз етпейді. Maple компьютерлік математикалық жүйесін қолдану визуализация, есептеулерді автоматтандыру және аналитикалық ойлауды дамыту арқылы оқыту сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе қазіргі заманғы технологиялық талаптар жағдайында білім алушыларды кәсіби қызметке дайындау тұрғысынан маңызды болып табылады.

Зерттеудің мақсаты

Білім алушыларға интегралдық есептеулерді оқыту барысында тақырыпты түсіну үшін Maple компьютерлік математикалық жүйесін қолданып оқытудың тиімділігін зерттеу.

Зерттеудің әдіснамасы

Болашақ математиктер Maple компьютерлік математикалық жүйесін зерттеу мәселелерін шешуге бағытталған оқу әрекеттерінің бөлігі ретінде интегралдық есептеулер теориясының қыр-сырын зерттеу үшін пайдаланады. Бұл әдіс топтың барлық мүшелері арасында біртұтас мақсаттарға қол жеткізуге, ортақ мақсаттарды анықтауға және сәйкес зерттеу әдістемелерін таңдауға баса назар аударады. Ол білім алушылар мен оқытушылар арасындағы ынтымақтастықты бірлескен шығармашылықты дамытудың және болашақ мамандардың кәсіби білімін жетілдірудің маңызды аспектісі ретінде қарастырады.

Университеттерде интегралдық есептеулерді оқытуда Maple компьютерлік математикалық жүйесін интеграциялауды жақсарту оқытушы мен білім алушылардың бірлескен күш-жігері арқылы дамитын күрделі процесс. Бұл тұрғыда оқытушы оқу-зерттеу тапсырмаларын құрастыру, пәндік ауқымды анықтау және процестің әрбір қадамын орындау үлгілерін құру арқылы орталық рөл атқарады.

Осыған орай, интегралдық есептеулерді оқыту барысында Maple компьютерлік математикалық жүйесін интеграциялаудың тиімділігін айқындау мақсатында талдау және іріктеу, бақылау әдістері пайдаланылды.

Зерттеу әдістері: талдау, іріктеу, бақылау.

Жоғары оқу орындарында болашақ математиктерге интегралдық есептеулер теориясы бойынша теориялық, практикалық және кәсіби білімдерді қамтитын жан-жақты түсінікке қол жеткізу мақсаты қойылады.

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінде 6В05449-Математика білім беру бағдарламасы бойынша интегралдық есептеулер теориясы бойынша «Математикалық талдау II» курсында оқытылады.Бұл пәннің аталған білім беру бағдарламасының негізгі оқу жоспарында жалпы 180 сағат (6 кредит) қамтылған. Осы пән бойынша силлабуста пәннің қысқаша сипаттамасы қарастырылған. Оның мазмұнында «Пәнді оқып-үйрену арқылы білім алушылар бір айнымалыдан тәуелді функциялардың интегралдық есептеулерін, интегралдар теориясының геометрияда, физикада, механикада, экономикада қолдану дағдыларын қалыптастырады. Математикалық талдау мен басқа математикалық пәндерді одан әрі зерттеу үшін әртүрлі функцияларды саралау әдістерін игереді. Математиканың ғылыми және қолданбалы бағытында теориялық ұстанымдарды бейнелейтін есептер мен жаттығуларды шешуде абстрактілі ойлау мен жеке мәлімдемелерді өз бетінше дәлелдей білуге машықтанады»-деп баяндалған.

Силлабустың құрылымы 15 аптаны қамтиды. 6В05449-Математика білім беру бағдарламасының «Математикалық талдау II» пәніне арналған силлабуста бір айнымалы функциялардың интегралдық есептеулері теориясына сәйкес тақырыптар «Алғашқы функция», «Анықталмаған интеграл», «Анықталмаған интегралдың қасиеттері», «Бөліктеп интегралдау және анықталмаған интегралда айнымалыны ауыстыру, рационалдық бөлшектерді, иррационалдықтарды, дифференциалдық биномдарды, тригонометриялық және трансценденттік интегралдау», «Риман анықталған инегралы», «Жоғарғы және төменгі интегралдық Дарбу қосындылары және олардың қасиеттері», «Интегралданудың қажетті және жеткілікті шарттары». «Интегралданатын функциялардың кластары»,. «Анықталған интегралдың қасиеттері» және тағы басқалар қарастырылған.

6В05449-Математика білім беру бағдарламасының құрылымында әрбір математикалық пәннің мазмұнын қазіргі ғылым жетістіктеріне жақындатуға бағытталған. Оның мақсаты – білім алушылардың математикалық мәдениетінің деңгейін арттыру және олардың интеллектуалдық сезімталдығын дамыту. Бағдарлама логикалық ойлаудың икемділігі мен дербестігін дамытуды ынталандырады, жоғары оқу орнында өз мамандығын табысты меңгеру үшін қажетті дербестік пен коммуникативті дағдыларды қалыптастыруға ықпал етеді.

Жоғары оқу орнында «Математикалық талдау II» курсындағы «Интегралдық есептеулер теориясы» тақырыбы ең қиын тақырыптардың бірі болып табылады. Отандық және шетелдік ғалымдардың зерттеулері математикалық талдаудың негізгі ұғымдары мен әдістерінің өзі білім алушылардың дамуында шешуші рөл атқаратынын көрсетеді. Алайда практикада көптеген білім алушылар интегралды түсінуде және оны қолдануда түсініктердің абстрактілілігіне, анықтамалардың күрделі логикалық құрылымына және материалды меңгеру уақытының шектеулілігіне байланысты қиындықтарға тап болады. Бұл осы мәселелерді барынша азайту және тиімді оқытуды қамтамасыз ету үшін мазмұн мен оқыту әдістерін мұқият таңдауды талап етеді.

Аталған мәселелер мен қиындықтардың себептері ұғымдардың абстракциялануының өте жоғары дәрежесі, олардың анықтамаларының күрделі логикалық құрылымы, күрделі

мәселелерді түсіну мен меңгеруге уақыттың жеткіліксіздігі негізгі факторлар болып табылады. Сондықтан «Интегралдық есептеулер теориясы» бөлімін сәтті оқу курстың оқу мақсаттарын дұрыс қоюға, теориялық және дидактикалық материалдардың мазмұнын және әдістемелік техниканы мұқият таңдауға байланысты мәселелерді шешу қажеттілігіне байланысты.

Осыған байланысты қазіргі таңда кез-келген білім беру бағдарламасының білім алушыларында есепті логикалық тұрғыдан ойлау емес, тек жаттанды түрде, есептің берілу шарттарына ұқсас есептердің шығарылу жолына қарап есептің шешімін табуға бейімделген. Сондықтан мектеп математика мұғалімі болсын, университет оқытушысы болсын, кез-келген математикаға қатысты жаңа тақырыпты түсіндіру барысында "Мен қалай түсіндірсем, қандай әдіс-тәсілді пайдалансам, осы жаңа тақырыпты меңгерте аламын?" -, деген ой мазалайтындығы өмір ағымындағы шындықтардың бірі болып есептеледі.

Демек, «Интегралдық есептеулер теориясы» бойынша әрбір лекциялық және практикалық сабақтарды ұйымдастыру кезінде табысқа жету үшін бірқатар негізгі аспектілерді ескеру қажет:

- білім алушылардың қазіргі математикалық білім деңгейін ескере отырып, оларға қолжетімді және түсінікті теориялық материалды мұқият таңдау маңызды;
- теорияны баяндау барысында әрбір білім алушылардың жеке ерекшеліктерін, олардың жас және психологиялық ерекшеліктерін ескеру қажет. Оқыту материалын барынша тиімді жеткізу үшін құрылымды, қызықты және қолжетімді болуы керек;
- негізгі ұғымдар мен формулаларды меңгеруге, сыни тұрғыдан ойлау мен талдау қабілеттерін дамытуға ықпал ететін жаттығулар мен тапсырмалар жүйесін әзірлеу маңызды. Бұл процесте практикалық, зерттеу және дәлелдеу тапсырмалары басты рөл атқарады. Материалды меңгеруді жақсарту үшін модельдер, сызбалар, диаграммалар, графиктер, кестелер және GeoGebra, Maple, Mathcad сияқты бағдарламалар көмегімен әртүрлі визуализация әдістерін қолдану қажет. Бұл компьютерлік бағдарламалар көмегімен үйренетін ұғымдар мен процестерді елестетуге көмектеседі, тақырыпты толық түсініп және есте қаларлық етеді [6,7,8]. Осылайша, біз "Математикалық талдау II" пәніне бөлінген апталық 1 сағат лекция, 3 сағат практикалық сабақты ұйымдастыруда ақпараттық компьютерлік технологиялардың көмегіне жүгіндік.

Зерттеу нәтижелері

"Математикалық талдау II" пәнінде әрбір тақырыпты түсіндіру барысында лекция сабақтарында анықтамалар, теоремалар сол дәстүрлі түрде тақтаға дәлелдену жолдарымен көрсетілсе, практикалық сабақтарда Maple компьютерлік математикалық жүйесі интеграцияланып отырды. Практикалық сабақта интегралдарды есептеудің дәстүрлі және Maple компьютерлік математикалық жүйенің мүмкіндіктерімен шығарылған есептерге тоқталайық.

1-мысал. $\int \frac{1}{2-3x}dx$ анықталмаған интегралды шешу [9-13].

Берілген интегралды дәстүрлі түрде шешімін тауып, Maple де шешімін табамыз.Алдымен мына есепті дәстүрлі түрде шығарайық.

$$\int \frac{1}{2-3x}dx = \left|\begin{array}{l} 2-3x=t \\ dt=-3dx \\ dx=-\frac{1}{3}dt \end{array}\right| = -\int \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{t}dt = -\int \frac{1}{3t}dt = \; = -\frac{1}{3}\cdot\int \frac{1}{t}dt = -\frac{1}{3}\cdot\ln|t| = -\frac{1}{3}\cdot\ln|2-3x| + C$$

Maple бағдарламасында есептердің шешімін табу қызықты, әрі тез болғандықтан жауапты мына түрде ала аламыз

```
> with(Student[Calculus1]):
> infolevel[Studen[Calculus1]]:=1:
> f:=x->1/(2-3*x);
```

$$f := x \to \frac{1}{2-3x}$$

```
> Int(f(x),x);
```

$$\int \frac{1}{2-3x}\,dx$$

```
> Hint(%);
```

$$[change,\ u = 2-3x,\ u]$$

```
> int(1/(2-3*x),x);
```

$$-\frac{1}{3}\ln(2-3x)$$

```
> Int(f(x),x)=int(f(x),x);
```

$$\int \frac{1}{2-3x}\,dx = -\frac{1}{3}\ln(2-3x)$$

2-мысал. $\int_0^{\pi} x\cdot\sin x dx$ анықталған интегралды есептеу.

$$\int_0^{\pi} x\cdot\sin x dx = \begin{vmatrix} u = x -> du = dx \\ dv = \sin x dx -> v = -\cos x \\ uv - \int v du \end{vmatrix} = x\cdot(-\cos x)\Big|_0^{\pi} - \int_0^{\pi}(-\cos x)dx =$$

$$= x\cdot(-\cos x)\Big|_0^{\pi} + \int_0^{\pi}\cos x dx = x\cdot(-\cos x)\Big|_0^{\pi} + \sin x\Big|_0^{\pi} =$$

$$= (\pi\cdot(-\cos\pi)+\sin\pi) - (0\cdot(-\cos 0)+\sin 0) = \pi$$

Maple бағдарламасында есептердің шешімі

```
> restart;
> with(Student[Calculus1]):
> infolevel[Studen[Calculus1]]:=1:
> f:=x->x*sin(x);
```

$$f := x \to x\sin(x)$$

```
> Int(f(x),x=0..Pi);
```

$$\int_0^{\pi} x\sin(x)\,dx$$

```
> Hint(%);
```

$$[parts,\ x,\ -\cos(x)]$$

```
> Rule[%](%%):simplify(%);
```

$$\int_0^{\pi} x\sin(x)\,dx = \pi + \int_0^{\pi}\cos(x)\,dx$$

```
> int(cos(x),x=0..Pi);
```

$$0$$

```
> Int(f(x),x=0..Pi)=int(f(x),x=0..Pi);
```

$$\int_0^{\pi} x\sin(x)\,dx = \pi$$

Жоғарыда келтірілген мысалдарда есептің шығару жолын көрсетпей, тек жауабын табуды орындадық. Есепті шығару жолымен есептеу үшін функция шегін, туындысын есептегендегідей «**Student[Calculus1]**» кітапханасының бұйрықтарын қолданамыз. Енді анықталмаған интегралды есептеуге мысалдар келтірейік.

3-мысал. $\int \frac{1}{x^5-x^2}dx$ интегралын есептеу барысын амалдардың орындалу жолдарымен көрейік.

Шешуі.

> **restart:**
> **with(Student[Calculus1]):-** пакетті қосу
> **Int(1/(x^5-x^2),x);**

$$\int \frac{1}{x^5-x^2}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[partialfractions]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5-x^2}\,dx = \int -\frac{1}{x^2}+\frac{-x+1}{3\,(x^2+x+1)}+\frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[sum]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5-x^2}\,dx = \int -\frac{1}{x^2}\,dx+\int \frac{-x+1}{3\,(x^2+x+1)}\,dx+\int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[constantmultiple]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5-x^2}\,dx = -\int \frac{1}{x^2}\,dx+\int \frac{-x+1}{3\,(x^2+x+1)}\,dx+\int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[power]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5-x^2}\,dx = \frac{1}{x}+\int \frac{-x+1}{3\,(x^2+x+1)}\,dx+\int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[constantmultiple]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5-x^2}\,dx = \frac{1}{x}+\frac{1}{3}\int \frac{-x+1}{x^2+x+1}\,dx+\int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$\left[rewrite, \frac{-x+1}{x^2+x+1} = -\frac{2\,x+1}{2\,(x^2+x+1)}+\frac{3}{2\,(x^2+x+1)}\right]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} + \frac{1}{3}\int -\frac{2x+1}{2\,(x^2+x+1)} + \frac{3}{2\,(x^2+x+1)}\,dx + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[sum]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} + \frac{1}{3}\int -\frac{2x+1}{2\,(x^2+x+1)}\,dx + \frac{1}{3}\int \frac{3}{2\,(x^2+x+1)}\,dx + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[constantmultiple]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\int \frac{2x+1}{x^2+x+1}\,dx + \frac{1}{3}\int \frac{3}{2\,(x^2+x+1)}\,dx + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[change, u = x^2 + x + 1, u]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\int \frac{1}{u}\,du + \frac{1}{3}\int \frac{3}{2\,(x^2+x+1)}\,dx + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[power]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(u) + \frac{1}{3}\int \frac{3}{2\,(x^2+x+1)}\,dx + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[revert]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2+x+1) + \frac{1}{3}\int \frac{3}{2\,(x^2+x+1)}\,dx + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[constantmultiple]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2+x+1) + \frac{1}{2}\int \frac{1}{x^2+x+1}\,dx + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$\left[change, u = x + \frac{1}{2}, u\right]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2+x+1) + \frac{1}{2}\int \frac{4}{4u^2+3}\,du + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[constantmultiple]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + 2\int \frac{1}{4\,u^2 + 3}\,du + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$\left[change,\ u = \frac{1}{2}\sqrt{3}\,\tan(u1),\ u1\right]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + 2\int \frac{\sqrt{3}}{6}\,du1 + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[constant]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + \frac{\sqrt{3}\,u1}{3} + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[revert]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + \frac{1}{3}\sqrt{3}\,\arctan\left(\frac{2\,u\sqrt{3}}{3}\right) + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[revert]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + \frac{1}{3}\sqrt{3}\,\arctan\left(\frac{\sqrt{3}\,(2\,x+1)}{3}\right) + \int \frac{1}{3\,(x-1)}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[constantmultiple]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + \frac{1}{3}\sqrt{3}\,\arctan\left(\frac{\sqrt{3}\,(2\,x+1)}{3}\right) + \frac{1}{3}\int \frac{1}{x-1}\,dx$$

> **Hint(%);**

$$[change,\ u = x - 1,\ u]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + \frac{1}{3}\sqrt{3}\,\arctan\left(\frac{\sqrt{3}\,(2\,x+1)}{3}\right) + \frac{1}{3}\int \frac{1}{u}\,du$$

> **Hint(%);**

$$[power]$$

> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + \frac{1}{3}\sqrt{3}\,\arctan\left(\frac{\sqrt{3}\,(2\,x+1)}{3}\right) + \frac{1}{3}\ln(u)$$

> **Hint(%);**

$$[revert]$$

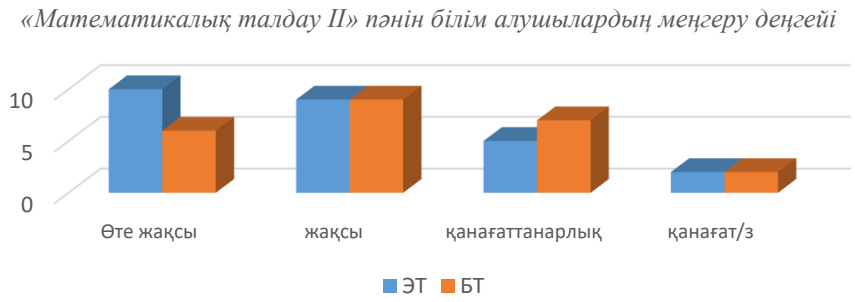
> **Rule[%](%%);**

$$\int \frac{1}{x^5 - x^2}\,dx = \frac{1}{x} - \frac{1}{6}\ln(x^2 + x + 1) + \frac{1}{3}\sqrt{3}\,\arctan\left(\frac{\sqrt{3}\,(2x+1)}{3}\right) + \frac{1}{3}\ln(x-1)$$

Білім алушылардың практикалық дағдыларын жетілдіру мақсатында практикалық дәрістерді ұйымдастыру барысында ақпараттық технологияның мүмкіндіктері арқылы есептердің шығару жолдары Maple пакеттерінің мүмкіндіктерін математикалық талдау есептерін шешуде көрсетілді.

Дисскуссия

Аталған тақырыпты зерттеу жүргізуде эксперимент барысында 6В05449-Математика білім беру бағдарламасының екінші курсында екі топта 50 білім алушы бар. Осы екі топтан эксперименттік топқа - 26, бақылау тобына -24 білім алушыдан бөлінді. «Математикалық талдау II» пәніне практикалық сабаққа 3 сағат бөлінгендіктен, білім алушылар практикалық сабақтың 2 сағатын дәстүрлі түрде шығарса, осы практикалық сабаққа бөлінген сағаттың бір сабағын дәстүрлі жолмен шығарылған есептерді Maple компьютерлік математикалық жүйесінде шығарып шешімін алуға машықтанды. Аталған топтар ішінде эксперименттік топтың білім алушылары үй тапсырмасын аналитикалық жолмен және сол есептерді Maple компьютерлік бағдарламалық жүйесінде орындады. Өзіндік жұмыстар кезінде білім алушылар өздері шығарған есептерін жоба ретінде қорғады. Эксперимент нәтижесі төмендегі 1-суретте көрсетілді.

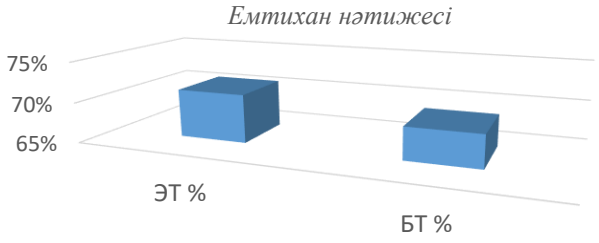


Сурет 1. Эксперимент барысында «Математикалық талдау II» пәнін білім алушылардың меңгеру деңгейі

Өзіндік жұмыс нәтижелерін талдай отырып, мынадай қорытынды жасауға болады:

1. Білім алушылар бағдарлама мәзірін және олардың интерфейсін жақсы меңгерген.
2. Анықталмаған және анықталған интегралдарды тез және дұрыс табу жолдарын үйренді.

Ал осы топтарда емтихан жазбаша түрде қабылданды. Емтихан нәтижесі 2-ші суретте көрсетілді.



Сурет 2.Эксперимент барысында «Математикалық талдау II» пәнін білім алушылардың емтихан нәтижесі

2-ші суреттегі емтихан нәтижесін талдау барысында оқытудың әртүрлі тәсілдеріне қарамастан, эксперимент тобы мен бақылау тобының үлгерімдерінің нәтижелері бірдей болды деп айта аламыз. Бірақ эксперименттік топтағы білім алушылар есептеу тәжірибесін жинап, математикалық бағдарламалық қамтамасыз етудің жолдарын меңгерді.

Қорытынды

Қазіргі уақытта әлемде ғылым мен техника қарқынды дамуда . Біз білім алушыларға жаңа технологиялар мен ғылым салаларын меңгертуге күш жұмсауымыз керек. Қазіргі жастардың компьютерге қызығушылықтары жоғары және білім алушылардың көпшілігі есептердің шығарылуы ұзақ болғандықтан шығаруға қиналады. Сондықтан кейбір есептерді Maple бағдарламасында шығару тез, әрі нақты жауап ала аламыз. Maple қарапайым және күрделі математикалық есептерді орындауға арналған өте тиімді бағдарлама болып табылады. Зерттеу барысында Maple – компьютерлік математиканың қуатты, әрі жан – жақты дамыған бағдарлама екендігіне көз жеткіздік. Maple бағдарламасы математикалық есептердің шешімін тауып, есептердің шешімін графикалық түрде ала аламыз. Қорытындылай келе практикалық жағдайларда Maple бағдарламасы болашақта математикалық есептерді шешуде оңтайланғаны, жастарды қызықтыруға болатынын көрдік. Болашақта Maple бағдарламасын мектеп оқушыларымен қатар мұғалімдер өздеріне көмекші құрал ретінде қолдану арқылы мектепте сабақ уақытында оқушылардың қызығушылықтарын оята алады, әсіресе математика пәнінің жас мамандарына бұл бағдарламаның көрсетер көмегі көп.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Emmanuel K.S., Joshua K.S., Alex O., Leonard K.E. (2021), Effective Application of Maple Software to Reduce Student Teachers' Errors In Integral Calculus. African Journal of Mathematics and Statistics Studies 4(3), 64-78. DOI URL: https://doi.org/10.52589/AJMSS-WRFGFPIH

[2] Barana, A., Fissore, C., Marchisio, M., Pulvirenti, M. (2020c) Teacher Training For The Development Of Computational Thinking And Problem Posing & Solving Skills With Technologies. Proceedings of the 16th eLearning and Software for Education Conference (eLSE 2020), pp. 136-144. https://doi.org/10.12753/2066-026X-20-103

[3] Barana, A., et al.: The role of an advanced computing environment in teaching and learning mathematics through problem posing and solving. In: Proceeding of the 15th International Scientific Conference eLearning and Software Education, vol. 2, pp. 11–18 (2019). https:// doi.org/10.12753/2066-026X-19-070

[4] Matteo Sacchet. 2022. Ten Tips for Successful Creation of Contextualized Problems for Secondary School Students with Maple. Maple Trans. 2, 1, Article 14446 (2022). https://doi.org/10.5206/mt.v2i1.14446

[5] Баймахан Н.М., Ибрагимов Р. Особенности применения пакета Maple в школьном курсе математики. // Вестник ЮКГПУ. –2021. – № 4(26). - С. 89-93. DOI:10.47751/skspu-1937-0020

[6] Калимбетов Б.Т., Кулачова Г.Р. Maple компьютерлік математика жүйесін қолдана отырып сандық тізбектердің шегін оқытуды жетілдіру // Ясауи университетінің хабаршысы. – 2021. – №4 (122). –Б. 57–72. https://doi.org/10.47526/2021-4/2664-0686.06

[7] Ayoub, T.J., Basu, K., Jeffrey, D.J. (2021). Bernoulli's Problem x^y=y^x and Maple. In: Corless, R.M., Gerhard, J., Kotsireas, I.S. (eds) Maple in Mathematics Education and Research. MC 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1414. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81698-8_5

[8] Salleh, Tuan Salwani Awang @; Zakaria, Effandi . (2013). Enhancing Students' Understanding in Integral Calculus through the Integration of Maple in Learning. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 102(), 204–211. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.734

[9] Marshall, N., Buteau, C., Jarvis, D. H., & Lavicza, Z.. Do mathematicians integrate computer algebra systems in university teaching? Comparing a literature review to an international survey study. Computer & Education, 58, 423–434. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.compedu.2011.08.020

[10] Kovács, Z., Recio, T., & Vélez, M. P. (2020). Merging Maple and GeoGebra Automated Reasoning Tools. Springer, Cham, 252-267.DOI:10.1007/978-3-030-81698-8_17

[11] Кузнецова О.С., Кирсанов М.Н. Математический анализ. Сборник задач и решений с применением системы Maple: учебное пособие. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 375 с. DOI:10.12737/1160964

[12] Дьяконов, В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры. – М.: ДМК-Пресс, 2016. – 1268 с

[13] Кыдырбаева А.Б, Муканова Ж.Г., Акишев Т.Б. Использование систем компьютерной математики в курсе средней школы // ВЕСТНИК КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки» – 2022. – №1 (77). –С. 188–192. https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.26

References

[1] Emmanuel K.S., Joshua K.S., Alex O., Leonard K.E. (2021), Effective Application of Maple Software to Reduce Student Teachers' Errors In Integral Calculus. African Journal of Mathematics and Statistics Studies 4(3), 64-78. DOI URL: https://doi.org/10.52589/AJMSS-WRFGFPIH

[2] Barana, A., Fissore, C., Marchisio, M., Pulvirenti, M. (2020c) Teacher Training For The Development Of Computational Thinking And Problem Posing & Solving Skills With Technologies. Proceedings of the 16th eLearning and Software for Education Conference (eLSE 2020), pp. 136-144. https://doi.org/10.12753/2066-026X-20-103

[3] Barana, A., et al.: The role of an advanced computing environment in teaching and learning mathematics through problem posing and solving. In: Proceeding of the 15th International Scientific Conference eLearning and Software Education, vol. 2, pp. 11–18 (2019). https:// doi.org/10.12753/2066-026X-19-070

[4] Matteo Sacchet. 2022. Ten Tips for Successful Creation of Contextualized Problems for Secondary School Students with Maple. Maple Trans. 2, 1, Article 14446 (2022). https://doi.org/10.5206/mt.v2i1.14446

[5] Baimakhan N.M., Ibragimov R. (2021) Osobennosti primeneniia paketa Maple v shkol'nom kurse matematiki [Features of using the Maple package in the school mathematics course]. Vestnik IuKGPU, № 4(26), 89–93. (In Russian). DOI:10.47751/skspu-1937-0020

[6] Kalimbetov B.T., Kulachova G.R. (2021) Maple komp'iuterlik matematika zhuiesin qoldana otyryp sandyq tizbekterdin shegin oqytudy zhetildiru [Improving the teaching of the limit of numerical sequences using the Maple computer mathematics system]. Iasaui universitetinin habarshysy, №4 (122), 57–72. (In Kazakh). https://doi.org/10.47526/2021-4/2664-0686.06

[7] Ayoub, T.J., Basu, K., Jeffrey, D.J. (2021). Bernoulli's Problem x^y=y^x and Maple. In: Corless, R.M., Gerhard, J., Kotsireas, I.S. (eds) Maple in Mathematics Education and Research. MC 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1414. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81698-8_5

[8] Salleh, Tuan Salwani Awang @; Zakaria, Effandi . (2013). Enhancing Students' Understanding in Integral Calculus through the Integration of Maple in Learning. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 102(), 204–211. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.734

[9] Marshall, N., Buteau, C., Jarvis, D. H., & Lavicza, Z.. Do mathematicians integrate computer algebra systems in university teaching? Comparing a literature review to an international survey study. Computer & Education, 58, 423–434. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.compedu.2011.08.020

[10] Kovács, Z., Recio, T., & Vélez, M. P. (2020). Merging Maple and GeoGebra Automated Reasoning Tools. Springer, Cham, 252-267.DOI:10.1007/978-3-030-81698-8_17

[11] Kuznetsova O.S., Kirsanov M.N. (2021) Matematicheskii analiz. Sbornik zadach i reshenii s primeneniem sistemy Maple: uchebnoe posobie [Mathematical analysis. Collection of problems and solutions using the Maple system: textbook]. Moskva: INFRA-M, 375 p. (In Russian). DOI:10.12737/1160964

[12] D'iakonov, V.P. (2016) Entsiklopediia komp'iuternoi algebry [Encyclopedia of computer algebra]. M.: DMK-Press, 1268 p. (In Russian).

[13] Kydyrbaeva A.B., Mukanova Zh.G., Akishev T.B. (2022) Ispol'zovanie sistem komp'iuternoi matematiki v kurse srednei shkoly [The use of computer mathematics systems in the secondary school course]. Vestnik KazNPU im. Abaia, seriia «Fiziko-matematicheskie nauki», №1 (77), 188–192. (In Russian). https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.26

МРНТИ 14.25.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.012

И.Б. Шмигирилова[1*], А.А. Костина[2]

[1]Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан
[2]Областная специализированная школа-лицей-интернат ЛОРД, г. Петропавловск, Казахстан
**e-mail: irinankzu@mail.ru*

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ К ОБУЧЕНИЮ ШКОЛЬНИКОВ МАТЕМАТИКЕ

Аннотация

В обучении математике многие школьники испытывают значительные трудности. Поиск путей решения данной проблемы актуализировал обращение к теории когнитивной нагрузки, относящейся к области педагогической психологии и учебного дизайна. Целью данного исследования является теоретическое обоснование, разработка и апробация методов, ориентированных на снижение когнитивной нагрузки школьников при обучении математике. Реализация обозначенной цели осуществлялась на основе анализа научной литературы, синтеза полученной информации, изучения и обобщения педагогического опыта, педагогического эксперимента, результаты которого обрабатывались с использованием *U*-критерия Манна-Уитни. В исследовании выявлены особенности того, как эффекты когнитивной нагрузки могут быть учтены в методах и приемах обучения школьников математике. Разработан метод отработанной геометрической конструкции, который наряду с другими методами и приемами, нацеленными на снижение когнитивной нагрузки обучающихся, был апробирован при обучении школьников геометрии в 8 классе. Результаты педагогического эксперимента свидетельствуют о позитивном влиянии внедрения идей теории когнитивной нагрузки на образовательные результаты учащихся. В заключении на основе выполненного исследования предложены методические рекомендации.

Ключевые слова: теория когнитивной нагрузки, эффекты когнитивной нагрузки, математическое образование, обучение математике, метод отработанной геометрической конструкции.

И.Б. Шмигирилова[1], А.А. Костина[2]
[1]М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., Қазақстан
[2]ЛОРД мамандандырылған облыстық мектеп-лицей-интернаты, Петропавл қ., Қазақстан

МЕКТЕП ОҚУШЫЛАРЫНА МАТЕМАТИКА ПӘНІН ОҚЫТУ ҮШІН ТАНЫМДЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕР ТЕОРИЯСЫН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Көптеген мектеп оқушылары математиканы оқуда айтарлықтай қиындықтарға тап болады. Бұл мәселені шешу жолдарын іздестіру білім беру психологиясы және білім беру дизайны саласына жататын танымдық жүктеме теориясына жүгінуді өзекті етті. Бұл зерттеудің мақсаты – мектеп оқушыларының математиканы оқу кезіндегі танымдық жүктемесін азайтуға бағытталған әдістерді теориялық негіздеу, әзірлеу және сынау. Қойылған мақсатты жүзеге асыру ғылыми әдебиеттерді талдау, алынған ақпаратты синтездеу, педагогикалық тәжірибені зерделеу және жалпылау, педагогикалық тәжірибе негізінде жүзеге асырылды, оның нәтижелері Манн-Уитнидің *U*-критериі арқылы өңделді. Зерттеу барысында мектеп оқушыларына математиканы оқытудың әдіс-тәсілдерінде танымдық жүктеменің әсерін қалай есепке алуға болатынының ерекшеліктері анықталды. Дәлелденген геометриялық конструкция әдісі әзірленді, ол оқушылардың танымдық жүктемесін азайтуға бағытталған басқа әдістер мен тәсілдермен қолданумен қатар 8-сынып оқушыларында геометрияны оқытуда сынақтан өтті. Педагогикалық эксперименттің нәтижелері танымдық жүктеме теориясының идеяларын енгізудің студенттердің оқу нәтижелеріне оң әсерін көрсетеді. Қорытындылай келе, аяқталған зерттеулер негізінде әдістемелік нұсқаулар ұсынылады.

Түйін сөздер: когнитивтік жүктеме теориясы, когнитивтік жүктеме әсерлері, математикалық білім, математиканы оқыту, дәлелденген геометриялық дизайн әдісі.

I. Shmigirilova[1], A. Kostina[2]
[1]M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan
[2]Regional Specialized Boarding School-Lyceum LORD, Petropavlovsk, Kazakhstan

APPLICATION OF COGNITIVE LOAD THEORY TO TEACHING SCHOOLCHILDREN MATHEMATICS

Abstract

Many schoolchildren experience significant difficulties in teaching mathematics. The search for ways to solve this problem has actualized the appeal to the theory of cognitive load, which relates to the field of educational psychology and educational design. The purpose of this study is the theoretical substantiation, development and testing of methods aimed at reducing the cognitive load of schoolchildren when teaching mathematics. The implementation of the designated goal was carried out on the basis of the analysis of scientific literature, synthesis of the information obtained, study and generalization of pedagogical experience, a pedagogical experiment, the results of which were processed using the Mann-Whitney *U*-criterion. The study revealed the features of how the effects of cognitive load can be taken into account in the methods and techniques of teaching mathematics to schoolchildren. A method of proven geometric construction has been developed, which, along with other methods and techniques aimed at reducing the cognitive load of students, was tested when teaching geometry to schoolchildren in the 8th grade. The results of the pedagogical experiment indicate a positive impact of the introduction of ideas of the theory of cognitive load on the educational results of students. In conclusion, based on the completed study, methodological recommendations are proposed.

Keywords: cognitive load theory, effects of cognitive load, mathematical education, teaching mathematics, method of proven geometric construction.

Введение

Повышение качества обучения школьников математике является актуальной проблемой, одним из путей решения которой может быть использование эффектов, исследованных и описанных в теории когнитивной нагрузки.

В соответствии с данной теорией учитель должен позаботиться о том, чтобы форма представления учебного содержания, а также приемы и методы организации деятельности учащихся разумно регулировали релевантную когнитивную нагрузку и не создавали дополнительной внешней нагрузки, а, напротив, уменьшали ее. Главная идея исследования в этой связи состоит в том, чтобы представить опыт обучения школьников математике с учетом эффектов когнитивной нагрузки.

Не смотря на возможность применения идей теории когнитивной нагрузки в любом предметном контексте, характеристики математического содержания определяют особенности их применения в учебном процессе. В частности, при обучении геометрии эффект отработанного примера может быть реализован через разработанный и апробированный авторами метод отработанной геометрической конструкции.

Исследование доказывает, что учет эффектов когнитивной нагрузки при разработке методов и дидактических материалов в обучении школьников геометрии положительно влияет на образовательные результаты.

Процесс обучения связан с переработкой информации с целью превращения ее в знания, которые необходимо сохранять на определенный период времени и использовать в дальнейшей деятельности. Как известно, такая переработка осуществляется рабочей памятью человека. Согласно теории когнитивной нагрузки (Cognitive Load Theory – CLT) [1, 2 и др.], обучение может быть успешным, если предметные знания будут перемещаться из рабочей памяти в долговременную в форме схем, удобных для долговременного хранения. При этом возможности рабочей памяти для создания таких схем у подавляющего большинства людей ограничены. Так, например, ученые, занимающиеся проблемой когнитивной нагрузки, считают, что одновременно рабочая память может взаимодействовать не более чем с пятью-семью фрагментами информации. В этой связи перегрузка рабочей памяти – одна из основных причин неудач в процессе обучения.

Все сказанное выше в полной мере относится к освоению математических знаний, основа которых закладывается в период школьного обучения. Не секрет, что все больше школьников испытывают трудности в освоении математики. Во-первых, потому, что содержание школьного курса само по себе обладает значительной объективной сложностью в силу высокой абстрактности, строгости изложения и многообразия внутрипредметных связей: изучение любой темы невозможно без опоры на ранее пройденное и если предыдущий материал не был усвоен, то затруднения учащихся при освоении предметного материала резко возрастают. Во-вторых, дополнительная трудность обусловлена и интенсивностью процесса обучения, что не позволяет учителю выделить больше времени на изучение того или иного раздела, чтобы не перегружать рабочую память учащихся. Наибольшие проблемы школьники испытывают в освоении геометрического материала. В этой связи поиск путей снижения когнитивной нагрузки в обучении школьников геометрии является актуальной проблемой.

Цель данного исследования – теоретическое обоснование, разработка и апробация методов, ориентированных на снижение когнитивной нагрузки школьников при обучении математике.

Методология исследования

Теоретической основой исследования выступили работы J. Sweller и его соавторов, описывающие основные идеи теории снижения когнитивной нагрузки. Первый этап исследования состоял в том, что на основе анализа была осуществлена критическая оценка опубликованных ранее научных трудов, отражающих положения теории когнитивной нагрузки и описывающих эффекты, которые важно учитывать в обучении, чтобы обеспечить снижение нагрузки на рабочую память учащегося. Синтез информации об эффектах когнитивной нагрузки, а также изучение педагогического опыта позволили разработать методы и приемы обучения школьников геометрии в контексте рассматриваемой теории.

Эмпирическое исследование проводилось в школе-лицее-интернате ЛОРД г. Петропавловска. В ходе педагогического эксперимента исследовалось влияние внедрения в обучение геометрии совокупности методов снижения когнитивной нагрузки. Особое внимание уделялось методу отработанной конструкции. В эксперименте принимали участие учащиеся двух 8-х классов, которые составили контрольную и экспериментальные группы. Замеры проводились дважды: в начале курса 8 класса (контрольная работа по содержанию геометрии 7 класса) и после третьей четверти обучения в 8 классе (по геометрическому содержанию, изученному в восьмом классе).

Контрольная группа обучалась в обычном режиме без целенаправленного учета эффектов когнитивной нагрузки. В экспериментальной группе в течение полугода обучение проектировалось и осуществлялось на основе методов и дидактических материалов, учитывающих эффекты когнитивной нагрузки. Примеры реализации отдельных методов снижения когнитивной нагрузки, которые были использованы в ходе эксперимента, приведены ниже.

Для статистической обработки данных был использован *U*-критерий Манна-Уитни. В обоих замерах проверялись следующие гипотезы: H_0: уровень владения геометрическим материалом в экспериментальной группе не превышает уровня владения геометрическим материалом в контрольной группе; H_1: уровень владения геометрическим материалом в экспериментальной группе превышает уровень владения геометрическим материалом в контрольной группе.

Результаты исследования

Анализ основных положений и идей теории когнитивной нагрузки. Теория когнитивной нагрузки – одна из самых популярных теорий, относящихся к области педагогической психологии и учебного дизайна. Ее корни можно проследить, начиная с 80-х годов прошлого века. Теория строится на понимании того, что в отличие от биологически первичных знаний, приобретаемых в обычных обстоятельствах, биологически вторичные знания формируются в

обучении, построенном на сознательной обработке информации с помощью рабочей памяти [1–3]. Рабочая память, получая информацию через слуховой и вербальный каналы, организует и интерпретирует информацию в формате когнитивных схем, которые хранятся в долговременной памяти уже как знания готовые к использованию. Построить когнитивную схему – это значит связать различные фрагменты информации, которые можно будет использовать как единое целое. Оптимальность уровня когнитивной нагрузки, с которой сталкивается рабочая память, определяет успешность обучения.

Таким образом, основной категорией рассматриваемой теории является когнитивная нагрузка – многомерная характеристика, связанная с затратами рабочей памяти необходимыми для решения определенной когнитивной задачи в конкретных условиях. Когнитивная нагрузка суммирует: внутреннюю нагрузку, которая определяется сложностью обработки самой информации, вне зависимости от того, как она предъявляется обучаемому; внешнюю нагрузку, связанную с формой или способом предъявления информации и с тем, что должен делать учащийся с этой информацией в соответствии с выбранным методом обучения; релевантную нагрузку, возникающую при перераспределении ресурсов рабочей памяти от внешних к внутренним аспектам когнитивной задачи. Исходя из этого, G. Orru и L. Longo [4], обобщая ранее проведенные исследования, в качестве факторов, влияющих на когнитивную нагрузку обучающегося, выделяют: особенности задачи, такие как структура, новизна; характеристики учащихся (когнитивные способности (общие и предметные), стиль мышления, обученность); характеристики окружающей среды. Авторы также указывают, что имеет значение и взаимодействие между когнитивной задачей, средой и характеристиками обучающихся.

Одна из основных идей, на которых строится теория когнитивной нагрузки, связана с понятием интерактивности элементов информации, которое означает, степень их взаимодействия друг с другом. Интерактивность будет низкой, если элемент информации может быть изучен без обращения к другим элементам. И, напротив, интерактивность высокая, если для понимания и освоения информации, необходимо разные элементы обрабатывать одновременно. Используя эту идею, легко объяснить, почему освоение математического содержания связано с повышенной когнитивной нагрузкой. J. Sweller с соавторами [3] и O. Chen с соавторами [5] отмечают, что интерактивность может быть изменена либо при изменении уровня знаний обучающихся, либо при особой организации обучения и представлении учебного материала в формате, понижающем интерактивность информации.

В соответствии с теорией когнитивной нагрузки были экспериментально исследованы и описаны эффекты, учитывая которые учитель может снизить когнитивную нагрузку на рабочую память учащегося и, следовательно, повысить эффективность обучения [6–8 и др.]. Характеристики эффектов, наиболее приемлемых в обучении математике будут даны ниже. Здесь же целесообразно отметить несколько выводов, которые можно сделать относительно эффектов после анализа научно-методической литературы.

Во-первых, авторы придерживаются разделения на: простые эффекты, которые непосредственно проявляются как возрастание или снижение когнитивной нагрузки при наличии определенных условий в процессе обучения, и сложные эффекты, которые влияют на проявление простых эффектов. Во-вторых, большинство эффектов указывают на возможность влияния на внешнюю когнитивную нагрузку. В-третьих, изыскания в отношении эффектов когнитивной нагрузки продолжаются, например, большинство сложных эффектов были обнаружены, исследованы и описаны уже в двадцать первом веке. Как считает J. Sweller и его соавторы [3], этот факт свидетельствует в пользу того, что теория когнитивной нагрузки не теряет свою актуальность. И наконец, эффекты имеют прямые практические приложения в обучении, поскольку дают понимание того как можно управлять когнитивной нагрузкой обучающегося в зависимости от его статуса: «новичок» (тот, кто впервые знакомится с новой порцией информации) или «эксперт» (кто уже приобрел знания по рассматриваемому вопросу

и опыт их использлования на практике). В этой связи знание об эффектах когнитивной нагрузки может быть использовано практикующими педагогами.

Положения, отраженные в теории когнитивной нагрузки, нашли свое применение во множестве практикориентированных исследований. Так, например, A. J. Martin и P. Evans [9] представили и апробировали технологию, которая не просто помогает учителю управлять когнитивной нагрузкой обучающихся, а, прежде всего, нацелена на постепенное формирование у самих учащихся способности к снижению собственной когнитивной нагрузки. Эта технология опирается на пять основных принципов: 1) снижение сложности обучения на первых этапах освоения учебного содержания; 2) использование инструкций и скаффолдинга; 3) обширная структурированная практика; 4) надлежащее предоставление обратной связи по обучению; 5) самостоятельное применение знаний.

Идеи теории когнитивной нагрузки также учитывались при создании когнитивно-конструктивистской теории мультимедийного обучения [10], в технологии учебного дизайна [11], которая фокусируется на разработке курсов и учебных программ, в частности с учетом сложных эффектов. Имеется также множество работ, которые отражают исследования как более общих, так и частных вопросов образовательной практики через ракурс теории когнитивной нагрузки [12–14].

Стоит отметить, что в последнее время появились работы, в которых теория когнитивной нагрузки подвергается критике [15, 16 и др.]. Авторы, проводя исследования в области нейронауки и образования, подчас в достаточно жесткой форме, заявляют об ошибочности теории когнитивной нагрузки. Не ставя целью подробно останавливаться на этом вопросе, требующем специального изучения и обсуждения, считаем нужным сделать некоторые замечания. Нельзя не согласиться с M. Kim и его соавторами [16], что в обучающемся мозге происходит гораздо больше, чем это представлено в теории когнитивной нагрузки, а также с их утверждениями со ссылкой на работу нейробиолога S. Dehaene [17], о четырех столпах обучения (внимание, активное участие, обратная связь по ошибкам и сотрудничество), которые должны быть в основе практики каждого учителя. Однако в этой связи стоит отметить, что сама нейронаука еще очень далека от того, чтобы иметь полное представление о том, как работает человеческий мозг в многообразных ситуациях познания, и тем более, чтобы давать не общие советы в отношении организации обучения, а точно и однозначно описать, как обеспечить внимание и активное участие каждого обучающегося. А поскольку внимания и активного участия в освоении информации в большей мере стоит ожидать от человека, который не подвергся когнитивной перегрузке, то продуманное использование методов обучения, опирающихся на эффекты когнитивной нагрузки, может помочь учителю в достижении этих целей.

Критические высказывания P. Ellerton [15] связаны с неприятием того, что в теории когнитивной нагрузки навыки мышления рассматриваются как возникающее свойство развития знаний. Автор отвергает это положение, утверждая, что навыкам критического мышления можно научить непосредственно. При этом внимательное прочтение работы P. Ellerton позволяет понять, что автор не столько критикуют саму идею когнитивной нагрузки, сколько возмущается фактом того, что в данной теории в значительной степени игнорируются методы обучения, ориентированные на решение проблем и проведение исследований. Истина, скорее всего, как всегда, посередине: невозможно сформировать критическое мышление, если не использовать активные методы обучения, заставляющие использовать соответствующие мыслительные навыки, но также нельзя говорить о высоком качестве критического мышления, если оно не подкреплено надлежащими знаниями. Всем известно высказывание К.Ф. Ушинского: «пустая голова не мыслит», которое не потеряло актуальности и сейчас. В свою очередь развитие знаний, их глубины, гибкости, системности, безусловно, будет положительно сказываться на развитии интеллектуальных качеств, в том числе и навыков критического мышления.

Таким образом, в связи с вышесказанным стоит говорить не об ошибочности теории когнитивной нагрузки, а об ее некоторой ограниченности. В том числе и для преодоления этой ограниченности теория продолжает развиваться. В частности, обнаруживаются и исследуются новые эффекты когнитивной нагрузки, влияние которых, с одной стороны, объясняет, почему проявление других эффектов может быть как положительным, так и отрицательным, с другой стороны, новые эффекты явно указывают на то, что на когнитивную нагрузку влияют не только методы обучения, но и внешняя среда, и интеллектуальные качества обучающихся, которые определяя особенности процесса усвоения информации, оказывают влияние на когнитивную нагрузку.

Эффекты когнитивной нагрузки и их реализация в обучении школьников математике. В данном разделе приведем описание эффектов, которые, как показывает практика, наиболее приемлемы в обучении математике. Здесь же представим соответствующие этим эффектам приемы, наиболее подходящие для обучения математике. В таблице 1 приведено описание простых эффектов когнитивной нагрузки.

Таблица 1. Простые эффекты когнитивной нагрузки

Тип эффекта	*Название эффекта*	*Описание эффекта*
Простой	*Эффект отсутствия цели*	*Является отрицательным эффектом и заключается в том, что отсутствие явной цели при решении предметной или познавательной задачи увеличивает когнитивную нагрузку.*
	Эффект отработанного примера	*В учебном процессе подразумевает тщательный разбор решения нового для учащихся типа задачи во время или сразу после объяснения темы учителем.*
	Эффект незавершенного решения	*Поскольку полностью решенные задачи не побуждают учащихся их разбирать, а, следовательно, и усваивать знания, то полезно предлагать частично решенные задачи. Чтобы продолжить решение, школьник будет вынужден тщательно изучить и понять начало решения.*
	Эффект разделения внимания	*Необходимость обращаться к нескольким источникам информации, дополняющим друг друга, повышает когнитивную нагрузку при ее усвоении. В этой связи полезно сводить информацию в один источник: конспект или карточку-памятку.*
	Эффект избыточности	*Возникает, если учащийся обращается к разным источникам информации, каждый из которых сам по себе достаточен, чтобы изучить определенную порцию информации.*
	Эффект модальности	*Основывается на утверждении, что для обработки информации, представленной в разных форматах (например, в вербальной и визуальной), рабочая память реализует независимые процессы, то есть ее эффективная емкость возрастает.*
	Эффект вариативности	*В исследованиях доказано, что вариативность задачи оказывает положительный эффект на обучение, когда когнитивная нагрузка, предшествующая вариативности, была низкой. И напротив, если предшествующая нагрузка была высокой, то вариативность задачи оказывает негативное влияние на обучение.*

Очевидно, каждый из простых эффектов может быть реализован в процессе обучения через соответствующий методический прием. Более того, анализируя описанные эффекты и соотнося их с обучением школьников математике, можно отметить, что многие учителя, даже не знакомые с теорией когнитивной нагрузки, исходя только из собственного профессионального опыта, включают в практику работы методы и приемы, соотносимые с тем или иным эффектом: прием отработанного примера, прием незавершенного решения, метод

вариативных задач, метод визуализации, как воплощения эффекта модальности и т.п. Однако, как свидетельствует наше исследование, целесообразно, проектируя и реализуя учебный процесс, ориентироваться не на отдельные простые эффекты, а на их совокупность, а также сочетать их со сложными эффектами, представленными в таблице 2.

Таблица 2. Сложные эффекты когнитивной нагрузки

Тип эффекта	*Название эффекта*	*Описание эффекта*
Сложный	*Эффект отмены экспертных знаний*	*Состоит в том, что по мере повышения уровня знаний, отдельные элементы информации сохраняются в долговременной памяти и потом используются как единое целое. Поэтому обучающие процедуры, пригодные для учащихся с низким уровнем знаний при повышении экспертности дают отрицательный эффект.*
	Эффект затухания руководства	*С повышением уровня знаний чрезмерная помощь учителя становится избыточной, что отрицательно влияет на когнитивную нагрузку.*
	Эффект самоуправления	*Обосновывает утверждение о том, что обучающихся можно научить самостоятельно регулировать свою когнитивную нагрузку.*
	Эффект самообъяснения	*Опирается на понимание того, что если обучающийся не только выслушает объяснение учителя, например, при решении нового типа задач, а еще и самостоятельно разберется в чем состоит каждый шаг решения, то в отношении этого типа задач когнитивная нагрузка снизится.*
	Эффект изолированных элементов	*При усвоении сложной информации, состоящей из множества элементов, снизить когнитивную нагрузку можно, если вначале каждый элемент освоить отдельно. Например, так полезно поступать, при отработке сложных алгоритмов решения задач.*
	Эффект коллективной рабочей памяти	*Иначе называется эффектом взаимодействия и указывает на то, что для решения познавательных или предметных задач, требующих высокой когнитивной нагрузки, эффективным приемом является совместное, групповое обучение, в котором сотрудничество обучающихся способствует снижению когнитивной нагрузки на каждого их них.*

В литературе исследованы и описаны и другие сложные эффекты, которые напрямую не связаны с интеллектуальными ресурсами обучающегося, но могут иметь значение в процессе обучения. К таким эффектам, например, можно отнести: *эффект движения* (двигательная активность во время обучения влияет на когнитивную нагрузку); *эффект воображения* (возникает, если учащийся может мысленно представить освоенную информацию).

Приведем примеры того, как можно обеспечить действие представленных в таблицах эффектов в обучении школьников математике. Такие эффекты, как *эффект разделения внимания*, *эффект избыточности*, *эффект модальности* относится не столько к самому содержанию материала, а скорее к форме его представления. Каждый из этих эффектов, требует, чтобы учитель внимательно относился к тем дидактическим материалам, которые используются на уроке. Ведь даже отдельные элементы информации, представленные в одном параграфе учебника, но на разных его страницах могут быть не соотнесены учащимися друг с другом. Поэтому целесообразно в учебном процессе использовать дидактические материалы, опирающиеся на когнитивную визуализацию. Полезно и у самих школьников формировать умения структурировать информацию, представлять ее не только в вербальном, но и в

визуальном формате. Например, чтобы школьники освоили решение задач на сложные проценты, можно предложить им соотнести текст задачи и схему (рис. 1).

Задача 1. Каждые четыре месяца стоимость набора красок растет на 20%. Выясните, какой будет его стоимость через год, если первоначальная цена составляет 500 тг.

Рисунок 1. Схема для решения задачи

Подробно разбирая решение задачи с использованием схемы, обращая внимание учащихся на особенности выражений, которые отражают результат повышения цены, учитель не только формирует умения решать задачи данного типа, но и, выполнив обобщение, может помочь школьникам получить общую формулу сложных процентов. Опыт создания и использования структурированных и наглядных материалов, способствующих углубленному пониманию учебного содержания, доказывает полезность и целесообразность такого приема [18]. Поскольку решение геометрических задач гораздо менее алгоритмизировано, то эффект модальности может быть проявлен через использование обобщающих схем и таблиц, содержащих справочную информацию по теме или разделу.

Учителя в своей практике, объяснив теорию по новой теме, часто подробно со всем классом разбирают основные типы задач, решение которых опирается на эту теорию, то есть, по сути, используют эффект отработанного примера. Данная практика может не привести к качественным результатам в отношении всех учащихся класса, поскольку будет существенно значим эффект отмены экспертных знаний: школьникам, проявляющим способности в математике, подробный разбор задачи может быть лишним, поскольку уже в процессе объяснения материала учителем у них уже произошла когнитивная обработка информации и сложилась определенная репрезентативная схема, требуемая для решения данного типа заданий; учащимся, которые испытывают значительные затруднения при освоении математики, напротив, разбора решения одной задачи, даже очень подробного, не достаточно, чтобы понять все нюансы. Нацеленность на более качественное усвоение учебного содержания требует обязательного внимания к эффекту отмены экспертных знаний, в соответствии с которым невозможно обойтись без дифференцированного подхода. Опишем, как можно реализовать разбор конкретного типа задачи, ориентируясь на этот эффект и учитывая совокупность других эффектов.

Работа с учащимися, испытывающими затруднения при освоении математики:

– подробный разбор решения задачи (*эффект отработанного примера*);

– изучение готового решения подобной задачи учащимися с самостоятельным объяснением каждого шага (*эффект самообъяснения*) с последующим вызовом одного из школьников к доске, чтобы он озвучил свое объяснение;

– завершение решения подобной задачи, начало которого выполнил учитель (*эффект незавершенного решения*);

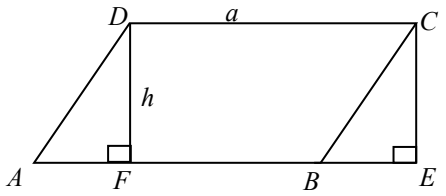
– обращение к задаче того же типа, но более сложной (*эффект вариативности*), при этом, учитывая готовность школьников, учитель должен продумать, какой из вариантов

работы с данной задачей наиболее приемлем (подробный разбор решения или прием самообъяснения, или прием незавершенного решения).

Работа с учащимися, имеющими средние способности в математике, может быть организована подобным образом. При этом отдельные этапы работы могут быть исключены. Например, если решение рассматриваемого типа задачи явно соотносится с предварительно изученной теорией, то можно подробный разбор решения задачи учителем упустить и сразу перейти к этапу самообъяснения готового решения. Либо, что наиболее целесообразно, совместить самообъяснение с приемом незавершенного решения. Полезно также, учитывая *эффект коллективной рабочей памяти*, обращаться к парным и групповым методам работы учащихся.

Работая с учащимися, способными к математике, следует совсем отказаться от подробного разбора решения, самообъяснение и незавершенное решение использовать в отношении сложных типов задач. Полезно сразу предлагать учащимся совокупность задач с учетом *эффекта вариативности*. Также учителю математики в случае, если нужно сформировать у школьников умения решать задачи с использованием алгоритма или алгоритмического предписания, состоящего из нескольких шагов, не стоит забывать об *эффекте изолированных элементов*. Прежде чем знакомить обучающихся с таким алгоритмом, важно добиться того, чтобы они могли реализовывать каждый его этап.

Приведем примеры того, как могут быть реализованы отдельные методы снижения когнитивной нагрузки в обучении геометрии. Иллюстрацией одного из возможных способов реализации метода *самообъяснения* может служить рисунок 2. Учащимся предлагается готовое доказательство формулы площади параллелограмма, основанное на ранее изученном материале, и дается задание дополнить каждый пункт доказательства обоснованиями.



Доказательство	
Утверждение	Обоснование
$\Delta ADF=\Delta BCE$	
$S_{ABCD}=S_{FDCE}$	
$S_{ABCD}=a\cdot h$	

Рисунок 2. Задание для реализации метода самообъяснения

Подобный прием можно использовать и при решении задач на уроках или в домашней работе, если учитель считает, что обучающиеся полностью самостоятельно не смогут справиться с поиском решения. Обосновывая каждый шаг решения, школьники просто вынуждены будут детально разобраться в нем. Если же после самостоятельного разбора решения обучающимся предложить решить подобную задачу, то по сути будет реализован эффект отработанного примера.

Метод вариативности задач может быть реализован несколькими способами. Первый способ используется либо для закрепления у учащихся умений решать задачу определенного типа или содержания, либо при подготовке аналогичных вариантов заданий одного уровня. Он заключается в том, что в задаче варьируются только числовые данные. Еще один способ реализации метода вариативности задач, который часто применялся в рамках педагогического эксперимента, заключался в том, что варьируется содержание задачи,таким образом, чтобы идея решения не менялась. При этом числовые данные могут либо совсем не изменяться, либо меняться незначительно. Метод реализуется следующим образом. Школьникам предлагается целая серия вариативных задач. Первой задачей является самая простая. После того, как данная задача будет решена и понята всеми учащимися, наа чертежах рассматриваются идеи решения других задач, которые по сути решаются аналогично первой. Запись решения, которая как правило уже не будет вызывать затруднений, может школьниками быть осуществлена самостоятельно в классе или дома. Таким образом, во-первых, за вполне

небольшой промежуток времени может быть решено достаточно много задач и, во-вторых, что самое важное, школьники осознают, что разнообразие формулировок не всегда означает новую идею решения и, следовательно, учатся искать решение не по поверхностным признакам условия задачи, а по существу ее содержания с опорой на чертеж. В данном способе метода вариативных задач также просматривается реализация эффекта отработанного примера. Приведем пример такой серии задач по теме «Теорема Пифагора».

Задача 1. Найдите катеты прямоугольного треугольника, если они относятся как 8 : 15, а гипотенуза равна 51.

Задача 2. Отношение сторон прямоугольника равно 8 : 15, а его диагональ равна 51. Найдите стороны прямоугольника.

Задача 3. Найдите диагонали ромба, если они относятся как 8 : 15, а его сторона равна 51.

Задача 4. Отношение сторон прямоугольника равно 8 : 15, а его диагональ равна 51. Найдите периметр прямоугольника.

Задача 5. Найдите диагонали ромба, если они относятся как 8 : 15, а его сторона периметр равен 204.

Задача 6. Периметр прямоугольного треугольника равен 120, а его катеты относятся как 8 : 15. Найдите катеты.

После изучения темы о вписанных треугольниках и четырехугольниках серия может быть дополнена новыми задачами, при решении которых нужно напомнить учащимся идею решения первой задачи. Примеры задач, дополняющих серию приведены ниже.

Задача 7. Отношение сторон прямоугольника равно 8 : 15, а радиус описанной около него окружности равен 25, 5.

Задача 8. Найдите катеты прямоугольного треугольника, если они относятся как 8 : 15, а медиана приведенная к гипотенузе равна 25,5.

Третий вариант осуществления метода вариативности задач может быть связан с использованием систем обращенных задач [19]. При этом, учитель должен помнить, что в задачной системе, полученной на основе приема обращения, могут быть задачи, решение которых будет достаточно сложным, а отдельные задачи вообще могут не иметь решения. Поэтому такие системы не целесообразно использовать при работе со школьниками с низким уровнем владения предметными знаниями. Кроме того, работа с такими системами отнимает много времени.

Таким образом, приведенные примеры свидетельствуют о том, что в обучении школьников математике необходимо одновременно учитывать совокупность эффектов когнитивной нагрузки. Педагог должен позаботиться, чтобы форма представления учебного содержания, а также приемы и методы организации деятельности учащихся разумно регулировали релевантную когнитивную нагрузку и не создавали дополнительной внешней нагрузки, а, напротив, уменьшали ее.

Метод отработанной геометрической конструкции в контексте теории когнитивной нагрузки. Способы учета эффектов когнитивной нагрузки, приведенные выше, могут быть аналогично применены при обучении любой школьной дисциплине. В то же время A. Tricot и J. Sweller [20] замечают, что обучение навыкам, специфичным для предметной области, более эффективно, чем обучение общим навыкам. Таким образом, особенности предметного содержания должны проявляться в методах обучения, ориентированных на учет эффектов когнитивной нагрузки. Например, при обучении школьников решению более-менее сложных геометрических задач, требующих последовательного применения нескольких теорем и формул, учитель вряд ли сможет воспользоваться методом отработанного примера. Это происходит в силу ряда причин. Во-первых, для подобных задач практически не существует точных алгоритмов решения, разве что обобщенные алгоритмические предписания, да и то не всегда. Во-вторых, задачи, даже относящиеся к одному и тому же типу, школьники не воспринимают таковыми, а следовательно, отработанный способ решения одной задачи, не будет соотнесен с другой задачей. Кроме того, решая геометрическую задачу, учащийся

должен уметь не только правильно построить чертеж в соответствии с условием задачи, но и в поиске решения выделить и распознать отдельные элементы чертежа, обнаруживать связи между ними, устанавливать их свойства, дополнить чертеж новыми элементами, позволяющими переосмыслить условие задачи и т.п. А, как свидетельствует практика обучения, такими умениями в большинстве случаев школьники не обладают.

Эти соображения натолкнули авторов данной статьи на мысль о том, что при обучении геометрии вместо метода отработанного примера можно воспользоваться методом отработанной геометрической конструкции. Представим этапы реализации данного метода:

– построение исходной геометрической фигуры и (при необходимости) повторения ее основных свойств;

– введение в чертеж дополнительных элементов, чтобы получить геометрическую конструкцию, которую нужно отработать;

– анализ, получившейся конструкции и описание всех ее важных свойств;

– рассмотрение частных случаев для данной конструкции, установление того, изменятся ли ранее выявленные свойства;

– обсуждение того, какие задачи могут быть решены с использованием выявленных свойств.

Полезно, отрабатывая каждую конструкцию, фиксировать результаты работы на специальной карточке или в специальной тетради. В этом случае легко будет обратить внимание учащихся на эти записи, если это будет необходимо при решении задач. С целью экономии времени взаимосвязанные конструкции лучше рассматривать следом друг за другом в рамках одного урока. Приведем пример геометрических конструкций, свойства которых полезно отработать после ознакомления с понятием трапеции (рис. 3).

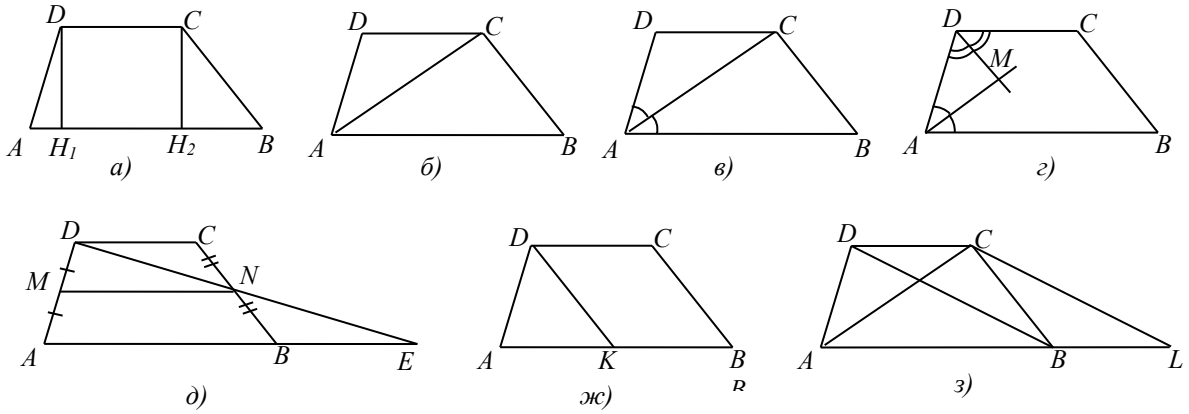


Рисунок 3. Примеры геометрических конструкций

Работая с чертежами и выявляя свойства их элементов, школьники в то же время повторят ранее изученный материал, а также подготовятся к изучению последующих теорем. Например, доказательство равенства треугольников *DCN* и *EBN* (рис. 3*д*) будет использовано на последующем уроке при изучении теоремы о средней линии трапеции. Характеризуя свойства элементов рассматриваемых конструкций (отрезков, углов, треугольников, четырехугольников), важно обратить внимание учащихся, что трапеция может быть равнобедренной или, например, прямоугольной, и проследить изменятся ли обнаруженные свойства.

Понятно, что не всегда возможно сразу установить все свойства конструкции, поскольку не весь необходимый материал к этому моменту школьниками изучен. Но постепенно продвигаясь в изучении курса геометрии можно дополнять записи свойств. Например, можно обнаружить целый ряд свойств, связанных с диагоналями трапеции.

Так, после знакомства с понятием средней линии трапеции, стоит предложить учащимся, зная основания трапеции, найти каждый из трех отрезков, на которые диагонали делят среднюю линию (рис. 4*а*). После изучения темы «Подобие треугольников» целесообразно не только обсудить при каких условиях треугольники *ADC* и *ACB* будут подобны (рис. 3*б*), но и рассмотреть подобие треугольников *DOC* и *BOA* (рис. 4*б*), вычислить, зная основания трапеции, длину отрезка *LK* (рис. 4*в*); установить особенности отрезка *XY* (рис. 4*г*). При этом исследование свойств отрезка *XY* приведет к необходимости рассмотрения еще одной конструкции, полученной достраиванием трапеции до треугольника при продолжении сторон *AD* и *BC*. В связи с этой конструкцией также полезно рассмотреть случай, когда углы при большем основании трапеции составляют в сумме 90°.

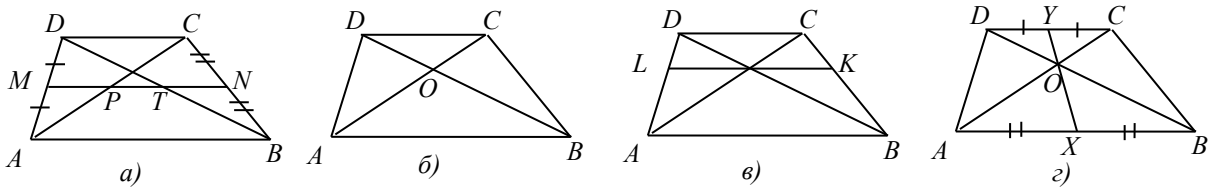


Рисунок 4. Трапеция и ее диагонали

В свою очередь, после изучения темы «Площади» можно расширить знания учащихся в отношении уже рассмотренных конструкций. Например, доказать равенство площадей треугольников, образованных диагоналями трапеции и прилежащих к ее боковым сторонам (рис. 4*б*) или обосновать, что трапеция *ABCD* и треугольник *ACL* равновелики (рис. 3*з*).

Количество конструкций и уровень «углубления в конструкцию» учитель может устанавливать сам в зависимости от наличия времени и способностей школьников. Однако важно, чтобы минимальный набор конструкций «перекрывал» совокупность задач по данной теме, предлагаемых учебником. При этом, решая со школьниками задачи, учитель должен позаботиться, чтобы сформировать у них навык соотнесения отработанной конструкции с задачной ситуацией. Приведем примеры задач (в обще виде), которые могут быть решены на основе одной из геометрических конструкций (рис. 3*з*).

Задача 1. В трапеции *ABCD* диагонали *BD* и *AC* перпендикулярны и равны d_1 и d_2. Найдите площадь трапеции.

Задача 2. В трапеции *ABCD* диагонали *BD* и *AC* перпендикулярны и равны d_1 и d_2. Найдите среднюю линию трапеции.

Задача 3. В равнобедренной трапеции диагонали перпендикулярны и равны *d.* Найдите площадь трапеции.

Задача 4. Диагонали трапеции d_1 и d_2, а длины оснований *a* и *b*. Найдите площадь трапеции.

Задача 5. Диагонали трапеции d_1 и d_2, а длина средней линии – *c*. Найдите высоту трапеции.

Задача 6. Средняя линия трапеции равна *c.* Площадь трапеции равна *S*. Найдите диагонали трапеции, если они относятся как *n : m.*

Задача 7. Диагонали трапеции *ABCD* перпендикулярны, а её основания равны *a* и *b*. На одном из оснований трапеции взята точка, находящаяся на равном расстоянии от концов одной из диагоналей. Найдите это расстояние.

Задача 8. Постройте трапецию по ее основаниям $DC = a$, $AB = b$ ($a < b$) и двум данным диагоналям $AC = d_1$ и $BD = d_2$.

Результаты эмпирического этапа исследования. В таблице 3 приведены данные для расчета эмпирического значения критерия Манна-Уитни на этапе входного контроля, осуществленного в начале обучения в 8 классе. В результате расчетов получили значение $U_{эмп} = 160{,}5$. Так как $U_{эмп} = 160{,}5 > U_{кр} = 109$ (при $p \leq 0{,}05$), делаем вывод, что принимается нулевая гипотеза. В таблице 4 приведены результаты для расчета эмпирического значения критерия Манна-Уитни после полугода применения методов снижения когнитивной нагрузки при обучении геометрии в восьмом экспериментальном классе.

Таблица 3. Данные для расчета эмпирического значения критерия Манна-Уитни на этапе входного контроля

№	Экспериментальная группа	Ранг 1	Контрольная группа	Ранг 2
1	9	7.5	8	7.5
2	7	2.5	12	1.5
3	7	2.5	13	4
4	10	10.5	15	22
5	11	15	6	26
6	11	15	7	34
7	15	33.5	9	11
8	15	33.5	10	15
9	8	5	14	30
10	14	29	15	34
11	10	10.5	12	22
12	13	23.5	14	30
13	8	5	13	26
14	13	23.5	10	15
15	15	33.5	8	7.5
16	6	1	10	15
17	13	23.5	11	19
18	–	–	12	22
19	–	–	9	11
Суммы		313.5		352.5

Таблица 4. Данные для расчета эмпирического значения критерия Манна-Уитни после полугода использования экспериментальной методики

№	Экспериментальная группа	Ранг 1	Контрольная группа	Ранг 2
1	12	22.5	8	4
2	12	22.5	10	11
3	13	28	12	22.5
4	11	16.5	15	34
5	14	31	7	1.5
6	15	33.5	7	1.5
7	15	33.5	9	6.5
8	15	33.5	10	11
9	12	22.5	12	22.5
10	12	22.5	15	34
11	10	11	12	22.5
12	10	11	14	30.5
13	8	5.5	11	16.5
14	13	28	10	11
15	12	22.5	8	4
16	11	16.5	10	11
17	13	28	11	16.5
18	–	–	10	11
19	–	–	9	6.5
Суммы		388		278

Таким образом, $U_{эмп} = 88$. Так как $U_{эмп} < U_{кр} = 109$ (при $p \leq 0{,}05$), то нулевая гипотеза отклоняется и принимается альтернативная гипотеза: с достоверностью 95% можно утверждать, что уровень владения геометрическим материалом в экспериментальной группе после применения методов и дидактических материалов, учитывающих эффекты когнитивной нагрузки, превышает уровень владения геометрическим материалом в контрольной группе.

Дискуссия

Результаты исследования свидетельствуют о позитивном влиянии методов и приемов, учитывающих эффекты когнитивной нагрузки на образовательные результаты школьников. Несмотря на незначительный срок, в течение которого внедрялась экспериментальная методика, отмечается положительный сдвиг в качестве знаний школьников по геометрии. Кроме того, наблюдение за работой учащихся на уроках подтверждает постепенное повышение их познавательной активности и самостоятельности. Положительный эффект определялся еще и тем, что не смотря на приоритет метода отработанной геометрической конструкции, в учебном процессе учитывался целый ряд эффектов когнитивной нагрузки: эффект модальности, эффект самообъяснения, эффект изолированных элементов, эффект незавершенного решения, эффект отмены экспертных знаний и др. Например, эффект изолированных элементов хорошо проявлялся, когда нужно было решить задачу, чертеж которой объединял элементы 2-3 отработанных геометрических конструкций.

В процессе анализа результатов также было выявлено снижение баллов у отдельных учащихся уже после применения экспериментальной методики, или баллы остались на том же уровне. При выяснении причин такого положения в процессе бесед со школьниками было обнаружено, что снижение результатов наблюдалось у школьника, которому совсем не свойственен визуальный стиль обработки информации, а также у обучающегося, который по причине болезни пропустил несколько уроков накануне суммативного оценивания. Те школьники, результаты которых не изменились после эксперимента, в процессе беседы отметили, что им не совсем был привычен новый формат обучения. Таким образом, следует отметить, что перед использованием экспериментальной методики полезно предварительно выяснить когнитивные стили обучающихся и более индивидуализировано использовать методы и приемы, учитывающие эффекты снижения когнитивной нагрузки.

Одно из опасений перед проведением эксперимента было связано с тем, что в ситуации ограниченности времени, которое отводится на изучение конкретной темы, сложно тщательно отработать свойства конструкций и уделить время решению задач, представленных в учебнике. Эти опасения в процессе исследования были рассеяны. Исследование свойств взаимосвязанных геометрических конструкций определяет объективную непрерывность познавательной деятельности школьников, снижая необходимость в промежуточных действиях. Продуманные инструкции учителя и приемы скаффолдинга способствуют интенсификации обучения. Все это приводит к экономии времени. Кроме того, решение задач, как в классе, так и в домашней работе с опорой на отработанные геометрические конструкции также требовало меньше времени.

Таким образом, результаты этого исследования дополняют доказательную базу о том, что при проектировании и осуществлении обучения школьников необходимо принимать во внимание положения теории когнитивной нагрузки. Не случайно, во множестве исследований [21, 22 и др.], без обращения к идеям снижения когнитивной нагрузки, по сути, доказывается, что методы и приемы обучения наиболее эффективны, если они разработаны с учетом понимания того, как человеческий мозг приобретает и использует знания.

Заключение

Теория когнитивной нагрузки предоставляет исследователям и педагогам понимание того, как должно быть организовано обучение, чтобы уменьшить перегрузку рабочей памяти и, следовательно, улучшить образовательные результаты обучающихся. Результаты

исследования расширяют данные, представленные в ранее опубликованных работах, и позволяют предложить следующие рекомендации:

- учителя должны осознавать потенциальные возможности и ограничения, которые представлены в эффектах когнитивной нагрузки, и учитывать их, осуществляя проектирование и внедрение методов обучения и дидактических материалов;
- полезно учитывать способности, когнитивные стили обучающихся и уровень их обученности, чтобы более точно приспособить положения теории когнитивной нагрузки к конкретному контексту практики обучения;
- учитывая предметный контекст геометрии, уместно применять в обучении метод отработанной геометрической конструкции, как способ учета эффекта отработанного примера, сочетая его с методами и приемами, направленными на учет других эффектов когнитивной нагрузки;
- целесообразно постепенно формировать у обучающихся навыки самостоятельного регулирования собственной когнитивной нагрузки.

Список использованных источников

[1] SwellerJ. Cognitive load during problem solving: Effects on learning // Cognitive science. – 1988. – vol. 12(2). – P. 257–285. https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7

[2] Sweller J. Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load // Educational Psychology Review. – 2010. – vol. 22(2). P. 123–138. https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5

[4] Sweller J., van Merriënboer J. J. G., Paas F. Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. Educational Psychology Review. 2019. – vol. 31*(2). – P. 261–292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5*

[4] Orru G., Longo L. The Evolution of Cognitive Load Theory and the Measurement of Its Intrinsic, Extraneous and Germane Loads: A Review. In: Longo L., Leva M. (eds) Human Mental Workload: Models and Applications. Communications in Computer and Information Science, Springer, Cham. – 2019. – vol. 1012. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14273-5_3

[5] Chen O., Kalyuga S., Sweller J. The expertise reversal effect is a variant of the more general element interactivity effect // Educational Psychology Review. – 2017. – vol. 29. – P. 393–405. https://doi.org/10.1007/s10648-016-9359-1

[6] Ginns P. Meta-analysis of the modality effect // Learning and Instruction. –2005. – vol. 15. – P. 313–331. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2005.07.001

[7] Mayer R. E., Anderson R. B. The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning // Journal of Educational Psychology. – 1992. – vol. 84(4). –P. 444–452. https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.444

[8] van Gog T., Paas F., van Merriënboer J. J. G. Effects of studying sequences of process-oriented and product-oriented worked examples on troubleshooting transfer efficiency // Learning and Instruction. –2008. – vol. 18(3). – P. 211–222. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.03.003

[9] Martin A. J., Evans P. Load reduction instruction: Exploring a framework that assesses explicit instruction through to independent learning // Teaching and Teacher Education – 2018. – vol. 73. – P. 203–214. https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.03.018

[10] Bull P. Cognitive Constructivist Theory of Multimedia: Designing Teacher-Made Interactive Digital. // Creative Education. – 2013. – vol. 4. – P. 614–619. https://doi.org/10.4236/ce.2013.49088

[11] van Merrienboer J. J. G., Kirschner P. A. 4C/ID in the Context of Instructional Design and the Learning Sciences. In F. Fischer, C. E. Hmelo-Silver, S. R. Goldman, & P. Reimann (Eds.), International Handbook of the Learning Sciences. Routledge. – 2018. –P. 169–179. https://doi.org/10.4324/9781315617572-17

[12] Choi S., Song J. 2023. Offloading through emphasis manipulation sequencing during a complex learning process in cognitive load and learning transfer // International Journal of Educational Methodology. – 2023. – vol. 9(3). –P. 567–584. https://doi.org/10.12973/ijem.9.3.567,

[13] Бутарев К.В. Изучение программирования с позиции теории когнитивной нагрузки // Информатика в школе. – 2024. – Т. 23(5). – С. 5–11. https://doi.org/10.32517/2221-1993-2024-23-5-5-11

[14] Горбунова А.Ю. Теория когнитивной нагрузки: оптимизация обучения с помощью алгоритмов решения задач и последовательности обучения // Мир психологии. – 2024. – № 2 (117). – С. 237–253. https://doi.org/10.51944/20738528_2024_2_237

[15] Ellerton P. On critical thinking and content knowledge: A critique of the assumptions of cognitive load theory // Thinking Skills and Creativity. – 2022. – vol. 43. – P. 1–7. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100975

[16] Kim M., Duncan C., Yip S., Sankey D. Beyond the theoretical and pedagogical constraints of cognitive load theory, and towards a new cognitive philosophy in education // Educational Philosophy. –2024. – P. 1–12. https://doi.org/10.1080/00131857.2024.2441389

[17] Dehaene S. How we learn: The new science of education and the brain. London: Penguin Random House. – 2020. – 352 pp. https://doi.org/10.1080/13546805.2020.1865897

[18] Шмигирилова И.Б., Костина А.А. Стратегии снижения когнитивной нагрузки как инструмент непрерывного образования. // Непрерывное образование: проблемы, решения, перспективы. Материалы III Всероссийской научной конференции (с международным участием). Санкт-Петербург. – 2024. – С. 54–58.

[19] Шмигирилова И.Б., Рванова А.С., Белошистова Я.С., Дуткин М.А. Прием обращения геометрических задач как средство развития мышления будущих учителей математики // Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Физико-математические науки. – 2022. – № 77 (1). – С. 193–201. https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.27.

[20] Tricot A., Sweller J. Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work // Educational Psychology Review. – 2014. – vol. 26(2). – P. 265–283. https://doi.org/10.1007/s10648-013-9243-1

[21] Зыкрина С. Құрылымдалған есептерді шығарудың оқушылардың зерттеушілік дағдыларын дамытуға әсері. // Абай атындағы ҚазҰПУ Хабаршысы. Физика-математика ғылымдары сериясы. – 2023. – № 83(3). – С. 88–96. https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.83.3.011

[22] Манвелов С.Г., Манвелов Н.С. К проблеме вариативности обучения школьников решению математических задач // Проблемы современного педагогического образования. – 2017. – № 54-6. – С. 167–174.

References

[1] Sweller, J. (1988) Cognitive load during problem solving: Effects on learning. Cognitive science. vol. 12(2), 257–285 https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7

[2] Sweller J. (2010) Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. Educational Psychology Review. vol. 22(2), 123–138. https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5

[3] Sweller J., van Merriënboer J. J. G., & Paas F. (2019) Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. Educational Psychology Review. 31(2), 261–292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

[4] Orru G., Longo L. (2019) The Evolution of Cognitive Load Theory and the Measurement of Its Intrinsic, Extraneous and Germane Loads: A Review. In: Longo L., Leva M. (eds) Human Mental Workload: Models and Applications. Communications in Computer and Information Science, Springer, Cham. vol. 1012. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14273-5_3

[5] Chen O., Kalyuga S., & Swelle J. (2017) The expertise reversal effect is a variant of the more general element interactivity effect. Educational Psychology Review, vol. 29, 393–405. https://doi.org/10.1007/s10648-016-9359-1

[6] Ginns P. (2005) Meta-analysis of the modality effect. Learning and Instruction. vol. 15, 313–331. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2005.07.001

[7] Mayer R. E., & Anderson R. B. (1992) The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. Journal of Educational Psychology. vol. 84(4), 444–452. https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.444

[8] van Gog T., Paas F., & van Merriënboer J. J. G. (2008) Effects of studying sequences of process-oriented and product-oriented worked examples on troubleshooting transfer efficiency. Learning and Instruction. vol. 18(3), 211–222. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.03.003

[9] Martin A. J., Evans P. (2018) Load reduction instruction: Exploring a framework that assesses explicit instruction through to independent learning Teaching and Teacher Education. vol. 73, 203–214. https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.03.018

[10] Bull P. (2013) Cognitive Constructivist Theory of Multimedia: Designing Teacher-Made Interactive Digital. Creative Education. vol. 4, 614–619. https://doi.org/10.4236/ce.2013.49088

[11] van Merrienboer J. J. G., Kirschner P. A. (2018) 4C/ID in the Context of Instructional Design and the Learning Sciences. In F. Fischer, C. E. Hmelo-Silver, S. R. Goldman, & P. Reimann (Eds.), International Handbook of the Learning Sciences. Routledge. pp. 169–179. https://doi.org/10.4324/9781315617572-17

[12] Choi S., & Song J. (2023). Offloading through emphasis manipulation sequencing during a complex learning process in cognitive load and learning transfer. International Journal of Educational Methodology. vol. 9(3), 567–584. https://doi.org/10.12973/ijem.9.3.567

[13] Butarev K.V. (2024.) Izucheniye programmirovaniya s pozitsii teorii kognitivnoy nagruzki [Study of programming from the standpoint of cognitive load theory]. Informatika v shkole. № 23(5), 5–11. (In Russian) https://doi.org/10.32517/2221-1993-2024-23-5-5-11

[14] Gorbunova A.YU. (2024) Teoriya kognitivnoy nagruzki: optimizatsiya obucheniya s pomoshch'yu algoritmov resheniya zadach i posledovatel'nosti obucheniya [Cognitive Load Theory: Optimizing Learning through Worked Examples and Instructional Sequencing]. World of psychology, № 2 (117), 237–253. (In Russian) https://doi.org/10.51944/20738528_2024_2_237

[15] Ellerton P. (2022). On critical thinking and content knowledge: A critique of the assumptions of cognitive load theory. Thinking Skills and Creativity. vol. 43, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100975,

[16] Kim M., Duncan C., Yip S. & Sankey D. (2024) Beyond the theoretical and pedagogical constraints of cognitive load theory, and towards a new cognitive philosophy in education, Educational Philosophy and Theory, 1–12. https://doi.org/10.1080/00131857.2024.2441389

[17] Dehaene S. (2020) How we learn: The new science of education and the brain. London: Penguin Random House, 352 pp. https://doi.org/10.1080/13546805.2020.1865897

18] Shmigirilova I.B., Kostina A.A. (2024) Strategii snizhenija kognitivnoj nagruzki kak instrument nepreryvnogo obrazovanija [Cognitive load reduction strategies as a tool for continuous education]. In: Nepreryvnoe obrazovanie: problemy, reshenija, perspektivy. Materialy III Vserossijskoj nauchnoj konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem). Sankt-Peterburg, 54–58. (In Russian)

[19] Shmigirilova I.B., Rvanova A.S., Beloshistova Ja.S., Dutkin M.A. (2022) Priem obrashhenija geometricheskih zadach kak sredstvo razvitija myshlenija budushhih uchitelej matematiki [The method of transformation of geometric problems as a means of developing the thinking of future mathematics teachers]. Vestnik KazNPU imeni Abaja. Serija: Fiziko-matematicheskie nauki, № 77 (1), 193–201. (In Russian) https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.27

[20] Tricot A. & Sweller J. (2014) Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work', Educational Psychology Review, 26, no. 2, pp. 265–283. https://doi.org/10.1007/s10648-013-9243-1

[21] Zykrina C. (2023) Qurılımdalğan esepterdi şığarwdıñ oqwşılardıñ zerttewşilik dağdıların damıtwğa äseri [Impact of structured assignments on the development of students' research skills]. Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences. № 83(3), 88–96. (In Kazakh). https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.83.3.011.

[22] Manvelov S.G., Manvelov N.S. (2017) K probleme variativnosti obucheniya shkol'nikov resheniyu matematicheskikh zadach [On the problem of variability of teaching schoolchildren to solve mathematical problems]. Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. № 54(6), 167–174. (In Russian)

МРНТИ 14.85.25

10.51889/2959-5894.2025.91.3.013

А. Тенгаева[1*], А. Анафина[2], И. Овсянников[3]

[1]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан
[2]Маргулан Университет, г. Павлодар, Казахстан
[3]Констрактер Университет, г. Бремен, Германия
e-mail: Aijan0973@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРЕПОДАВАНИЮ МАТЕМАТИКИ С ПОМОЩЬЮ SMART- ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация

В статье рассматривается использование smart-технологий в обучении математическим дисциплинам в высших учебных заведениях, которые стали одним из главных союзников преподавателей в педагогических инновациях. Основная цель статьи определить влияние smart-технологий на восприятие учебного материала в обучении математике в университете. Для этой цели проанализированы преимущества внедрения интерактивных, мультимедийных и умных технологий в учебный процесс. В литературном обзоре описаны примеры применения smart-технологий, таких как интерактивные доски, мобильные приложения, онлайн-симуляторы и виртуальные лаборатории. Показано, как данные технологии способствуют повышению мотивации и вовлеченности студентов, а также улучшению их успеваемости по математическим дисциплинам. Для определения влияния smart-технологий на восприятие учебного материала по математическим дисциплинам была разработана анкета. Анкета была опробована на 80 студентах. Обработка и анализ данных исследования проводились в среде программирования R. Полученные данные показали значительные различия в использовании смарт-технологий преподавателем в процессе обучения математике между онлайн платформами Moodle, Canvas и другими технологиями. Использование интерактивных smart -досок, онлайн-ресурсов и образовательных платформ выделялось среди остальных технологий самым высоким уровнем эффективности. В роли smart -технологий в подготовке к занятиям студенты связывают свое представление с визуализацией, которая облегчает обучение, помогает визуализировать проблемы и математические концепции.

Ключевые слова: математические дисциплины, современные подходы, smart-технологии, учебный процесс, анализ данных, университет.

А. Тенгаева[1*], А. Анафина[2], И. Овсянников[3]
[1]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан
[2]Марғулан Университеті, Павлодар қ., Қазақстан
[3]Констрактер Университеті, Бремен қ., Германия

SMART- ТЕХНОЛОГИЯЛАР АРҚЫЛЫ МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУДЫҢ ЗАМАНАУИ ТӘСІЛДЕРІ

Аңдатпа

Мақалада жоғары оқу орындарында математикалық пәндерді оқытудағы педагогикалық инновацияларда оқытушылардың негізгі құралдарының біріне айналған smart-технологияларды қолдану қарастырылады. Осы мақаланың негізгі мақсаты университетте математиканы оқытуда оқу материалын қабылдауға smart-технологиялардың әсерін анықтау. Осы мақсатта оқу процесіне интерактивті, мультимедиялық және ақылды технологияларды енгізудің артықшылықтары талданды. Әдеби шолуда интерактивті тақталар, мобильді қосымшалар, онлайн тренажерлер және виртуалды зертханалар сияқты smart технологияларын қолдану мысалдары сипатталған. Бұл технологиялар студенттердің мотивациясы мен белсенділігін арттыруға, сондай-ақ олардың математикалық пәндер бойынша үлгерімін жақсартуға қалай ықпал ететіні көрсетілген. SMART-технологиялардың математикалық пәндер бойынша оқу материалын қабылдауға әсерін анықтау үшін сауалнама әзірленді. Сауалнамаға 80 студент жауап жазды. Зерттеу деректерін өңдеу және талдау R бағдарламалау ортасында жүргізілді. Алынған нәтижелер Moodle, Canvas онлайн платформалары және басқа

технологиялармен оқытушының математиканы оқыту процесінде смарт технологияларды пайдалануы арасындағы айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті. Интерактивті смарт тақталарды, онлайн ресурстарды және білім беру платформаларын пайдалану басқа технологиялардан тиімді пайдаланудың ең жоғары деңгейімен ерекшеленді. Сабаққа дайындықтағы смарт технологияның рөлі ретінде студенттер өз презентациясын оқуды жеңілдететін, проблемалар мен математикалық ұғымдарды визуализациялауға көмектесетін визуализациямен байланыстырады.

Түйін сөздер: математикалық пәндер, заманауи тәсілдер, smart-технологиялар, оқу процесі, деректерді талдау, университет.

A. Tengayeva [1*], A. Anafina[2] , I. Ovsyannikov[3]
[1]Kazakh National Agrarian Research University. Almaty, Kazakhstan
[2]Margulan University. Pavlodar, Kazakhstan
[3]Constructor University. Bremen, Germany

MODERN APPROACHES TO TEACHING MATHEMATICS USING SMART TECHNOLOGIES

Abstract

The article examines the use of smart technologies in teaching mathematical disciplines in higher education institutions, which have become one of the main allies of teachers in pedagogical innovation. The main purpose of this article is to determine the impact of smart technologies on the perception of educational material in teaching mathematics at the university. For this purpose, the advantages of introducing interactive, multimedia and smart technologies into the educational process are analyzed. The literature review describes examples of smart technology applications such as interactive whiteboards, mobile applications, online simulators, and virtual labs. It is shown how these technologies contribute to increasing students' motivation and engagement, as well as improving their academic performance in mathematical disciplines. To determine the impact of smart technologies on the perception of educational material in mathematical disciplines, a questionnaire was developed. The questionnaire was tested on 80 students. The processing and analysis of the research data was carried out in the R programming environment. The data obtained showed significant differences in the use of smart technologies by teachers in the process of teaching mathematics between the online platforms Moodle, Canvas and other technologies. The use of interactive smart boards, online resources and educational platforms stood out among other technologies with the highest level of effective use. As a role of smart technologies in class preparation, students associate their presentation with visualization, which facilitates learning, helps visualize problems and mathematical concepts.

Keywords: mathematical disciplines, modern approaches, smart technologies, educational process, data analysis, university.

Введение

В основу данной статьи лежит следующий исследовательский вопрос: Каким образом smart-технологии влияют на восприятие студентами учебного материала в обучении математических дисциплин в вузе? Основное внимание уделяется влиянию умных технологий на восприятие учебного материала в обучении математических дисциплин в вузе. Влияние smart-технологий на учебный процесс подразумевает улучшение успеваемости студентов, повышение их мотивации и вовлеченность в учебную деятельность.

Постоянное развитие технологий, особенно информационно-коммуникационных технологий, позволило добиться значительных успехов в сфере высшего образования. Использование информационно-коммуникационных технологий в образовании было темой исследований на протяжении многих лет, причем ранние работы были сосредоточены на исследовании о влиянии технологий на успеваемость обучающихся [1], [2], [3], [4]. В ряде исследований изучалось использование интерактивной доски, виртуальная учебная лабораторная среда для обучения математике студентов, видеороликов, видеолекции [5] , [6], [7] которые предложили эффективно использовать модели умных технологии в обучении математике. Интерактивная доска рассматривается как устройство для визуализации учебного материала, который имеет много функциональных значений.

Применение smart-технологий, также подразумевает использование различных обучающих платформ. Авторы [8], [9] показывают эффективность в обучении математических дисциплин в таких платформах, как Moodle, Google Class и Edmodo, Teams.

Тенденции развития умных технологий привели к использованию различных видов и методов применения, а также проведения исследования их влияния на продуктивное обучение математических дисциплин [10], [11], [12].

Понимание влияния smart-технологий в обучении математических дисциплин в высшем образовании имеет значительную роль для дальнейшего прогресса в области математики.

Применение различных типов smart-технологий в обучении математических дисциплин в вузе мало изучено в научной литературе. Поэтому настоящее исследование посвящено изучению, как применение smart -технологий повлияют на восприятие обучения.

Литературный обзор

Исследования, посвященные применению smart-технологий в обучении математики в высшем образовании, в широком смысле можно разделить на три части: 1) smart-технологии, как инструмент визуализации данных; 2) обучающие платформы с мультимедийным программным обеспечением; 3) smart -технологии с искусственным интеллектом.

В своем исследовании [1] изучил интересы и проблемы, связанные с использованием цифровых технологий в математическом образовании. В этой работе выявлено три «больших вызова»: организация обучения; новые контексты обучения; связь между студентами. В отличие от этой работы [6] разработал электронного преподавателя для курса математики. В основу легли передовые практики онлайн-обучения. Визуально привлекательные модули с акцентом на концепции, упражнения и бизнес-применение дополнены голосовыми пояснениями и рукописным вводом. Дополнительная система поддержки помогает студентам решать задачи в модуле самостоятельной работы. Международные исследования, посвященные технологиям интерактивных досок, показали, что их можно использовать в качестве инструмента, помогающего преподавателям дифференцировать обучение. Ключевым выводом исследования [13] было то, что умная доска может быть ценным инструментом для обучения математике, а опыт и квалификация влияют на отношение к умным доскам, а так же нужны дальнейшие исследования для изучения влияния умных досок на обучение. Из дальнейших исследований о влиянии умной доски рассматриваем работу [4] которая определила положительные, отрицательные стороны использования смарт доски. В результате выявлено что умные доски могут быть полезны на уроках математики, особенно геометрии и для их эффективного использования необходимы изменения в подходе к обучению.

Исследовательская работа авторов [5] показал, что при сравнении результатов учащихся до и после тестов, уровень владения математикой значительно повысилась, благодаря эффективному использованию умной доски.

При переходе на онлайн обучение весь мир столкнулся с трудностями, которые стали препятствием для проведения полноценного урока. Но несмотря на все эти проблемы, люди начали внедрять smart-технологии онлайн обучения, платформы с мультимедийным программным обеспечением, что позволило облегчить данную ситуацию.

В свою очередь авторы [8] указывают на некоторые проблемы, возникшие во время исследования в период пандемии. Исследование направлено на выявление препятствий, возникающих в процессе изучения математики. Результаты показали, что популярностью пользуются платформы, такие как Google Class и Edmodo. Однако возникли проблемы с написанием математических символов и ограничениями мультимедийного программного обеспечения для поддержки онлайн-обучения.

Также для поддержки онлайн-обучения во время пандемии широко применялась виртуальная обучающая среда Moodle.

В статье [9] авторы показывают систему управления обучением Moodle, как инструмент для разработки платформы электронного обучения с открытым исходным кодом, которая поддерживает как студента, так и преподавателя, предоставляя услуги, облегчающие преподавание, а также административные задачи, связанные с образованием и повышением эффективности. Также считают необходимым знать, как это влияет на цифровые навыки, которые в последнее время считаются одной из самых важных аспектов, связанных с интеллектуальным обучением.

Все большее применение в образовательном пространстве smart-технологий приводит к такому понятию как «Интеллектуальное образование». Об этом в своих работах [16] авторы отмечают, что интеллектуальное образование - это использование различных технологий (комбинаторная оптимизация, машинное обучение, большие данные, визуализация данных, образовательные технологии Интернета вещей, аналитика обучения и другие) для повышения качества образования.

Работа [2] изучает влияние модели TAM (модель принятие технологий) на использование студентами MyMathLab на уроках математики. Результаты показали, что удовлетворенность пользователей, самоэффективность, субъективные нормы и воспринимаемая простота использования положительно влияют на намерение использовать MyMathLab. В работе [14] исследовано использование и интеграция технологий в обучении математике.

Касательно вопроса об интеграции технологий [15] проанализировали существующие подходы к визуализации образовательных данных. На основании исследования сделан вывод, что необходимы дальнейшие исследования для внедрения инструментов в классную среду, учета данных учащихся, разработки сложных и информативных визуализаций, сочетания визуализации с образовательными теориями. В соответствие с этим это работа [7] предлагает виртуальную учебную лабораторную среду для бакалавриата по математике. Пилотное исследование показывает улучшение качества обучения при применении виртуальной лаборатории для обучения математики.

Кроме того, использование smart-технологий может отвлекать студентов от глубокого понимания математических концепций. Зачастую студенты фокусируются на освоении программного обеспечения и алгоритмов, а не на изучении фундаментальных математических принципов. Это может привести к поверхностным знаниям, которые не позволяют студентам применять математику в реальных жизненных ситуациях. В связи с этим изменения в моделях обучения и учебной среде, а также соответствующих передовых практиках привело к пониманию того, что перед преподавателями стоит сложная задача - включить в учебный процесс оптимальное сочетание занятий в аудитории, электронного обучения и виртуальной аудитории. Применительно к курсу “математика” команда преподавателей решила организовать смешанную модель, состоящую из следующих компонентов: индивидуальное закрепление необходимых математических знаний; интерактивные онлайн-лекции, знакомящие с теоретическими концепциями и их применением в бизнес-среде; практическое занятие в аудитории, на котором студенты ориентируются в решении упражнений; онлайн-упражнения и задачи для самостоятельного изучения, управляемые системой. Разработан и внедрен электронный репетитор, включающий в себя 3 вида занятий: представление теории в виде видеозаписей, имитирующих лекции и создаваемых с помощью записи лабораторных занятий, представление примеров упражнений и модуль самостоятельной работы для поддержки студентов в поэтапном решении упражнений. Запись лабораторных занятий была использована для создания презентационного видео. Привлекательные визуальные презентации теоретических модулей посвящены концепциям, упражнениям и их применению [6].

В связи с возросшими потребностями в использовании smart-технологий в образовательной среде все большее внимание уделяется на применение искусственного интеллекта. Многочисленные исследования подчеркнули положительные эффекты использования чат-ботов с искусственным интеллектом в образовании. Однако некоторые исследования

показали, что пользователи чувствовали разочарование и теряли мотивацию к обучению при использовании чат-ботов с искусственным интеллектом для отработки коммуникативных навыков [10].

В педагогической практике реализация педагогических методов обучения осуществляется с использованием инновационных возможностей цифровых технологий, таких как системы управления обучением, сервисы онлайн-коммуникаций, специализированные мобильные приложения, а также иммерсивные AR/VR/XR-технологии. А также, инновационная методика преподавания математики основан на концепциях активного социального обучения и объединяет современные подходы STEM-образования и интегрированного обучения по содержанию и языку (CLIL). К ним относятся конструктивистский, проблемно-ориентированный, проектный и исследовательский подходы. Предложенная методика адаптирована к реализации образовательной деятельности в среде онлайн-обучения [17].

Ключевым выводом исследования было то, что разработанная ими методика доказала свою эффективность в преподавании математики. Студенты легко адаптировались к цифровой педагогике, овладели навыками управления учебной деятельностью и эффективно использовали технологические возможности, предоставляемые курсами.

Необходимость применения smart-технологий во время пандемии привело к возрастанию использования smart-технологий в образовательном пространстве, что повлияло на качество обучения, которое было исследовано во многих научных работах. Авторы [10] исследовали в метааналитическом изучении влияния чат-ботов с искусственным интеллектом на результаты обучения учащихся и сдерживающего воздействия образовательных программ. Распространение экспериментальных исследований подчеркнуло необходимость обобщить и синтезировать противоречивые данные о влиянии чат-ботов с искусственным интеллектом на результаты обучения студентов. Однако лишь немногие обзоры были посвящены метаанализу влияния чат-ботов с искусственным интеллектом на результаты обучения студентов. В своей работе [11] исследовал научное понимание организационного уровня, связанного с цифровыми изменениями, а также предоставил конкретные рекомендации для практиков.

В целом, было установлено, что развитие искусственного интеллекта и компьютерных технологий побудило исследователей проводить разнообразные исследования. Основываясь на полученных результатах приведены некоторые предложения: исследователям предлагается рассмотреть возможность использования приложений искусственного интеллекта для предоставления учащимся персонализированного руководства или поддержки, а также для изучения влияния подходов к обучению на основе искусственного интеллекта на исследования в области математического образования; полезно внедрить соответствующие приложения искусственного интеллекта в учебную деятельность по программам продвинутой математики, таким как геометрия и топология, прикладная математика, математическая грамотность и междисциплинарные курсы (например, STEM); полезно разработать адаптивную среду обучения математике в сотрудничестве с математическим образованием, образовательными технологиями и исследователями в области компьютерных наук; использовать современные технологии искусственного интеллекта, такие как глубокое обучение, в математическом образовании; важно исследовать эффективность использования искусственного интеллекта в обучении математике с разных точек зрения, принимая во внимание редко рассматриваемые исследовательские аспекты, такие как когнитивная нагрузка, навыки сотрудничества и коммуникации, а также тревожность при обучении [20].

Внедрение педагогической модели преподавания математических наук предполагает реализацию таких педагогических принципов, как: адаптивное обучение, моделирование и имитация, геймификация, а также конструктивистский, проблемно-ориентированный, проектный, исследовательский подходы. Мотивационное обеспечение учебной деятельности в процессе реализации педагогических методов на практике является эффективным инструментом достижения образовательных целей, путем создания условий для личностной автономии, учебно-личностного прогресса, самоорганизации, самоконтроля и управления.

Теория, разработанная Келлером, названная ARCS, представляет собой модель обучения, которая была разработана в ответ на необходимость найти эффективные способы понять основные влияния мотивации в процессе преподавания-обучения. Модель ориентирована на правильное стимулирование и поддержание учебной мотивации студентов [18].

Модель обучения, ориентированная на мотивацию, была реализована в сочетании с такими технологиями, как машинное обучение, дополненная реальность, аддитивное производство, интеллектуальные мобильные устройства, платформы Moodle, интерактивные смарт-телевизоры, а также традиционные лекции. Так же [12] исследовали отличия между различными изученными технологиями, выделяя интерактивное телевидение, машинное обучение и дополненную реальность по сравнению с другими технологиями, что служит исходными данными для академического управления для направления усилий, средств и обучения учителей новым инструментам для поддержки учебного процесса.

Сейчас ученые анализируют эффективность глобальных изменений в системе образования, пытаясь понять, оказали ли предпринятые усилия по созданию новых или адаптированных методов обучения положительное влияние на учащихся и на образовательный процесс в целом. А также в ходе исследований возникло множество проблем, которые предполагают, что для того, чтобы учителя могли адаптироваться к использованию технологий для улучшения обучения студентов, они должны сначала понять, как эти же технологии могут быть использованы для улучшения их личного использования. Исследования показывают, что без надлежащей подготовки, внедрения smart-технологий в образовательную практику и четкой инфраструктуры, обеспечивающей связь и доступность, улучшения преподавания и желаемого повышения академической успеваемости не будет и быть не может [3].

В совокупности рассмотренные исследования показывают, что smart-технологии в обучении математических дисциплин играют значительную роль в высшем образовании.

Хотя существуют некоторые доказательства, подтверждающие идею о том, что применение искусственного интеллекта в обучении математики эффективно влияет на качество знаний, но также необходимы дальнейшие исследования по применению smart- технологий для визуализации абстрактных математических понятий.

Методология исследования

Для определения качественного усвоения учебного материала студентами при изучении математических дисциплин проводилось наблюдение и анкетирование в Constructor University, где в данное время проходим научную стажировку. Constructor University – это частный англоязычный международный университет в Германии с самыми высокими стандартами в области исследований и преподавания в соответствии с междисциплинарной концепцией, инновационных решений и программ повышения квалификации.

Согласно графику посещения занятий по дисциплинам Анализ, Матричная алгебра и Комплексный анализ мы провели наблюдение по использованию smart-технологий на этих уроках. Занятия проводились как в офлайн так и в онлайн форматах с использованием платформ Teams, Moodle. Практически на всех занятиях производилась видео запись лекций через цифровую камеру в прямом эфире. Для доступности излагаемого материала преподавателем использовался графический планшет, который транслировал записи лекций на интерактивной доске. Использованный формат обучения был также доступен для студентов, занимающихся в онлайн режиме.

Занятия проходили в активном диалоговом режиме. Студенты, присутствующие в онлайн режиме, также активно участвовали на занятиях. По нашему наблюдению, лишь некоторые студенты использовали ноутбуки и планшеты для записи лекций. Все лекционные материалы: видеозаписи, скрины лекций загружаются на платформу Teams, где студенты могут в любое удобное для них время еще раз повторить пройденный материал. Также это удобно для тех студентов, которые не присутствовали на занятиях.

В результате наблюдения был составлен опросник для определения мнения студентов и влияния smart-технологий на восприятие учебного материала. Анкета состоит из 12 вопросов, которая включает вопросы, связанные с позиционированием студентов в поле демографических показателей (пол, возраст, страна). Для ответа на вопросник использовалась шкала Лайкерта с учетом пяти вариантов. Анкетирование проводилось с использованием инструмента Google Forms. Данные, полученные в ходе анкетирования, были трансформированы в электронную таблицу Excel. Для обработки и анализа данных использовалась среда статистического программирования R, где данные таблицы были преобразованы и приведены в читаемый формат.

Общее количество участников опроса составило 80 студентов инженерных специальностей университета из 32 стран мира. Из них 50 мужчин, 23 женщин и 1 студент предпочел не указывать пол. Возраст от 16-19 лет 45 студентов, от 20-24 лет 28 студентов от 25-29 лет 1 студент, 6 студентов не указали пол, возраст и страну прибытия. По странам прибытия, выявлено по одному студенту из 18 стран и малочисленное количество студентов из 12 стран. Для обработки данных страны были разделены на 3 группы: «Страны, возникшие в результате распада СССР, Вьетнам, Монголия», «Европейские страны, США, Корея», «Развивающиеся страны» (см. таблица 1 и рисунки 1, 2).

Рисунок 1. Вид аудитории

Таблица 1 Разделение стран на группы по коэффициенту Джини и ВВП

Группы	*Страны*	*Джини*	*ВВП*
Группа 1	*Азербайджан*	*26,55*	*24698*
	Беларусь	*24,38*	*32098*
	Грузия	*36,93*	*27363*
	Казахстан	*27,79*	*41366*
	Кыргызстан	*28,99*	*7773*
	Монголия	*32,74*	*19063*
	Россия	*36,03*	*47299*
	Украина	*24,63*	*19603*
	Узбекистан	*35,27*	*11596*
	Вьетнам	*36,81*	*16193*
Группа 2	*Албания*	*29,42*	*21377*
	Болгария	*39,01*	*39185*
	Германия	*30,64*	*70930*
	Корея	*33,1*	*62960*
	Румыния	*34,1*	*47204*
	Турция	*42,6*	*40283*

	США	*39,79*	*86601*
Группа 3	*Бразилия*	*51,4*	*22123*
	Бурунди	*38,62*	*986*
	Куба	*38*	-
	Египет	*31,86*	*20799*
	Сальвадор	*38,76*	*13173*
	Ефиопия	*34,99*	*4045*
	Гана	*43,52*	*7975*
	Гондурас	*48,1*	*7605*
	Индия	*37,06*	*11112*
	Кения	*38,7*	*7157*
	Морокко	*39,55*	*10615*
	Непаль	*32,84*	*5348*
	Нигерия	*35,13*	*6543*
	Замбия	*44*	*4190*
	Зимбабве	*50,26*	*5071*

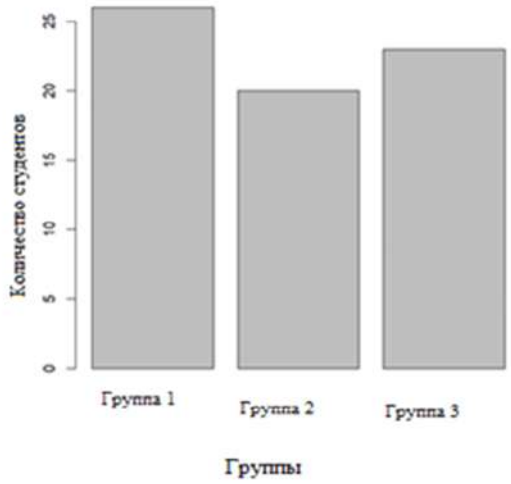


Рисунок 2. Количество студентов по группам стран

Для дальнейшей обработки данных в R, использовался метод Пирсона тест Хи-квадрат, который оценивает отклонение наблюдаемых частот от теоретически ожидаемых и используется для анализа таблиц сопряженности двух переменных с категориальными шкалами. Статистика Хи-квадрат, вычисляемая на основе анализа таблицы сопряженности дает ответ на вопрос: какая степень отклонения от ожидаемой частоты будет достаточно велика, чтобы считать ее большей, учитывая объем выборки и число градаций категориальных шкал анализируемых переменных. Стандартная встроенная функция для вычисления Хи-квадрат может работать как с готовыми таблицами сопряжённости (в виде объектов класса table) так и с двумя векторами переменных с номинальными или ординальными шкалами, на основе которых можно построить матрицу сопряженности. Функция table () обращается со всеми типами данных одинаково, так что качественные переменные, закодированные числами, не требуют преобразования при помощи as.factor (). В таблице 2 приведены результаты вычисления между переменными со значением Хи-квадрат при оценке вероятности p-value.

Таблица 2. Результаты вычисления связи между переменными

Переменные	*Группы стран*	*Возраст*	*Пол*
Группы стран	_	*X-sq.=12.848 p-value=0.0016*	*X-sq.=1.7789 p-value=0.4109*
Возраст	_	_	*X-sq.=0.24567 p-value=0.6201*
Эффективность	*X-sq.=0.4984 p-value=0.7794*	*X-sq.=4.9404 p-value=0.0845*	*X-sq.=1.6063 p-value=0.658*
Часто	*X-sq.=1.0349 p-value=0.9045*	*X-sq.=7.4927 p-value=0.0236*	*X-sq.=1.8213 p-value=0.6103*
Качество усвоения	*X-sq.=2.1005e-31 p-value=1*	*X-sq.=5.0048 p-value=0.0252*	*X-sq.=0 p-value=1*
Влияние	*X-sq.=2.622 p-value=0.2696*	*X-sq.=22.611 p-value=1.983*	*X-sq.=0.96792 p-value=0.6163*
Мотивация	*X-sq.=0.4397 p-value=0.8029*	*X-sq.=2.322 p-value=0.1267*	*X-sq.=0.6454 p-value=0.4217*
Наиболее полезные	*X-sq.=0.8852 p-value=0.9267*	*X-sq.=0.7439 p-value=0.6894*	*X-sq.=2.8106 p-value=0.2453*
Трудности	*X-sq.=4.602 p-value=0.3306*	*X-sq.=0.7423 p-value=0.6889*	*X-sq.=3.0775 p-value=0.2147*
Возможности	*X-sq.=6.8776 p-value=0.3323*	*X-sq.=0.53498 p-value=0.9111*	*X-sq.=2.0293 p-value=0.5663*

Результаты исследования

По полученным результатам выявлены три категории:1) вопросы, связанные с демографическими данными; 2) вопросы, связанные с выбором эффективных smart - технологий и типами заданий; 3) вопросы, связанные с влиянием smart-технологий на восприятие учебного материала. В результате анализа данных выявлены следующие показатели по возрастным категориям и регионам, где p-value=0,0016, что означает избыток младших возрастных студентов из Группы 1, как показано на рисунке 3. В группе демографических характеристик не выявлены связи между полом и возрастными группами, также с полом и регионами. (см. таблицу 2). Участвующие студенты в возрасте от 16-19 лет используют smart-технологии для самостоятельной работы реже, чем студенты 20-24 лет, у которых показатель постоянного использования выше (p-value=0,0023) (рис.4).

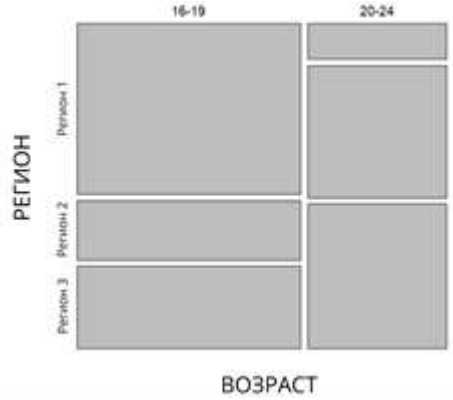


Рисунок 3. Показатели возраста по регионам

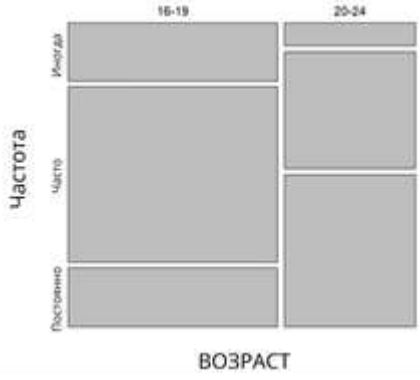


Рисунок 4. Показатели использования smart -технологий по возрастам

По статистическому анализу, где p-value=0,0025, влияние smart-технологий на качество усвоения учебного материала по математике значительно повысилось в равной степени во всех возрастных категориях. Также мы видим, что показатель значительного повышения выше

у студентов в возрасте от 20-24 лет, чем младшего возраста. (рис.5). По половым признакам отклонения не выявлены (см. таблицу 2).

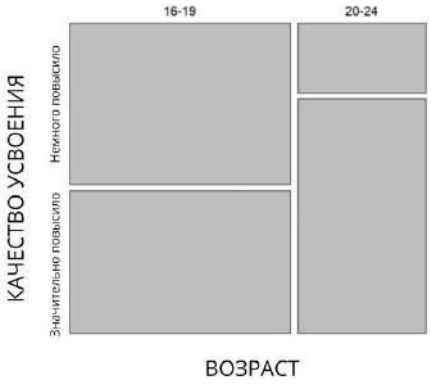


Рисунок 5. Показатели качества усвоения учебного материала

Студенты в возрасте от 16-19 лет считают, что наиболее эффективными smart-технологиями, используемые в процессе обучения математике являются онлайн-ресурсы и образовательные платформы. Студенты старшего возраста напротив считают, что наиболее эффективны симуляторы и виртуальные лаборатории (p-value=0,0845) (рис.6).

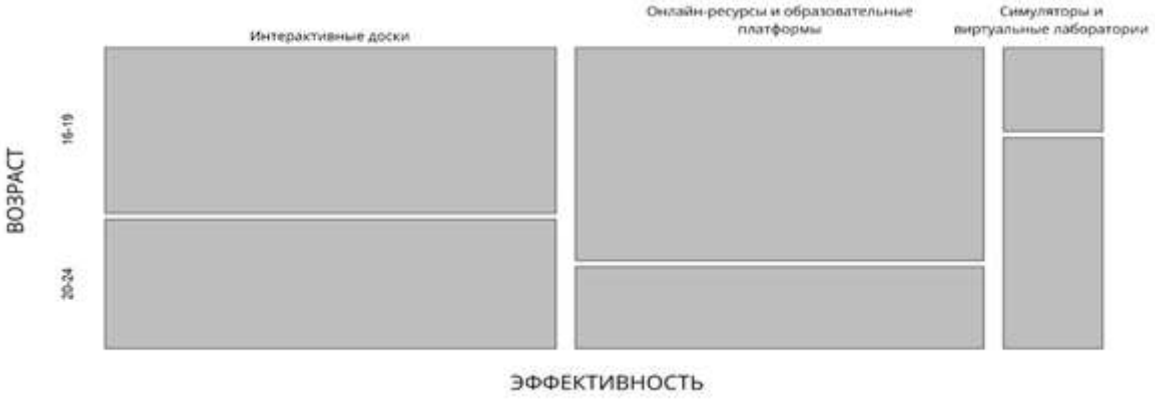


Рисунок 6. Показатели эффективности smart -технологий

Рассматривая вторую категорию результатов анализа данных отмечается, что с помощью выбранных студентами наиболее эффективных smart-технологий, они в основном выполняют такие типы заданий, как решение уравнений и неравенств. (рисунок 7).

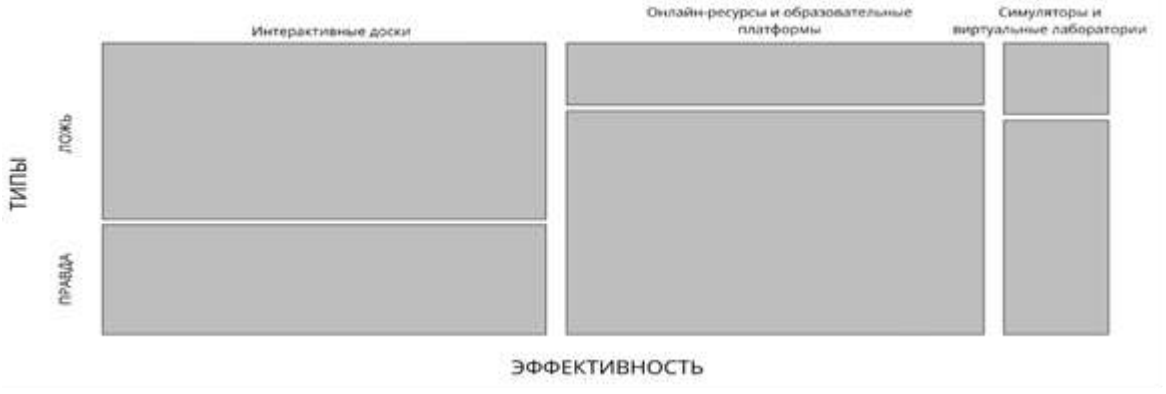


Рисунок 7. Показатель типа заданий: Решение уравнений и неравенств

Также с помощью smart-технологий студенты чаще выполняют геометрические построения, чем решение задач на вероятность и статистику, коэффициент p-value=0,02611.

(рис.8). Студенты утверждают, что использование эффективных smart -технологий сделали их процесс обучения математике более самостоятельным.

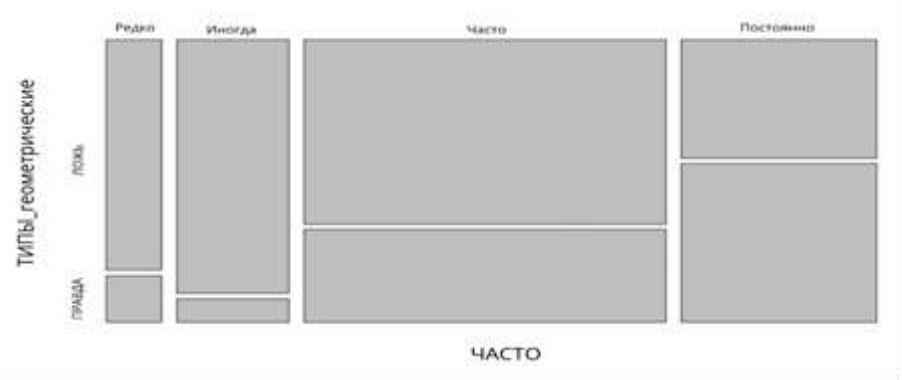


Рисунок 8. Показатель типа заданий: Геометрические построения

По мнению участников опроса частое использование smart -технологий сделало обучение математике более интересным и помогло им лучше понять сложные математические концепции (см.таблицу 3).

Таблица 3. Влияние smart-технологий на качество усвоения учебного материала

Переменные	*Эффективность*	*Часто*	*Качество усвоения*	*Влияние*	*Мотивация*	*Наиболее полезные*	*Трудности*	*Возможности*
Эффективность		*1.8608 p-value = 0.6018*	*0.161 p-value = 0.9227*	*1.2289 p-value = 0.2657*	*1.4654 p-value = 0.2261*	*2.0734 p-value = 0.3546*	*8.1457 p-value = 0.0170*	*6.7948 p-value = 0.07873*
Часто			*6.5896 p-value = 0.0370*	*13.001 p-value = 0.0015*	*5.0575 p-value = 0.1676*	*0.75439 p-value = 0.9445*	*5.0052 p-value = 0.2868*	*5.5346 p-value = 0.1366*
Качество усвоения				*17.252 p-value = 3.273e-05*	*12.505 p-value = 0.0004*	*2.491 p-value = 0.2878*	*1.5062 p-value = 0.4709*	*0.71645 p-value = 0.8693*
Влияние					*10.737 p-value = 0.0046*	*2.7852 p-value = 0.5944*	*1.2796 p-value = 0.8648*	*4.4856 p-value = 0.2136*
Мотивация						*2.2086 p-value = 0.3314*	*1.6965 p-value = 0.6377*	*4.5184 p-value = 0.2107*
Наиболее полезные							*5.8616 p-value 0.2097*	*6.7385 p-value = 0.08072*
Трудности								*10,0 p-value = 0.0185*
Возможности								

Видеоуроки на образовательных платформах, используемые преподавателем, геометрические построения, выполняемые с помощью smart-технологий, построение графиков функций значительно повлияли на качество усвоения учебного материала и на академические результаты по математике. При использовании интерактивных досок большинство студентов указывают на трудности, связанные с техническими проблемами (медленный интернет, сбои в работе приложений) (p-value=0,01103).

Теперь рассмотрим вопросы, связанные с влиянием smart-технологий на восприятие учебного материала. Постоянное использование smart-технологий для самостоятельной работы по выполнению математических заданий значительно влияет на качество усвоения учебного материала (p-value=0,0370) (Рисунок 8A) и повышает академические результаты по математическим дисциплинам (p-value=0,0015) (Рисунок 8B). Тем самым, повышая мотивацию у студентов к обучению (p-value=0,0004). (Рисунок 8C). По результатам опроса студенты столкнулись со сложностями в использовании интерфейсов, тем самым хотели бы видеть в будущем более интуитивно понятные интерфейсы и широкую интеграцию с другими инструментами (p-value=0,0185).

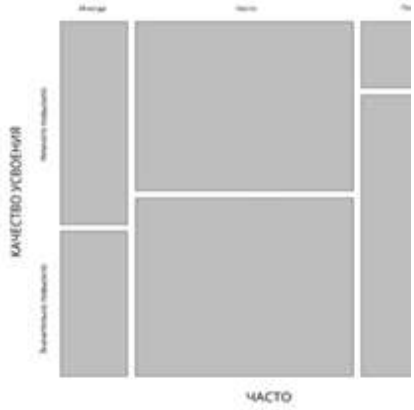


Рисунок 8A. Влияние smart-технологий на качество обучения и успеваемость.

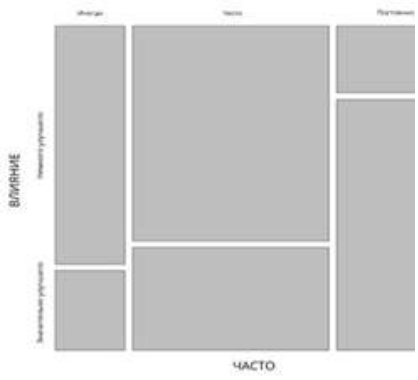


Рисунок 8B. Влияние smart-технологий на академические результаты.

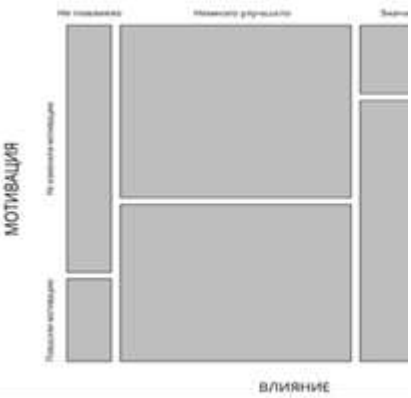


Рисунок 8C. Влияние smart-технологий на мотивацию.

Рисунок 8. Влияние smart-технологий

Дискуссия

Восприятие учебного материала, стимулируемая использованием smart-технологий, обнаруженная в результатах настоящего исследования, подтверждает использование нетрадиционных инструментов дидактической поддержки, поддерживает вовлеченность учащихся в обучении и мотивирует их активно участвовать в процессе обучения. Полученные результаты частично подтверждают сообщения других авторов при использовании платформ Moodle [8], [9], интерактивные smart -доски [5] , [6], [7], мобильные приложения [17].

Анализ данных выявил существенные различия в использовании smart-технологий преподавателем в процессе обучения математике между онлайн платформами Moodle, Canvas и другими технологиями. Использование интерактивных умных досок, онлайн-ресурсов и образовательных платформ выделялись среди остальных технологий самым высоким уровнем эффективного использования. Самый низкий уровень эффективности использования был связан с симуляторами и виртуальными лабораториями.

По анализу данных студенты положительно оценивают роль smart-технологий в подготовке к занятиям. Полученные ответы были разделены на следующие категории: роль как инструмент, роль как понимание материала, роль как визуализация материалов. По данным анкетирования студенты рассматривают роль как инструмент в качестве ассистента, преподавателя, доступа к структурированным заметкам и контенту, источник онлайн-

материалов. Ролью в качестве понимания материала по мнению студентов являются интеллектуальные технологии помогающие осмыслить темы, рассматриваемые на занятиях, понять теорию, лежащую в их основе, прежде чем научиться решать задачи, также экономят время за счет автоматизации задач, систематизации материалов и повышения эффективности обучения, помогают достичь более четкого понимания тем. В качестве роли smart -технологий в подготовке к занятиям студенты связывают свое представление с визуализацией, которая облегчает обучение, помогает визуализировать проблемы и математические концепции. Из числа, опрошенных студентов, небольшое количество отмечают, что smart-технологий в подготовке к занятиям играют не значительную роль.

При использовании smart-технологий в обучении математике студенты указывают на трудности, связанные с техническими проблемами, такими как медленный интернет, сбои в работе приложений.

Эффективность изучения математики в будущем студенты видят в более широкой интеграции с другими инструментами, в персонализированных учебных планах, в возможности задавать вопросы преподавателю в режиме реального времени.

Использование smart-технологий во многом зависит от контекста, способа ее реализации и склонности учащегося к этой технологии.

Заключение

В этом исследовании был рассмотрен обзор литературы по применению smart-технологий в обучении математических дисциплин, способствующих повышению качества учебного процесса в вузе. Для выявления влияния smart-технологий на восприятие учебного материала по математическим дисциплинам было организовано анкетирование среди студентов университета. По результатам исследования выявлено, что правильное применение и выбор smart- технологии в обучении математических дисциплин; анализ применения smart-технологий; адаптация студентов к цифровой среде и их совершенствование имеет ключевое значение. Таким образом, при всех своих преимуществах, использование smart-технологий в преподавании математических дисциплин требует тщательного подхода и сбалансированного применения, чтобы избежать негативных последствий для математической подготовки студентов. Будущие исследования должны быть сосредоточены на изучении применения smart-технологий для визуализации абстрактных математических понятий в обучении математических дисциплин. Несмотря на множество преимуществ использования smart-технологий в обучении математике, существуют и негативные аспекты, которые необходимо учитывать и исследовать дальше.

Во-первых, чрезмерное использование технологий может привести к снижению навыков ручных вычислений и логического мышления у студентов. Постоянная зависимость от калькуляторов, компьютерных программ и онлайн-решателей может ослабить способность учащихся самостоятельно решать математические задачи без технической поддержки.

Во-вторых, чрезмерное увлечение технологиями может отвлекать студентов от основной учебной деятельности и снижать их вовлеченность в процесс обучения. Необходимо найти баланс между использованием технологий и традиционными методами преподавания.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть сосредоточены на изучении влияния smart -технологий на развитие математических навыков и критического мышления у студентов. Необходимо разработать методики, которые позволят максимально эффективно использовать технологии для повышения качества преподавания математики, не ущемляя при этом фундаментальные математические компетенции.

Кроме того, важно изучить способы интеграции smart-технологий в учебный процесс таким образом, чтобы они дополняли, а не заменяли традиционные методы обучения. Это позволит повысить эффективность учебного процесса и обеспечить всестороннее развитие математических навыков у студентов.

References

[1] Joubert, M. (2013). Using digital technologies in mathematics teaching: Developing an understanding of the landscape using three "grand challenge" themes. Educational Studies in Mathematics, 82(3), 341–359.

[2] Zogheib, B., Rabaa'i, A., Zogheib, S., & Elsaheli, A. (2015). University student perceptions of technology use in mathematics learning. Journal of Information Technology Education: Research, 14, 417–438.

[3] Carter, K., & Mehta, S. (2018). Do 'smart' technologies affect academic achievement in the mathematics classroom? Approaches to Educational Research.

[4] Başibüyük, K., Erdem, E., Şahin, Ö., Gökkurt, B., & Soylu, Y. (2014). Matematik derslerinde akilli tahta kullanımına ilişkin öğretmen ve öğrenci görüşleri. Adıyaman Üniversitesi Eğitim Bilimleri Dergisi, 4(7), 72.

[5] Cabus, S. J., Haelermans, C., & Franken, S. (2017). SMART in mathematics? Exploring the effects of in-class-level differentiation using SMARTboard on math proficiency. British Journal of Educational Technology, 48(1), 145–161. https://doi.org/10.1111/bjet.12352

[6] Schreurs, J. (2013, November 18–20). Smart teaching technologies used in blended e-learning course mathematics. In Proceedings of ICERI2013 Conference (Seville, Spain).

[7] Cheong, K. H., & Koh, J. M. (2018). Integrated virtual laboratory in engineering mathematics education: Fourier theory. IEEE Access, 6, 58231–58243. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2873480

[8] Irfan, M., Kusumaningrum, B., Yulia, Y., & Widodo, S. A. (2020). Challenges during the pandemic: Use of e-learning in mathematics learning in higher education. Infinity Journal, 9(2), 147–158.

[9] Alrikabi, H. Th. S., Jasim, N. A., Majeed, B. H., Zkear, A. A., & AlRubeei, I. R. N. (2022). Smart learning based on Moodle e-learning platform and digital skills for university students. International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT (iJES), 10(1), 109–120.

[10] Wu, R., & Yu, Z. (2023). Do AI chatbots improve students' learning outcomes? Evidence from a meta-analysis. British Journal of Educational Technology, 50(1), 10–33.

[11] Deacon, B., Laufer, M., & Schäfer, L. O. (2023). Infusing educational technologies in the heart of the university — A systematic literature review from an organisational perspective. British Journal of Educational Technology, 54(2), 441–466.

[12] Laurens-Arredondo, L. A. (2024). Information and communication technologies in higher education: Comparison of stimulated motivation. Education and Information Technologies, 29(7), 8867–8892.

[13] Muhanna, W., & Nejem, K. M. (2013). Attitudes of mathematics teachers toward using smart board in teaching mathematics. Contemporary Issues in Education Research (CIER), 6(4), 373.

[14] Baglama, B., Yikmis, A., & Demirok, M. S. (2017). Special education teachers' views on using technology in teaching mathematics. European Journal of Special Education Research, 2(5).

[15] Vieira, C., Parsons, P., & Byrd, V. (2018). Visual learning analytics of educational data: A systematic literature review and research agenda. Computers & Education, 122, 119–135.

[16] Díaz-Parra, O., Fuentes-Penna, A., Barrera-Cámara, R. A., Trejo-Macotela, F. R., Ramos-Fernández, J. C., Ruiz-Vanoye, J. A., Zezzatti, A. O., & Rodríguez-Flores, J. (2022). Smart education and future trends. International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, 13(1), 65–74.

[17] Kossybayeva, U., Shaldykova, B., Akhmanova, D., & Kulanina, S. (2022). Improving teaching in different disciplines of natural science and mathematics with innovative technologies. Education and Information Technologies, 27(6), 7869–7891.

[18] Keller, J. M. (2010). The ARCS model of motivational design. In J. M. Keller (Ed.), Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach (pp. 43–74). Springer US.

[19] Birgin, O., Uzun, K., & Mazman Akar, S. G. (2019). Investigation of Turkish mathematics teachers' proficiency perceptions in using information and communication technologies in teaching. Education and Information Technologies.

[20] Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. Mathematics, 9, 584.

ИНФОРМАТИКА

COMPUTER SCIENCE

ҒТАХР 20.53.17

10.51889/2959-5894.2025.91.3.014

А.Д. Абдувалова[1*], Ш.Е. Ахметжанова[2], Ж.О. Оралбекова[2], Т.К. Ешмаханова[1], А. Шымырбек[3]

[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан
[2]Astana IT University, Астана қ., Қазақстан
[3]№91 мектеп-гимназиясы, Астана қ., Қазақстан
[*]*e-mail: abduvalova08@gmail.com*

ИНТЕРНЕТ ЗАТТАР ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНЫП МЕДИЦИНАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ БАСҚАРУ ҮШІН ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕР МЕН ҚҰРАЛДАРДЫ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа

Мақалада медициналық қалдықтарды басқару үшін деректерді жинаудың, құрылымдаудың және талдаудың әдістемелік негіздері мен механизмдерін әзірлеу мәселелері қарастырылады. Мақалада медициналық қалдықтарды жинау, тасымалдау және кәдеге жарату процестерін оңтайландыру үшін Интернет заттары (IoT) технологияларын қолдану қарастырылады. Ақылды датчиктерді қолдана отырып, бизнес-процестерді модельдеу әдістері ұсынылған. Медициналық қалдықтардың түрлері, көлемі және қозғалыс бағыттары туралы ақпаратты сенімді сақтауды, жүйелеуді және талдауды қамтамасыз ететін мәліметтер базасын жобалау әдістері сипатталған. Әзірленген модель қалдықтарды басқару тиімділігін арттыруға, экологиялық тәуекелдерді азайтуға және логистикалық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Авторлар цифрлық қалдықтарды басқаруды жақсарту бойынша ұсыныстар ұсынады. Ұсынылған шешімдер экологиялық қауіпсіздікті арттыруға, денсаулыққа қауіп-қатерді азайтуға және денсаулық сақтау саласындағы ресурстарды оңтайландыруға бағытталған.

Түйін сөздер: медициналық қалдықтар, IoT технологиясы, қалдықтар кластары, интеллектуальды жүйе, ER-модель.

А.Д. Абдувалова[1], Ш.Е. Ахметжанова[2], Ж.О. Оралбекова[2], Т.К. Ешмаханова[1], А. Шымырбек[3]
[1]Таразский университет имени М.Х.Дулати, г.Тараз, Казахстан
[2]Astana IT University, г.Астана, Казахстан
[3] школа-гимназия №91, г.Астана, Казахстан

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИМИ ОТХОДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы разработки методических основ и механизмов сбора, структурирования и анализа данных для управления медицинскими отходами. В данной статье рассматривается применение технологий Интернет вещей (IoT) для оптимизации процессов сбора, транспортировки и утилизации медицинских отходов. Предложены методы моделирования бизнес-процессов с использованием интеллектуальных датчиков. Описываются методы проектирования баз данных, обеспечивающие надежное хранение, систематизацию и анализ информации о видах, объемах и маршрутах движения медицинских отходов. Разработанная модель позволяет повысить эффективность управления отходами, минимизировать экологические риски и снизить затраты на

логистику. Авторы предлагают рекомендации по совершенствованию управления отходами на основе цифровых технологий. Предложенные решения направлены на повышение экологической безопасности, снижение рисков для здоровья и оптимизацию ресурсов в сфере здравоохранения.

Ключевые слова: медицинские отходы, технология IoT, классы отходов, интеллектуальная система, ER-модель.

A. Abduvalova[1], S. Akhmetzhanova[2], Z. Oralbekova[2], T. Eshmakhanova[1], A. Shymyrbek[3]
[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[2]Astana IT University, Astana, Kazakhstan
[3]School-Gymnasium №91, Astana

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL APPROACHES AND TOOLS FOR THE MANAGEMENT OF MEDICAL WASTE USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES

Abstract

The article discusses the issues of developing methodological foundations and mechanisms for collecting, structuring and analyzing data for medical waste management. This article discusses the use of Internet of Things (IoT) technologies to optimize the collection, transportation, and disposal of medical waste. Methods of modeling business processes using intelligent sensors are proposed. The methods of designing databases that ensure reliable storage, systematization and analysis of information on the types, volumes and routes of movement of medical waste are described. The developed model makes it possible to increase the efficiency of waste management, minimize environmental risks and reduce logistics costs. The authors offer recommendations for improving waste management based on digital technologies. The proposed solutions are aimed at improving environmental safety, reducing health risks and optimizing resources in the healthcare sector.

Keywords: medical waste, IoT technology, waste classes, intelligent system, ER-model.

Кіріспе

Медициналық қалдықтарды басқару мәселесі, денсаулық сақтау, қоршаған ортаны қорғау және қоғамдық денсаулықты қамтамасыз ету саласындағы ең өткір мәселелердің бірі болып табылады. Медициналық қалдықтардың өсіп келе жатқан көлеміне және олардың жоғары қауіптілігіне байланысты оларды жинауды, сақтауды, тасымалдауды және кәдеге жаратуды тиімді басқарудың маңыздылығын асыра бағалау мүмкін емес. Қалдықтарды дұрыс пайдаланбауға байланысты тәуекелдерді азайту үшін кәдеге жарату процестерін бақылауды ғана емес, оларды оңтайландыруды да қамтамасыз ететін заманауи технологияларды енгізу қажет. Атап айтқанда, деректерді талдау және визуализация әдістерін қолдану медициналық қалдықтарға қатысты, барлық кезеңдерінің ашықтығын, тиімділігі мен қауіпсіздігін арттырудың жаңа мүмкіндіктерін ұсынады. Медициналық қалдықтарды талдау барысында, Жамбыл облысы бойынша санитариялық-эпидемиологиялық бақылау департаментінің бақылауында 531 медициналық мекемелер бар, оның ішінде 120 кг/ сағ. және одан жоғары қалдықтарды жоюмен айналысатын 2 жеке кәсіпкер («Санит МиБ», «Тараз Дезинфекция» ЖШС) бар Жоғары эпидемиологиялық маңызды нысандарға кірмейтін 60 субъект бар, оның ішінде 120 кг/сағ төмен қалдықтарды жоюмен айналысатын 2 субъект бар, олар «АКЛЕРГРУППЮГ» ЖШС-і, "Эко РБК" ЖШС-і.

ҚР Экология, геология және табиғи ресурстар министрлігінің қоршаған ортаны қорғаудың бірыңғай ақпараттық жүйесі [1] деректері бойынша барлық сыныптар бойынша медициналық қалдықтар санының өсуі байқалады. Медициналық қалдықтар сыныптарға бөлінеді [2]:

-А класы - құрамы бойынша қатты тұрмыстық қалдықтарға (бұдан әрі – ҚТҚ) жақын эпидемиологиялық қауіпсіз қалдықтар;

- Б класы-эпидемиологиялық қауіпті қалдықтар.
- В класы-өте эпидемиологиялық қауіпті қалдықтар.
- Г класы-қауіптіліктің 1-4 класындағы токсикологиялық қауіпті қалдықтар.
- D класы-радиоактивті қалдықтар.

Медициналық қалдықтардың көп бөлігі А, Б, В класымен ұсынылған санитарлық нормаларға сәйкес оларды экологиялық талаптарды сақтай отырып, жаңа буын пештерінде жағу (инсинерация) арқылы кәдеге жарату қарастырылған. Мақалада деректер базасын жобалау кезінде заттар интернеті (IoT) технологияларын қолданып, медициналық қалдықтарды дәстүрлі басқарудан, интеллектуальды жүйесін қолдану арқылы басқаруды жүзеге асырады.

Зерттеу әдіснамасы

Жамбыл өңірінде медициналық қызмет шеңберінде негізінен А, Б және В кластары ұсынған медициналық қалдықтарды генерациялау басым. Қалдықтардың осы 373 түрі үшін көзделген санитарлық нормаларға сәйкес оларды кәдеге жарату қазіргі заманғы пештерде инсинерация процесін қолдану арқылы жүзеге асырылады, бұл экологиялық стандарттарды қатаң сақтаумен қатар жүреді. Жамбыл облысы бойынша 2019-2024 жылдардағы қауіптілік сыныптары бойынша медициналық қалдықтардың жиынтық көлемі 1-кестеде келтірілген.

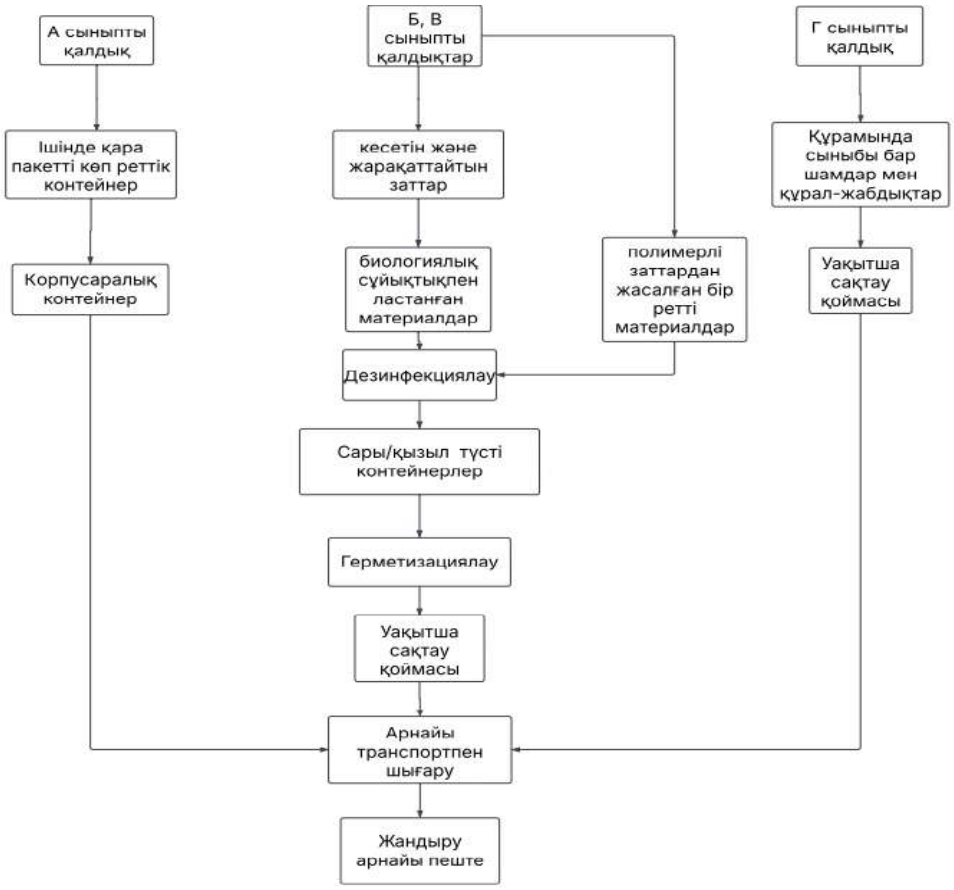
Кесте 1. 2019-2024 (1 жарты жылдық) жылдарға арналған қауіптілік сыныптары бойынша медициналық қалдықтардың жиынтық көлемі

Жылдар	*"А" класы (тонна, кг)*	*"Б" класы (тонна, кг)*	*"В" класы (тонна, кг)*	*"Г" класы (шамдар)*	*"Г" класы (термометрлер)*
2019	*150 т 0.61 кг*	*55 т 610 кг*	*5 т 49 кг*	*353*	*341*
2020	*192 т 50 кг*	*72 т 611 кг*	*37 т 7 кг*	*398*	*27*
2021	*230 т 120 кг*	*107 т 485 кг*	*63 т 668 кг*	*482*	*175*
2022	*301 т 89 кг*	*92 т 59 кг*	*37 т 108 кг*	*273*	*356*
2023	*355 т 221 кг*	*84 т 485 кг*	*26 т 81 кг*	*413*	*180*
2024 (1 жарты жылдық)	*181 т 150 кг*	*45 т 230 кг*	*11 т 160 кг*	*255*	*136*

Жоғарыда аталған лицензияланған ұйымдардың негізгі міндеттері медициналық қалдықтарды олардың көздерінен кәдеге жарату орындарына дейін тасымалдау болып табылады. Медициналық қалдықтарды шығару сәтіне дейін бөлу, сақтау және таңбалау медициналық мекемелердің жауапкершілігіне түсу сызбасы 1-ші суретте көрсетілген.

Бұл кезеңдер медициналық қалдықтарды басқарудың кешенді жүйесінің бөлігі болып табылады, бұл қалдықтардың осы санатын жоюдың тиімді және стандарттарға сәйкес процесін қамтамасыз етеді. Қазіргі уақытта Жамбыл облысында да, Қазақстанның қалған өңірлерінде де медициналық қалдықтарды шығару және кәдеге жарату процестерін есепке алу және мониторингілеу жүйесі бірқатар күрделі проблемаларға тап болып отыр. Қоршаған ортаны қорғау жөніндегі уәкілетті органдарға жыл сайын ақпарат енгізу бойынша медициналық қалдықтардың меншік иелеріне қойылатын талаптарды регламенттейтін нормативтік қағидаларды әзірлеуге қарамастан, бірқатар өңірлерде медициналық қалдықтарды тиісінше пайдаланбау, оның ішінде оларды өртеу немесе осы үшін арналмаған орындарға төгу проблемасы әлі де сақталуда. Қазақстанда медициналық қалдықтарды басқару проблемасы тиісінше кәдеге жарату фактілерімен күрделене түседі, бұл осы саладағы бақылауды қатаңдату қажеттігін көрсетеді. Мұндай мәселені шешуге арналған зерттеулер Заттар интернеті мен жасанды интеллект әдістерін қолдана отырып, озық инновациялық технологияларды енгізуді ұсынады. Медициналық қалдықтарды басқару процестерін бақылау мен оңтайландырудың тиімді әдістерін әзірлеудің өзектілігі айқын. Үлкен деректерді талдау, жасанды интеллект, Заттар интернеті (IoT) және деректерді визуализация сияқты заманауи технологиялар қалдықтардың күйін нақты уақыт режимінде бақылауға, олардың көлемін болжауға және оларды тасымалдау мен кәдеге жарату логистикасын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бұл

адам денсаулығы мен қоршаған ортаға қауіп-қатерді азайтып қана қоймайды, сонымен қатар ресурстарды ұтымды пайдалануға, кәдеге жарату шығындарын азайтуға және қалдықтарды өңдеудің барлық кезеңдерінде қауіпсіздік деңгейін жақсартуға ықпал етеді.



Сурет 1. Медициналық қалдықтарды жинау және жою сызбасы

Қалдықтарды басқару технологиялары мен әдістемелеріндегі елеулі жетістіктерге қарамастан, IoT, жасанды интеллект және машиналық оқыту сияқты интеллектуалды жүйелерді осы процестерге біріктіру әлі де дамып келеді.

Осы зерттеудің мақсаттарына қол жеткізу үшін қалдықтарды басқару жүйелері бойынша қазіргі әдебиеттерге жан-жақты шолу жүргізілді, АҚШ, Германия, Жапония, Австралия, Сингапур, Ұлыбритания, Малайзия, Корея сияқты бірқатар дамыған елдерде медициналық қалдықтарды басқару саласында интеллектуальды жүйелер мен заманауи технологиялар: RFID, GPS қадағалау қадағалау, қалдықтарды энергияға қайта өңдеу технологиясы, роботты сұрыптау қолданылады.

Ғылыми әдебиеттерде медициналық қалдықтарды басқарудың интеллектуалды технологиялары тақырыбы индекстелген журналдар мен конференциялар жинақтарында жеткілікті мақалалармен ұсынылған. Көптеген жұмыстар қалдықтарды кәдеге жарату мәселелерін және осы мәселелерді шешу үшін қалдықтарды басқаруға интернет заттарын (IoT), жасанды интеллект пен машиналық оқытуды біріктіру перспективаларын талқылауға арналған

Келесі зерттеулерде медициналық қалдықтарды бақылаудың тиімділігі мен дәлдігін арттыру мақсатында IoT және кеңейтілген жасанды интеллект негізіндегі интеграцияланған жүйені енгізу перспективаларын қарастырады [3-5]. Бұл технологияларға контейнерлердің толықтығын бақылау жүйелері, қалдықтарды басқаруды нақты уақыт режимінде оңтайландыру, сондай-ақ Radio-Frequency Identification (RFID) және смарт келісімшарттар

түріндегі инновациялар кіреді. Мысалы, келесі зерттеуде [4, 6] адамдардың өзара әрекеттесуін азайта отырып, биомедициналық қалдықтар туралы деректерді жинау және биомедициналық қалдықтар туралы деректерді өңдеу үшін мемлекеттік орталықтандырылған жүйені құру үшін RFID технологиясын қолдануды ұсынады. Медициналық қалдықтарды жинау, сақтау, тасымалдау және кәдеге жарату процесінің үш деңгейлі мониторинг жүйесін пайдалану ұсынылады [4]. Бұл құрылымға аурухана деңгейі, қала деңгейіндегі бақылау және аудандық бақылау кіреді. Бұл тәсіл мемлекеттік қалдықтар туралы мәліметтер қоймаларымен интеграциялау үшін келесі деңгейдегі зерттеулерде жалғасуы мүмкін.

Зерттеу жұмыстарда биомедициналық қалдықтарды ақылды өңдеу және жіктеу үшін машиналық оқыту үлгілері мен нейрондық желілерді пайдалану жұмыста қарастырылады [5, 7]. Бұл зерттеу медициналық қалдықтарды кәдеге жарату мен өңдеуді оңтайландырудағы интеллектуалды алгоритмдердің рөлін көрсетеді. Қол жетімді ақпараттың көптігіне қарамастан, медициналық қалдықтарды басқарудың интеллектуалды жүйелерін практикалық әзірлеуге және енгізуге қатысты зерттеулерде айтарлықтай алшақтық бар. Ғылыми әдебиеттер теориялық негіздер мен әлеуетті артықшылықтарға назар аударады, бірақ бұл жүйелердің нақты қолданылуы мен тиімділігі туралы эмпирикалық дәлелдер жоқ. Сонымен қатар, осы зерттеулердегі шешімдер медициналық қалдықтардың ерекшеліктерін ескермей, жалпы қалдықтарды басқарудың муниципалды ішкі жүйелері болып табылады.

Зерттеу нәтижелері

Медициналық қалдықтарды дәстүрлі есепке алудың негізі деректерді қолмен өңдеу әдістері болып табылады, олар қағаз тасымалдағыштарды және ақпаратты бекіту үшін стандартты пішіндерді пайдалануды қамтиды. Мұндай әдістер қалдықтардың көлемін, олардың түрін, пайда болу орнын, сақтау әдісін, тасымалдау бағытын және кәдеге жарату әдісін тіркеуге мүмкіндік береді [8].

Есепке алудың негізгі элементтерінің бірі медициналық қалдықтарды тіркеу журналы болып табылады, оған қалдықтардың пайда болуы мен қозғалысы туралы деректер енгізіледі. Бұл журнал келесі параметрлерді қамтиды:

- Қалдықтарды тіркеу күні мен уақыты.
- Қалдықтардың көзі (мысалы, аурухана бөлімі).
- Қалдықтар санаты (А, Б, В, Г, Д кластары).
- Қалдықтардың көлемі.
- Бұдан әрі өңдеу тәсілдері туралы ақпарат (кәдеге жарату, қайта өңдеу).

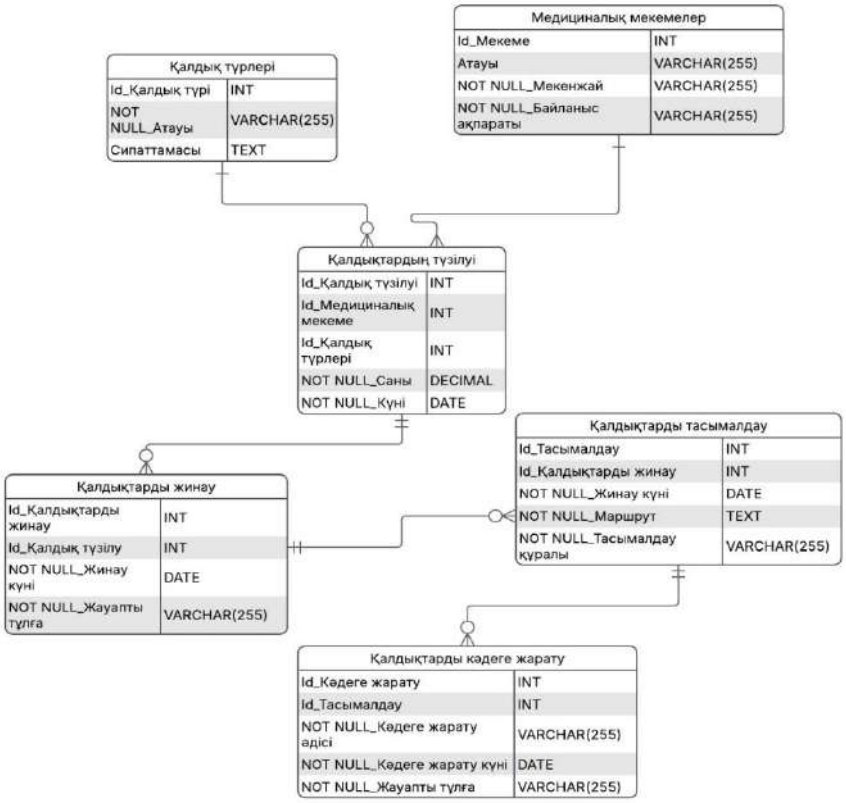
Мұндай жазбалар медициналық қалдықтарды пайда болған сәттен бастап түпкілікті жоюға дейінгі барлық кезеңдерде өңдеу процесін бақылауға мүмкіндік береді. Медициналық қалдықтарды есепке алу мен тіркеудің дәстүрлі әдістері қалдықтарды басқару жүйесінің маңызды элементі болып табылады. Олар қалдықтардың пайда болуына, сақталуына, тасымалдануына және кәдеге жаратылуына негізгі бақылауды қамтамасыз етеді, бұл денсаулық пен қоршаған ортаға қауіп-қатерді азайтуға мүмкіндік береді. Дегенмен, заманауи технологиялардың дамуы дәстүрлі әдістердің кемшіліктерін жоюға және олардың тиімділігін арттыруға қабілетті цифрлық шешімдерге көшуді талап етеді.

Дискуссия

Медициналық қалдықтарды есепке алу үшін дерекқорды жобалау денсаулық сақтау саласындағы қалдықтарды басқару жүйесін басқарудағы маңызды кезең болып табылады. Бұл дерекқор медициналық қалдықтар туралы ақпаратты олардың өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде: түзілуден бастап кәдеге жаратуға дейін тиімді сақтауды, өңдеуді және талдауды қамтамасыз етіледі. Мақаланың осы бөлімінде мәліметтер базасының құрылымын, негізгі параметрлер мен қатынастарды қарастырамыз және логикалық және физикалық құрылымға баса назар аудара отырып, деректерді модельдеуді жүргіземіз [9].

Мәліметтер базасының құрылымы: негізгі параметрлер және қатынастар.

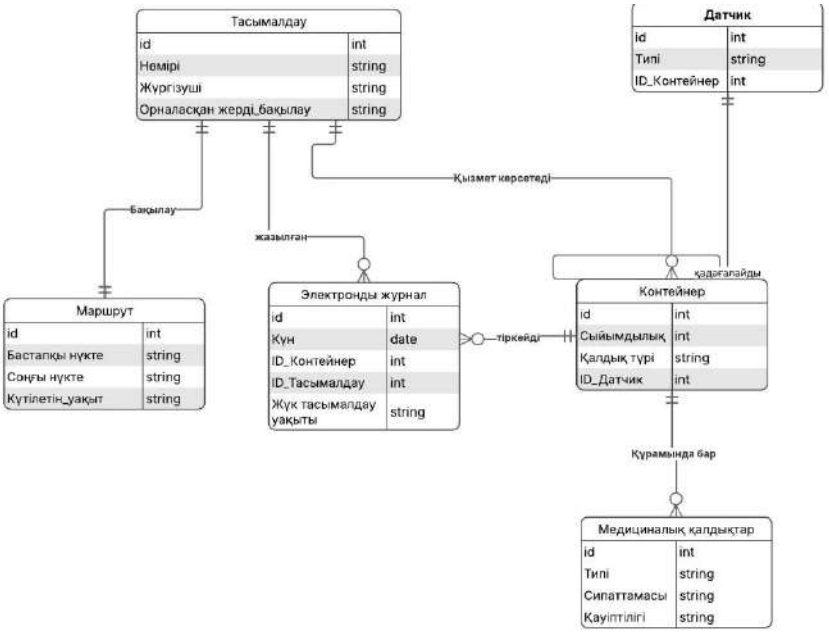
Доменнің семантикалық моделін жасайық. Деректер базасының құрылымы медициналық қалдықтар туралы деректерді тиімді басқаруды қамтамасыз ететін етіп ұйымдастырылуы керек. Деректер базасы құрылымының негізгі элементтері кестелер, өрістер және олардың ER моделіндегі өзара байланыстары болып табылады [10-11]. ER моделі субъект, атрибут және байланыс сияқты ұғымдарға негізделген, ал домен олардың атрибуттары мен олардың арасында орнатылған байланыстары бар субъектілер жиынтығы ретінде көрінеді. Дәстүрлі түрде медициналық қалдықтарды жинау мен утилизациялаудың ER- моделі 2-ші суретте көрсетілген. Қазіргі уақытта ER диаграммаларын визуализациялау үшін бірнеше белгілер бар. Мартин белгісі бойынша нысан тіктөртбұрыш түрінде көрсетіледі, оның ішінде оның атауы қалың қаріппен жазылады және атрибуттар тізімделеді.



Сурет 2. ER- модель

Осы модельге сәйкес, дәстүрлі әдістер тиімділігі төмен, қол еңбегін қажет етеді және адам қателіктеріне бейім екендігі анықталып отыр. Сонымен қатар, нормативтердің бұзылуына ықпал етуі мүмкін болатын, бақылау мен ашықтықтың болмауы, кешіктіруге, контейнерлердің толып кетуіне және шығындардың өсуіне әкелетін маршруттар мен кестелердің тиімсіздігі, ақпарат пен кері байланыстың болмауы және медициналық қалдықтарды дұрыс пайдаланбау салдарынан денсаулыққа және қоршаған ортаға теріс әсер етуі орын алады.

Медициналық қалдықтарды шығару және кәдеге жарату мониторингінің интеллектуальды жүйесін әзірлеу және енгізу медициналық қалдықтарды басқару саласындағы инновациялық шешімді білдіреді және жоғарыда көрсетілген проблемаларды шешуге мүмкіндік береді. Оның негізгі мақсаты – медициналық қалдықтарды медициналық мекемелердегі шығарындылардан бастап түпкілікті жоюға дейінгі бүкіл кәдеге жарату процесін бақылауға және оңтайландыруға арналған интеллектуалды, интеграцияланған және кешенді жүйені енгізу болып табылады және 3-ші суретте логикалық моделі келтірілген.



Сурет 3. Деректер қорын жобалау

Осы 3-ші суретке сәйкес, медициналық қалдықтарды жинаудың негізгі цифрлық шешімдері:

1. Бухгалтерлік есеп және есеп беру бағдарламалық жасақтамасы. Заманауи бағдарламалық платформалар Денсаулық сақтау кәсіпорындарына медициналық қалдықтарды есепке алу процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелердің функцияналдық мүмкіндіктері:

- электрондық есепке алу журналдарын құру;
- мемлекеттік органдар үшін есептер шығару;
- қалдықтардың көлемін талдау және болжау үшін мәліметтер базасымен интеграциялау.

2. GPS навигациясы және көлік мониторингі жүйелері. Медициналық қалдықтарды тасымалдау қатаң бақылауды қажет ететін маңызды кезең болып табылады. Сандық GPS навигациялық жүйелері маршруттардың ашықтығын қамтамасыз ететін және қалдықтардың заңсыз көмілуіне жол бермейтін арнайы көлік құралдарының қозғалысын нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді.

Негізгі мүмкіндіктер:

- көліктің орналасқан жерін бақылау;
- маршруттар мен тасымалдау уақытының сақталуын бақылау;
- тасымалдауды құжаттау үшін есепке алу жүйелерімен интеграциялау.

3. Қалдықтарды басқарудағы Заттар интернеті (IoT). IoT-бұл интернет арқылы бір-бірімен байланысатын құрылғылар желісі. Медициналық қалдықтарды жинау жүйесінде IoT контейнерлерді басқару процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді [12].

Функционалдық мүмкіндіктері:

- толтыру сенсорлары бар ақылды контейнерлер;
- толықтығы туралы деректерді деректер қорына беру.

Қалдықтарды шығару қажеттілігі туралы хабарламалар.

Қорытынды

Медициналық қалдықтарды басқару үшін деректерді жинау және талдауға арналған әдістемелік тәсілдер мен құралдарды әзірлеу жүйесін әзірлеу және енгізу медициналық қалдықтарды басқаруды реттейтін қолданыстағы нормативтік-құқықтық актілердің қатаң сақталуын қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар қалдықтарды кәдеге жарату

процесінің жалпы тиімділігін, ашықтығын және тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Заттар интернетін (IoT), жасанды интеллектті (ЖИ) пайдалана отырып, медициналық қалдықтарды жинау мен кәдеге жаратудың жүйесін әзірлеу мен енгізудің мүмкіндіктері мен перспективаларын талдау негізінде Қазақстанда медициналық қалдықтарды басқару тәсілін түбегейлі өзгерте алатын, сайып келгенде, қоғамдық қалдықтар саласындағы үздік экологиялық тұрақтылыққа ықпал ететін жаңа әдіснамалар ұсынылады. Медициналық қалдықтарды басқаруда IoT технологияларын қолдану негізгі процестерді автоматтандыруға және олардың тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Алғыс

Бұл жұмыс AP23489484 «Жамбыл өңірінде медициналық қалдықтарды шығару және утилизация мониторингінің интеллектуалды жүйесін әзірлеу» гранттық қаржыландыруға арналған ғылыми жоба шеңберінде орындалды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 11 августа 2020 года № ҚР ДСМ-96/2020 «Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к объектам здравоохранения» (с изменениями по состоянию на 22.04.2023 г.)

[2] Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 30 ноября 2020 года № ҚР ДСМ-219/2020 «Об утверждении правил предоставления информации по медицинским отходам»

[3] A. Ishaq, et al. Smart waste bin monitoring using IoT for sustainable biomedical waste management. Sustainable Waste Management using IoT and AI Technologies. (2023) https://doi.org/10.1007/s11356-023-30240-1

[4] A. Hussain, U. Draz, et al. Waste Management and Prediction of Air Pollutants Using IoT and Machine Learning Approach Energies 2020, 13(15), 3930; https://doi.org/10.3390/en13153930

[5] Raja Wasim Ahmad, Khaled Salah, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, Mohammed Omar, And Samer Ellahham. Blockchain-Based Forward Supply Chain and Waste Management for 377 COVID-19 Medical Equipment and Supplies. March 26, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3066503 3

[6] Wang, H., Zheng, L., Xue, Q., & Li, X. (2022). Research on Medical Waste Supervision Model and Implementation Method Based on Blockchain. Security and Communication Networks, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/5630960

[7] Ker, J., Wang, L., Rao, J. & Lim, T. Deep learning applications in medical image analysis. IEEE Access 6, 9375–9389. https://doi.org/10.1109/access.2017.2788044 (2018).

[8] A.Abduvalova, Sh.E. Akhmetzhanova, T.K. Eshmakhanova. «Overview of principles and methods of medical waste management and their application for database design» //Механика и технологии, Тараз,2024, С.479-485. https://doi.org/10.55956/DIAF2678

[9] Ш.Е. Ахметжанова, Ж.О. Оралбекова, А.Д.Абдувалова, Т.К. Ешманова, Г.Ж. Баймырзаева, А. Шымырбек «Возможности и перспективы внедрения интеллектуальной системы мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов в Жамбылском регионе» //Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции «Информатика и прикладная математика», посвященной 90-летию Казахского национального университета имени аль-Фараби. Алматы, 31.10 - 01.11.2024 г. г. Алматы, 2024.–С. 372-377. https://conf.iict.kz/wp-content/uploads/2024 /11/ collection_CSAM_IX_2024.pdf

[10] Коннолли, Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика / Т. Коннолли. - М.: Вильямс И.Д., 2017. - 1440 с.

[11] Лукин, В.Н. Введение в проектирование баз данных / В.Н. Лукин. - М.: Вузовская книга, 2015. - 144 с.

[12] Dr. Pooja Raundale et al, "IoT-based Biomedical Waste Classification, Quantification, and Management System", 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). https://doi.org/10.1109/ICCMC.2017.8282737

References

[1] Prikaz Ministra zdravoohranenija Respubliki Kazahstan ot 11 avgusta 2020 goda № ҚR DSM-96/2020 [Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated August 11, 2020] «Ob utverzhdenii Sanitarnyh pravil «Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k ob'ektam zdravoohranenija» (s izmenenijami po sostojaniju na 22.04.2023 g.) (In Russian)

[2] Prikaz Ministra zdravoohranenija Respubliki Kazahstan ot 30 nojabrja 2020 goda № KR DSM-219/2020 [Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated November 30, 2020] «Ob utverzhdenii pravil predostavlenija informacii po medicinskim othodam» (In Russian)

[3] A. Ishaq, et al. Smart waste bin monitoring using IoT for sustainable biomedical waste management. Sustainable Waste Management using IoT and AI Technologies. (2023) https://doi.org/10.1007/s11356-023-30240-1

[4] A. Hussain, U. Draz, et al. Waste Management and Prediction of Air Pollutants Using IoT and Machine Learning Approach Energies 2020, 13(15), 3930; https://doi.org/10.3390/en13153930

[5] Raja Wasim Ahmad, Khaled Salah, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, Mohammed Omar, And Samer Ellahham. Blockchain-Based Forward Supply Chain and Waste Management for 377 COVID-19 Medical Equipment and Supplies. March 26, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3066503 3

[6] Wang, H., Zheng, L., Xue, Q., & Li, X. (2022). Research on Medical Waste Supervision Model and Implementation Method Based on Blockchain. Security and Communication Networks, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/5630960

[7] Ker, J., Wang, L., Rao, J. & Lim, T. Deep learning applications in medical image analysis. IEEE Access 6, 9375–9389. https://doi.org/10.1109/access.2017.2788044 (2018).

[8] A.Abduvalova, Sh.E. Akhmetzhanova, T.K. Eshmakhanova. «Overview of principles and methods of medical waste management and their application for database design» //Mehanika i tehnologii, Taraz,2024, S.479-485. https://doi.org/10.55956/DIAF2678

[9] Sh.E. Ahmetzhanova, Zh.O. Oralbekova, A.D.Abduvalova, T.K. Eshmahanova, G.Zh. Bajmyrzaeva, A. Shymyrbek (2024) «Vozmozhnosti i perspektivy vnedrenija intellektual'noj sistemy monitoringa vyvoza i utilizacii medicinskih othodov v Zhambylskom regione» ["Possibilities and Prospects for the Implementation of an Intelligent Monitoring System for the Removal and Disposal of Medical Waste in the Zhambyl Region"]. Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Informatika i prikladnaja matematika», posvjashhennoj 90-letiju Kazahskogo nacional'nogo universiteta imeni al'-Farabi. Almaty, 31.10 - 01.11.2024. Almaty, 372-377. https://conf.iict.kz/wp-content/uploads/2024 /11/ collection_CSAM_IX_2024.pdf (In Russian)

[10] Konnolli, T. (2017) Bazy dannyh. Proektirovanie, realizacija i soprovozhdenie. Teorija i praktika [Databases. Design, Implementation, and Maintenance. Theory and Practice] T. Konnolli. M.: Vil'jams I.D., 1440. (In Russian)

[11] Lukin, V.N. (2015) Vvedenie v proektirovanie baz dannyh [Introduction to Database Design]. V.N. Lukin. M.: Vuzovskaja kniga, 144. (In Russian)

[12] Dr. Pooja Raundale et al, (2017) "IoT-based Biomedical Waste Classification, Quantification, and Management System", International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). https://doi.org/10.1109/ICCMC.2017.8282737

ҒТАХР 27.41.15

10.51889/2959-5894.2025.91.3.015

С.Г. Алиева[1*], А.К. Альжанов[1], С.А. Жамалова[2]. Ж.Л. Мырзаева[2].

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
[2]Астана халықаралық университеті Астана, Қазақстан
[*]*e-mail: gulim_alieva@bk.ru*

ОНТОЛОГИЯДАҒЫ ПӘНДІК БІЛІМНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ

Аңдатпа

Бұл мақалада Бұл мақалада информатика саласындағы алгоритмдік білімді формалды түрде көрсету және оны онтология түрінде модельдеу мәселесі қарастырылады. Зерттеудің негізгі мақсаты – алгоритмдерді құрылымдық түрде сипаттап, оларды ақпараттық жүйелерде, жасанды интеллект саласында және білім беру процесінде қолдануға бейімдеу. Зерттеу барысында әдіснамалық негіз ретінде онтологияларды жобалауда кеңінен танылған Protégé бағдарламасы және OWL (Web Ontology Language) тілі пайдаланылды. Онтологияны құру кезінде «Algorithm» негізгі класы алынып, оның ішкі кластар жүйесі анықталды: SortingAlgorithm, SearchingAlgorithm, GraphAlgorithm, OptimizationAlgorithm, CryptographicAlgorithm және MachineLearningAlgorithm. Сонымен қатар, hasComplexity, hasDataStructure, hasApplication, usesAlgorithmType, hasStep сияқты объектілік қасиеттер және hasName, hasTimeComplexity, hasSpaceComplexity, hasAuthor, hasYearIntroduced секілді мәліметтік қасиеттер енгізілді. Бұл қасиеттер алгоритмдердің тиімділігін, қолдану саласын және тарихи контекстін формалды түрде сипаттауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері алгоритмдік білімді онтология негізінде жүйелеу олардың автоматты түрде өңделуін қамтамасыз ететінін көрсетті. Мұндай тәсіл оқу процесінде алгоритмдерді меңгеруді жеңілдетіп қана қоймай, сонымен қатар жасанды интеллект жүйелерінде, семантикалық вебте және интеллектуалды ақпараттық жүйелерде қолданудың тиімділігін арттырады. Осылайша, ұсынылған онтология информатикадағы білімді формалды сипаттау мен автоматтандырудың жаңа деңгейін көрсетіп, әрі қарай кеңейтуге және нақты пәндік салаларға бейімдеуге негіз қалайды.

Түйін сөздер: онтология, алгоритм, Protégé, OWL, білімді құрылымдау, формализация, ақпараттық жүйе, жасанды интеллект.

С.Г. Алиева[1], А.К. Альжанов[1], С.А. Жамалова[2], Ж.Л. Мырзаева[2]
[1] Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
[2] Международный университет Астаны, г. Астана, Казахстан

СТРУКТУРА ПРЕДМЕТНЫХ ЗНАНИЙ В ОНТОЛОГИИ

Аннотация

В статье рассматривается проблема формального представления алгоритмических знаний в области информатики посредством моделирования алгоритмов в форме онтологии. Основная цель исследования заключается в структурировании алгоритмических понятий и их адаптации для использования в информационных системах, в приложениях искусственного интеллекта и в образовательном процессе. В качестве методологической основы были использованы редактор онтологий Protégé и язык OWL (Web Ontology Language). При построении онтологии в качестве базового был выбран класс «Algorithm», для которого выделены подклассы: SortingAlgorithm, SearchingAlgorithm, GraphAlgorithm, OptimizationAlgorithm, CryptographicAlgorithm и MachineLearningAlgorithm. Определены объектные свойства (hasComplexity, hasDataStructure, hasApplication, usesAlgorithmType, hasStep) и датированные свойства (hasName, hasTimeComplexity, hasSpaceComplexity, hasAuthor, hasYearIntroduced). Эти свойства позволяют формально описывать эффективность алгоритмов, области их применения и исторический контекст. Результаты исследования показали, что структурирование алгоритмических знаний на основе онтологии обеспечивает их автоматизированную обработку и повышает эффективность использования в учебном процессе, в системах искусственного интеллекта, в технологиях семантической паутины и в интеллектуальных информационных системах. Разработанная онтология демонстрирует новый

уровень формального представления знаний в информатике и может служить основой для дальнейшего расширения и интеграции в прикладные области.

Ключевые слова: алгоритм, онтология, формализация знаний, Protégé, OWL, семантическая паутина, искусственный интеллект.

S.G. Aliyeva[1], A.K. Alzhanov[1], S.A. Zhamalova[2], Zh.L. Myrzayeva[2]
[1] L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[2] Astana International University, Astana, Kazakhstan

THE STRUCTURE OF DOMAIN KNOWLEDGE IN ONTOLOGY

Abstract

This article addresses the issue of formally representing algorithmic knowledge in computer science through the modeling of algorithms in the form of ontology. The main goal of the study is to structure algorithmic concepts and adapt them for use in information systems, artificial intelligence, and the educational process. The methodological framework relies on the widely recognized Protégé ontology editor and the OWL (Web Ontology Language). In constructing the ontology, the “Algorithm” class was chosen as the core, with subclasses identified as SortingAlgorithm, SearchingAlgorithm, GraphAlgorithm, OptimizationAlgorithm, CryptographicAlgorithm, and MachineLearningAlgorithm. Object properties such as hasComplexity, hasDataStructure, hasApplication, usesAlgorithmType, and hasStep, as well as data properties including hasName, hasTimeComplexity, hasSpaceComplexity, hasAuthor, and hasYearIntroduced were defined. These properties make it possible to describe algorithms in terms of efficiency, application domains, and historical context in a formalized manner. The results demonstrated that structuring algorithmic knowledge within an ontology not only enables automated processing but also improves its practical application in education, artificial intelligence, semantic web technologies, and intelligent information systems. The developed ontology provides a new level of formal knowledge representation in informatics and serves as a foundation for further expansion and adaptation to specific applied domains.

Keywords: algorithm, ontology, knowledge formalization, Protégé, OWL, semantic web, artificial intelligence.

Кіріспе

Қазіргі ақпараттық қоғамда білім мен деректер көлемі қарқынды өсіп келеді. Бұл жағдай оларды жүйелеу, құрылымдау және өңдеу тәсілдерін жетілдіруді талап етеді. Информатика саласында білімді ұсыну мен модельдеу мәселесі ерекше маңызға ие, себебі кез келген есепті тиімді шешу үшін ұғымдарды формалды сипаттау қажет. R. Studer, V. R. Benjamins және D. Fensel [1] білім инженериясының негізгі қағидаларын талдап, білімді құрылымдаудың теориялық негізін көрсеткен. Ал, T.R.Gruber [2] онтологияны «тасымалданатын білім сипаттамасының формалды спецификациясы»- деп анықтап, оны білімді ұсынудың әмбебап тәсілі ретінде қарастырады.

Онтология – ұғымдар жиынтығы мен олардың арасындағы қатынастарды сипаттайтын формалды модель. N. F. Noy мен D. L. McGuinness [3] онтология жасаудың алғашқы қадамдары мен әдістемесін ұсынса, N. Samaridi, E. Papakitsos және N. Karanikolas [4] онтологияны интеллектуалды жүйелерде білімді модельдеудің тиімді құралы ретінде сипаттайды. Сонымен қатар, C. Feilmayr және W. Wöß [5] онтология құруда қолданылатын құралдар мен әдістерді жіктеп, олардың артықшылықтары мен шектеулерін айқындаған. Қазіргі таңда кеңінен қолданылатын құралдардың бірі – Стэнфорд университеті әзірлеген Protégé редакторы. Бұл бағдарлама OWL (Web Ontology Language) тіліне негізделіп, визуалды түрде класстарды, қасиеттерді және индивидтерді құруға мүмкіндік береді [6]. Соңғы жылдары жасанды интеллект саласында онтологиялық модельдерді терең нейрондық желілермен біріктіру мәселесі де қарастырылып келеді. P. Hohenecker және T. Lukasiewicz [7] онтология негізіндегі пайымдауды нейрондық желілер көмегімен жүзеге асырудың мүмкіндіктерін көрсетіп, білімді өңдеудің жаңа тәсілдерін ұсынды. Бұдан бөлек, R. S. Kurmangali [8] семантикалық веб пен онтология интеграциясын қарастырып, олардың заманауи ақпараттық жүйелерде қолданылу жолдарын айқындаған.

Алгоритмдер информатикадағы негізгі ұғымдардың бірі болып табылады. Олар есептерді шешуге арналған қадамдық нұсқаулар жүйесін сипаттайды. Gao,W., Chen,Y [9] онтологияларды жобалаудағы алгоритмдік тәсілдерді талдап, олардың теориялық негізін ашқан. T. C. Jepsen [10] онтология негізінде білімді модельдеу мүмкіндіктерін қарастырса, Oliveira, de Rodrigues C. M., және басқалар [11] онтологияны білім беру жүйесіне енгізудің жолдарын сипаттап, практикалық қолдану салаларын айқындаған. Бұл зерттеулер алгоритмдерге арналған онтология құрудың ғылыми әрі практикалық тұрғыдан өзектілігін дәлелдейді.

Осыған байланысты зерттеу жұмысының мақсаты – алгоритмдік білімді онтология түрінде формализациялау және оны ақпараттық жүйелерде қолдануға бейімдеу болып табылады. Зерттеу болжамы – алгоритмдік білім онтология негізінде ұсынылған жағдайда, оны формалды түрде сипаттап, автоматты өңдеуге болады. Бұл білім беру жүйесінде де, жасанды интеллект саласында да тиімділікті арттырады.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу 2024–2025 жылдары информатика саласындағы алгоритмдік білімді формалды түрде құрылымдау мәселесін талдау негізінде жүргізілді. Жұмыс зертханалық жағдайда орындалып, онтологияны құруға арналған бағдарламалық құралдар қолданылды. Онтологияны жобалау кезеңдері N. F. Noy мен D. L. McGuinness ұсынған әдістемеге және C. Feilmayr мен W. Wöß сипаттаған құралдар кешеніне сүйене отырып жүзеге асырылды.Онтологияны құру үдерісінде ең алғашқы және маңызды кезеңдердің бірі – пәндік саланың тезаурусын әзірлеу болып табылады. Тезаурус – нақты бір ғылыми немесе қолданбалы саладағы ұғымдар мен терминдердің жүйеленген жиынтығы, олардың арасындағы семантикалық (мағыналық) байланыстармен бірге сипатталады. Кез келген пәндік салада жиі қолданылатын терминдер нақты бір түсінікті немесе құбылысты білдіреді. Алайда әртүрлі ғалымдар мен зерттеушілер бір ұғымды әртүрлі атаулармен атайды, ал кейбір терминдер бір сала ішінде бірнеше мағынаға ие болуы мүмкін. Мұндай көпмағыналылық пен терминологиялық әркелкілік онтология құруда біртұтас тілдік модельді қажет етеді. Бұл қажеттілік тезаурус арқылы шешіледі.

Тезаурустағы семантикалық қатынастар (мысалы: *«бөлігі болып табылады»*, *«түрі болып табылады»*, *«қолданады»*, *«себепші болады»* т.б.) ұғымдар арасындағы мағыналық байланыстарды дәл әрі құрылымдық түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Бұл онтологияның дәлдігін, қайта пайдалануға жарамдылығын және тұтастығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, тезаурус тек терминдер тізімі ғана емес, өз алдына білім базасы ретінде де қолданылуы мүмкін. Осыған орай информатика саласындағы негізгі ұғымдар жүйеленіп, олардың мағыналық байланыстары анықталды. Нәтижесінде тезаурус көпмағыналылықты қысқартып, біртұтас тілдік модельді қамтамасыз етті.

Онтология – білім беру немесе ақпараттық жүйелер саласындағы ұғымдарды, олардың қасиеттерін және өзара байланыстарын сипаттайтын формалды модель. Онтология негізінде нақты саладағы терминология мен ұғымдар жүйесі қалыптасады. Онтологиялар OWL (Web Ontology Language) тілі негізінде құрылып, RDF, RDFS және SPARQL секілді стандарттарды қолданады. Protégé бағдарламасы. Protégé – Стэнфорд университеті әзірлеген ашық кодты онтология редакторы. Ол OWL тілін қолдап, визуалды түрде класс, қасиет, индивидтерді құруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, плагиндер арқылы логикалық қорытындылар жасауға, графтар тұрғызуға және нәтижелерді экспорттауға болады. Protégé қазіргі таңда білімді жүйелеудің ең кеңінен танылған құралдарының бірі болып саналады.

Зерттеу барысында онтологияның негізгі ұғымы ретінде «Algorithm» класы алынды. Algorithm – кез келген алгоритмдік процедураны сипаттайтын жалпы түсінік. Ол нақты есептерді шешуге арналған қадамдық нұсқаулар жиынтығын бейнелейді және барлық нақты алгоритмдер осы кластың ішкі түрлері ретінде модельденді. Келесі кезеңде «Algorithm» класының ішкі кластар жүйесі жасалды.

1. SortingAlgorithm (Сұрыптау алгоритмдері). Деректерді белгілі бір тәртіпке келтіруге арналған алгоритмдер: BubbleSort, QuickSort, MergeSort, HeapSort. Бұл кластың қасиеттері: hasTimeComplexity, hasDataStructure, usesAlgorithmType.

2. SearchingAlgorithm (Іздеу алгоритмдері). Құрылымнан немесе массивтен нақты мәнді табуға арналған алгоритмдер: BinarySearch, LinearSearch, DepthFirstSearch, BreadthFirstSearch. Бұл класта деректер құрылымы (Tree, Graph, Array) негізгі рөл атқарады.

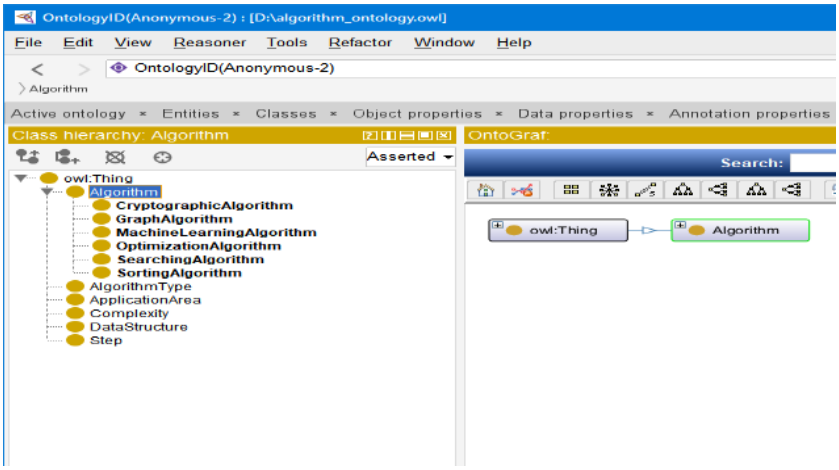
3. GraphAlgorithm (Графтық алгоритмдер). Граф құрылымында орындалатын операцияларға арналған алгоритмдер: DijkstraAlgorithm, PrimAlgorithm, KruskalAlgorithm, A*. Жол табу, байланыстылықты тексеру және т.б.

4. OptimizationAlgorithm (Оптимизация алгоритмдері). Мақсат функциясын ең төменгі немесе ең жоғары мәнге жеткізуге арналған алгоритмдер: GeneticAlgorithm, GradientDescent, SimulatedAnnealing.

5. CryptographicAlgorithm (Криптографиялық алгоритмдер). Мәліметтерді шифрлау, дешифрлау және қорғауға арналған алгоритмдер: RSA, AES, SHA256, DiffieHellman. Қасиеттеріне hasKeySize, isSymmetric, hasEncryptionType жатады.

6. MachineLearningAlgorithm (Машиналық оқыту алгоритмдері). Мәліметтерден үлгілерді үйренуге және болжауға бағытталған алгоритмдер: DecisionTree, RandomForest, KNN, SupportVectorMachine, NeuralNetwork. Бұл класс күрделі гиперпараметрлермен ерекшеленеді.

Осылайша, алты ішкі класс анықталып, олар белгілі бір есептерді шешуге бағытталған алгоритмдер тобын қамтиды (Сурет 1).



Сурет 1. Алгоритмдер онтологиясының негізгі кластар иерархиясы (Protégé ортасы)

Одан кейін онтологиядағы объектілік қасиеттер анықталды. hasComplexity, hasDataStructure, hasApplication, usesAlgorithmType және hasStep сияқты қасиеттер енгізіліп, алгоритмдер мен басқа ұғымдар арасындағы семантикалық байланыстар сипатталды.

1. hasComplexity (Күрделілігі бар). Бұл қасиет алгоритм мен оның уақыттық немесе кеңістік күрделілігі арасындағы байланысты сипаттайды (*Algorithm → Complexity*). Әр алгоритмнің тиімділігін анықтайтын негізгі көрсеткіш – күрделілік (complexity). Бұл қасиет арқылы O(n), O(n log n), O(1) сияқты нотациялармен берілетін уақыт/жад күрделілігі модельденеді. Мысалы: *MergeSort hasComplexity O(n log n)*.

2. Алгоритм қандай деректер құрылымымен жұмыс істейтінін сипаттайды (*Algorithm → DataStructure*). Кейбір алгоритмдер тиімді жұмыс істеу үшін арнайы деректер құрылымдарын қажет етеді (графтар, ағаштар, массивтер, стек).

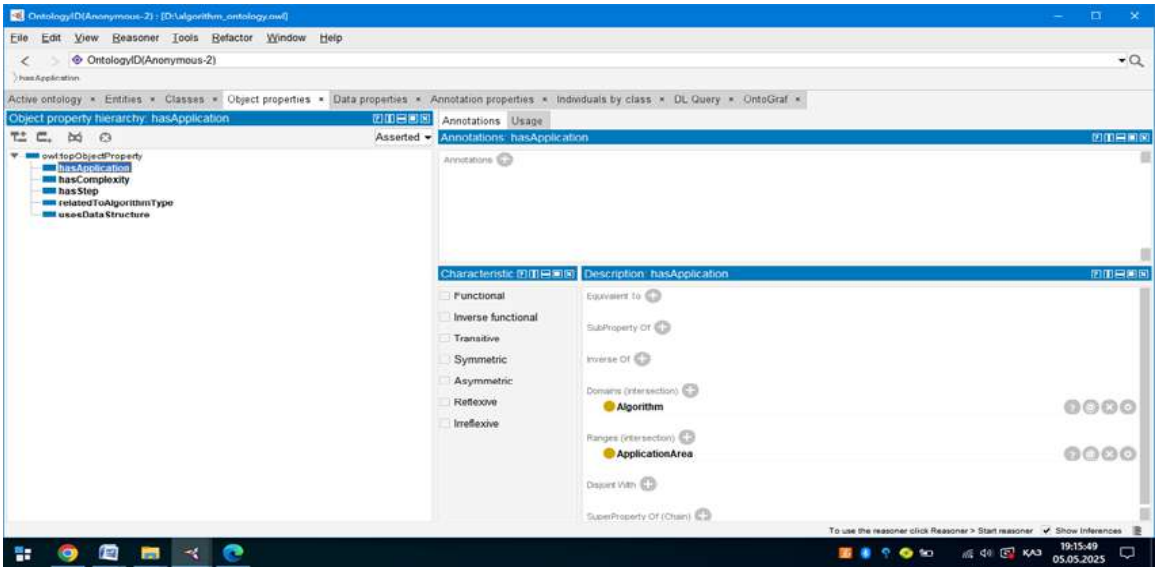
3. hasApplication (Қолдану саласы бар). Алгоритм нақты қандай есептерді немесе қолдану салаларын шешуге арналғанын сипаттайды (*Algorithm → ApplicationArea*). Бұл байланыс

алгоритмнің теориялық емес, нақты өмірлік қолданысын модельдейді (Сурет 2). Мысалы, деректерді сұрыптау, жол табу, шифрлау, медициналық диагностика.

4. usesAlgorithmType (Алгоритм түрін қолданады). Бұл қасиет алгоритмнің қандай стратегияға немесе парадигмаға жататынын көрсетеді (*Algorithm → AlgorithmType*). Алгоритмнің ішкі жұмыс механизмі мен логикалық құрылымына негізделген Divide and Conquer, Greedy, Dynamic Programming, Backtracking сияқты түрлерді модельдеуге мүмкіндік береді.

5. hasStep (Қадамдары бар). Бұл қасиет алгоритмнің орындалу процесіндегі жекелеген қадамдармен байланысын көрсетеді (*Algorithm → Step*). Күрделі алгоритмдерді формалды сипаттағанда оның әрбір қадамы жеке ұғым ретінде қарастырылып, білім жүйесін талдау мен визуализациялау үшін қолданылады.

Аталған объектілік қасиеттер алгоритм ұғымын онтологияда семантикалық тұрғыдан жан-жақты сипаттауға мүмкіндік береді. Олар арқылы кластар арасындағы мағыналық қатынастар көрнекі түрде көрсетіліп, жүйе формалды сұраныстарға (SPARQL) дайын болады. Мұндай байланыстарды формализациялау семантикалық вебтегі интеграциямен де үндеседі [10]. Бұл онтологияны білім беру жүйесінде, іздеу механизмдерінде және жасанды интеллект саласында қолдануға толық негіз қалайды (Сурет 2):



Сурет 2. hasApplication объектілік қасиетінің сипаттамасы

Сонымен бірге онтологияда мәліметтік қасиеттер (data properties) енгізілді. Олар алгоритмдердің мәтіндік және сандық сипаттамаларын айқындауға мүмкіндік берді: hasName, hasTimeComplexity, hasSpaceComplexity, hasAuthor және hasYearIntroduced.

1. hasName (Атауы бар). Алгоритмнің нақты атауын мәтін (string) түрінде көрсетеді (*Algorithm → string*). Әрбір алгоритмнің атауы міндетті түрде болуы тиіс, бұл қасиет арқылы алгоритмді басқа алгоритмдерден ажыратуға және сәйкестендіруге болады.

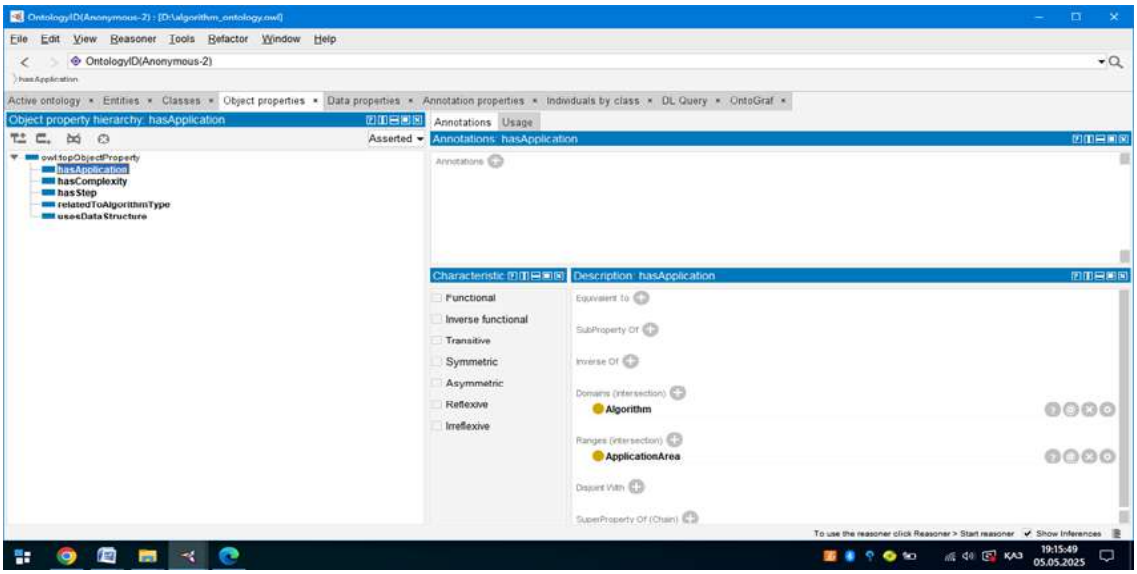
2. hasTimeComplexity (Уақыт күрделілігі бар). Алгоритмнің орындалу уақытына байланысты күрделілігін сипаттайды (*Algorithm → string*). Бұл көрсеткіш алгоритмнің тиімділігін бағалауда негізгі параметр болып табылады және теориялық немесе тәжірибелік талдауда жиі қолданылады.

3. hasSpaceComplexity (Жад күрделілігі бар). Алгоритмнің жұмыс істеуі үшін қажет болатын жад көлемін сипаттайды (*Algorithm → string*). Уақыт күрделілігімен қатар жадының тиімді пайдаланылуы да маңызды: кейбір алгоритмдер қосымша жадты қажет етпесе, басқалары үлкен көлемдегі жады қолданады.

4.hasAuthor (Авторы бар). Алгоритмді алғаш ұсынған немесе сипаттаған автордың есімін анықтайды (*Algorithm → string*). Бұл қасиет алгоритмнің ғылыми және тарихи маңызын ашып көрсетеді және оны академиялық тұрғыда сілтеме жасауға мүмкіндік береді.

5. hasYearIntroduced (Ұсынылған жылы бар**).** Алгоритм алғаш жарияланған немесе сипатталған жылды көрсетеді (*Algorithm → integer*, мысалы: 1960, 1978). Бұл мәлімет алгоритмнің даму тарихын қадағалауға және ғылыми хронологияны құруға мүмкіндік береді.

Аталған мәліметтік қасиеттер алгоритмді толық әрі дәл сипаттауға жағдай жасайды. Олар онтологияның семантикалық толықтығын арттырып, жүйені автоматты түрде сұрыптауға, іздеуге және өңдеуге ыңғайлы етеді. Сонымен қатар, бұл қасиеттер OWL форматында нақты түрде жазылып, Protégé интерфейсінде визуалды түрде бейнеленді. Қосымша кластар ретінде DataStructure, Complexity, AlgorithmType, ApplicationArea, Step ұғымдары енгізілді. Олар негізгі «Algorithm» класына семантикалық жағынан байланыстырылып, онтологияның тұтастығын қамтамасыз етті. (Сурет 3).



Сурет 3. hasAuthor мәліметтік қасиетінің сипаттамасы

Алгоритмдік онтологияны құру барысында 6 ішкі класс, 5 объектілік қасиет және 5 мәліметтік қасиет анықталды. Бұл құрылым OWL (Web Ontology Language) стандарты талаптарына толық сәйкес келеді және Protégé онтология редакторы арқылы визуалды түрде өңделіп, тексерілді. Онтология құрамына енгізілген ішкі кластар: SortingAlgorithm, SearchingAlgorithm, GraphAlgorithm, OptimizationAlgorithm, CryptographicAlgorithm, MachineLearningAlgorithm. Object properties арқылы алгоритмдер мен басқа ұғымдар арасындағы семантикалық байланыстар көрсетілді, мысалы: hasComplexity, hasDataStructure, hasApplication, usesAlgorithmType, hasStep. Data properties алгоритмдердің нақты сипаттамаларын көрсетуге мүмкіндік берді: hasName, hasTimeComplexity, hasSpaceComplexity, hasAuthor, hasYearIntroduced.

Қосымша кластар ретінде DataStructure, Complexity, AlgorithmType, ApplicationArea, Step ұғымдары енгізілді. Олар негізгі «Algorithm» класына семантикалық тұрғыдан байланыстырылып, онтологияның тұтастығын қамтамасыз етті.

Мысал ретінде онтологияға енгізілген MergeSort алгоритмі SortingAlgorithm класына жатады және келесі сипаттамалармен толықты:

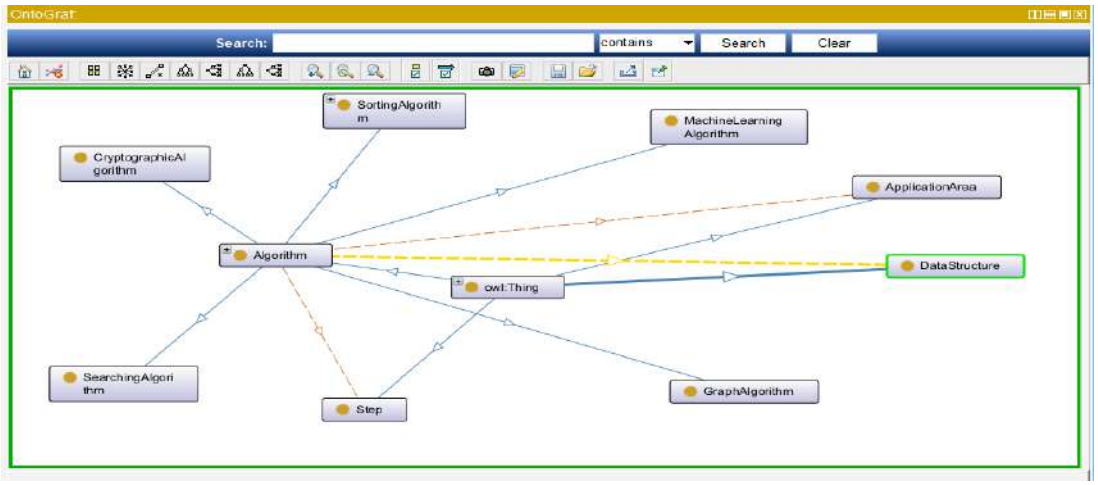
- hasName: *"MergeSort"*
- hasTimeComplexity: *"O(n log n)"*
- hasSpaceComplexity: *"O(n)"*
- usesAlgorithmType: *"DivideAndConquer"*

- hasDataStructure: *"Array"*

MergeSort алгоритмінің уақыт күрделілігі $T(n) = O(n \log n)$ (1)

Сонымен қатар, әрбір ішкі класқа нақты индивидтер қосылды: мысалы, QuickSort – SortingAlgorithm класына, BinarySearch – SearchingAlgorithm класына енгізілді.

Соңғы кезеңде онтология RDF және SPARQL құралдары арқылы тексеріліп, Protégé интерфейсінде визуалды түрде бейнеленді. Верификация нәтижесінде логикалық қателіктер анықталмай, онтологияның дұрыстығы расталды (Сурет 4).



Сурет 4. Algorithm класы, объектілік және мәліметтік қасиеттер арасындағы байланыс

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу барысында алгоритмдік білімді онтология түрінде модельдеу нәтижесінде «Algorithm» атты негізгі класс құрылды. Оның негізінде алты ішкі класс анықталды: *SortingAlgorithm, SearchingAlgorithm, GraphAlgorithm, OptimizationAlgorithm, CryptographicAlgorithm, MachineLearningAlgorithm*. Бұл ішкі кластар нақты есептерді шешуге бағытталған алгоритмдер топтарын қамтып, пәндік саланы толық сипаттауға мүмкіндік берді.

Сонымен қатар, онтологияда бес объектілік қасиет (*hasComplexity, hasDataStructure, hasApplication, usesAlgorithmType, hasStep*) және бес мәліметтік қасиет (*hasName, hasTimeComplexity, hasSpaceComplexity, hasAuthor, hasYearIntroduced*) енгізілді. Бұл қасиеттер алгоритмдердің құрылымдық сипаттамаларын, қолданылу салаларын және күрделілік деңгейін формалды түрде көрсетуге жағдай жасады.

Мысал ретінде MergeSort алгоритмі *SortingAlgorithm* класына енгізіліп, оның негізгі сипаттамалары айқындалды: атауы (*MergeSort*), уақыт күрделілігі (*O(n log n)*), жад күрделілігі (*O(n)*), қолданған деректер құрылымы (*Array*) және қолданған әдіснамалық түрі (*Divide and Conquer*). Мұндай сипаттамалар әрбір алгоритмді нақты әрі жүйелі түрде формализациялауға мүмкіндік берді. Онтология RDF және SPARQL құралдары арқылы тексеріліп, Protégé редакторының визуалды интерфейсінде бейнеленді. Верификация нәтижесінде логикалық қателер анықталмай, онтологияның дұрыстығы расталды. Бұл нәтиже жасалған модельдің теориялық тұрғыдан дұрыс және практикалық тұрғыдан қолдануға дайын екенін көрсетті.

Дискуссия

Зерттеу нәтижелері алгоритмдік білімді онтология негізінде құрылымдаудың тиімділігін көрсетті. Құрылған онтология OWL стандартына сәйкес келіп, алгоритмдердің түрлері, қасиеттері мен қолдану салаларын формалды түрде сипаттауға мүмкіндік берді.

Бұл тұрғыда біздің нәтижелерімізді басқа ғалымдардың еңбектерімен салыстыруға болады. T. R. Gruber онтологияны білімді ұсынудың әмбебап тәсілі ретінде сипаттаса, N. F. Noy мен D. L. McGuinness онтология жасаудың жүйелі әдістемесін ұсынды. Алынған модель осы қағидаттардың тәжірибелік қолданылуын растайды. Сонымен қатар, онтологияларды құрудың табысты факторларын талдаған C. Feilmayr және W. Wöß еңбегі біздің құрылымдық шешімдерімізбен сәйкес келеді.

Жасанды интеллект саласындағы пайымдау әдістерін зерттеген P. Hohenecker және T. Lukasiewicz жұмыстары онтологияны терең нейрондық желілермен ықпалдастыру мүмкіндігін көрсетті. Бұл біздің нәтижелердің заманауи ғылыми үрдістермен үйлесетінін дәлелдейді. Сонымен бірге, білімді формалды сипаттау мен оны автоматтандырудың қажеттілігін көрсеткен C. M. de Rodrigues Oliveira, F. L. және әріптестері еңбектері онтологияны практикалық тұрғыдан қолданудың маңыздылығын қуаттайды.

Қорытынды

Құрылып отырған онтологияда информатикада кең қолданылатын және қолданыстан тәуелсіз сипатта болатын *«алгоритм»* термині негізгі ұғым ретінде алынды. Бұл ұғым онтологияда кластар иерархиясы арқылы бейнеленіп, әрбір ішкі класс белгілі бір деңгейдегі ұғымды немесе объектілер тобын сипаттады. Әр класс басқа кластармен семантикалық байланыстар арқылы жалғасып, бағытталған граф құрылымында, яғни семантикалық желі ретінде ұсынылды.

Зерттеу нәтижесінде алгоритмдік білімді жүйелеу мен формалдаудың тиімді тәсілі ретінде онтология құрудың мүмкіндігі дәлелденді. Ұсынылған онтология арқылы алгоритмдердің түрлері, қасиеттері мен қолдану салалары нақты анықталып, OWL форматына сай құрылды. Бұл ғылыми жаңалық алгоритмдік білімді формалды сипаттаудың жаңа деңгейін көрсетіп отыр. Практикалық тұрғыдан алғанда, онтология білім беру процесінде студенттердің алгоритмдік ұғымдарды меңгеруін жеңілдетуге, сондай-ақ жасанды интеллект пен семантикалық вебке негізделген ақпараттық жүйелерде тиімділікті арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен бірге онтологияны құру барысында барлық алгоритмдерді толық қамту мүмкін болмағаны және модельдеудің күрделі тестілеуді талап ететіні шектеу ретінде көрінді. Алдағы уақытта онтологияны кеңейтіп, оны нақты пәндік салаларға (деректер ғылымы, машиналық оқыту, киберқауіпсіздік) интеграциялау зерттеудің келесі қадамы болмақ.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Studer, R., Benjamins, V. R., Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. Data *& Knowledge Engineering, 25(1–2), 161–197. https://doi.org/10.1016/S0169-023X(97)00056-6*

[2] Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, 5(2), 199–220. https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008

[3] Noy, N. F., McGuinness, D. L. (2001). Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory. https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdfGol'dshtein, S. L.,

[4] Samaridi, N., Papakitsos, E., Karanikolas, N. (2024). Ontological Representation of the Structure and Vocabulary of Modern Greek on the Protégé Platform. Computation, 12(12), 249. https://doi.org/10.3390/computation12120249

[5] Feilmayr, C., Wöß, W. (2016). An analysis of ontologies and their success factors for application to business. Data & Knowledge Engineering, 101, 1–23. https://doi.org/10.1016/j.datak.2015.11.003

[6] Protege Documentation. Stanford University. https://protege.stanford.edu

[7] Hohenecker, P., Lukasiewicz, T. (2018). Ontology reasoning with deep neural networks. Journal of Artificial Intelligence Research, 62, 569–627. https://doi.org/10.1613/jair.1.11232

[8] Құрманғали, Р. С. Семантикалық веб және онтологияның интеграциясы // Қазақ ғылыми-зерттеу журналы. – 2023. – №1(5). – Б. 60–66.

[9] Gao, W., Chen, Y. Approximation analysis of ontology learning algorithm in linear combination setting // Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications. – 2020. – DOI: https://doi.org/10.1186/s13677-020-00173-y

[10] Jepsen, T. C. (2009). Just What Is an Ontology, Anyway? IT Professional, 11(5), 22–27. https://doi.org/10.1109/MITP.2009.123

[11] Oliveira, de Rodrigues C. M., Gonçalves de Freitas F. L., Spósito Barreiros E. F., et al. (2019). Legal ontologies over time: A systematic mapping study. Expert Systems with Applications, 130, 12–30. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.005

References

[1] Studer, R., Benjamins, V. R., Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering, 25(1–2), 161–197. https://doi.org/10.1016/S0169-023X(97)00056-6

[2] Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, 5(2), 199–220. https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008

[3] Noy, N. F., McGuinness, D. L. (2001). Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory. https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdfGol'dshtein, S. L.,

[4] Samaridi, N., Papakitsos, E., Karanikolas, N. (2024). Ontological Representation of the Structure and Vocabulary of Modern Greek on the Protégé Platform. Computation, 12(12), 249. https://doi.org/10.3390/computation12120249

[5] Feilmayr, C., Wöß, W. (2016). An analysis of ontologies and their success factors for application to business. Data & Knowledge Engineering, 101, 1–23. https://doi.org/10.1016/j.datak.2015.11.003

[6] Protege Documentation. Stanford University. https://protege.stanford.edu

[7] Hohenecker, P., Lukasiewicz, T. (2018). Ontology reasoning with deep neural networks. Journal of Artificial Intelligence Research, 62, 569–627. https://doi.org/10.1613/jair.1.11232

[8] Kurmangali, R. S. (2023). Semanticalyq veb zhane ontologiyanin integratsiyasy [Semantic web and ontology integration]. Kazak gylymi-zertteu zhurnaly, 1(5), 60–66. (In Russian)

[9] Gao, W., Chen, Y. Approximation analysis of ontology learning algorithm in linear combination setting // Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications. – 2020. – DOI: https://doi.org/10.1186/s13677-020-00173-y

[10] Jepsen, T. C. (2009). Just What Is an Ontology, Anyway? IT Professional, 11(5), 22–27. https://doi.org/10.1109/MITP.2009.123

[11] Oliveira, de Rodrigues C. M., Gonçalves de Freitas F. L., Spósito Barreiros E. F., et al. (2019). Legal ontologies over time: A systematic mapping study. Expert Systems with Applications, 130, 12–30. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.005

IRSTI 28.23.27

10.51889/2959-5894.2025.91.3.016

A. Bektemessov [1]*, A. Ibrayev[1], N. Abizov[1], B. Omarov[2]

[1]International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan
[2]International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan
[*]*e-mail: amanzhol.bektemessov@gmail.com*

ADVANCES IN PATH PLANNING AND OBSTACLE AVOIDANCE FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS

Abstract

This article delivers an extensive review of path planning and obstacle avoidance methods in mobile robotics, covering their theoretical principles, algorithmic progress, and real-world applications. Path planning techniques are grouped into four main categories—classical, sampling-based, optimization-oriented, and learning-based – each discussed in terms of advantages, shortcomings, and suitability for diverse operational contexts. Obstacle avoidance is analyzed through reactive, predictive, and learning-focused approaches, with particular attention to sensor technologies and real-time decision-making. The paper also considers integrated navigation systems that merge global and local planning, utilize layered control structures, and operate on embedded platforms to ensure safe and efficient mobility in complex, dynamic environments. Practical examples, such as the ROS Navigation Stack, autonomous delivery systems, and robotic cleaners, illustrate real-world implementations. Additionally, the article highlights persistent challenges and open research directions, including planning under uncertainty, real-time adaptability, socially aware navigation, coordination of multiple robots, and transfer learning for generalization. The discussion is reinforced with figures and tables comparing algorithmic trade-offs and system designs. Overall, the review provides researchers and practitioners with a structured taxonomy, comparative analysis, and forward-looking perspectives to support the creation of more reliable, adaptive, and intelligent navigation systems for future autonomous robots.

Keywords: mobile robotics, path planning, obstacle avoidance, autonomous navigation, artificial intelligence, robot control.

А.Т. Бектемесов1, А.С. Ибраев 1, Н.И. Абизов 1, Б. Омаров2
[1]Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[2]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан

АВТОНОМДЫ МОБИЛЬДІ РОБОТТАР ҮШІН ЖОЛДЫ ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ КЕДЕРГІЛЕРДЕН ҚҰТЫЛУ ӘДІСТЕРІНДЕГІ ЖЕТІСТІКТЕР

Аңдатпа

Бұл мақалада мобильді робототехникадағы жолды жоспарлау мен кедергілерден айналып өту әдістеріне кең шолу жасалады. Зерттеуде олардың теориялық негіздері, алгоритмдік жетістіктері және практикалық қолданулары қарастырылады. Жолды жоспарлау әдістері төрт негізгі санатқа бөлінген — классикалық, үлгіге негізделген, оңтайландыруға бағытталған және оқытуға негізделген тәсілдер. Әрбір топ артықшылықтары, шектеулері және әртүрлі ортада қолдану мүмкіндіктері тұрғысынан талданады. Кедергілерден құтылу тәсілдері реактивті, болжамдық және оқытуға негізделген бағыттармен сипатталады, мұнда сенсорлық технологиялар мен нақты уақыттағы шешім қабылдауға ерекше назар аударылады. Сонымен қатар, мақалада жаһандық және жергілікті жоспарлауды үйлестіретін, иерархиялық басқару құрылымдарын пайдаланатын және кірістірілген платформаларда жұмыс істейтін интеграцияланған навигациялық жүйелер қарастырылады. Практикалық мысалдар ретінде ROS Navigation Stack, автономды жеткізу жүйелері және робот шаңсорғыштары келтірілген. Сондай-ақ мақалада белгісіздік жағдайындағы жоспарлау, нақты уақыттағы бейімделу, әлеуметтік бағытталған навигация, көп роботты үйлестіру және жалпылауға арналған трансферлік оқыту секілді ашық зерттеу мәселелері атап өтіледі. Шолу алгоритмдік айырбас пен жүйелік архитектураларды салыстыратын суреттер мен кестелермен толықтырылған. Жалпы алғанда, бұл жұмыс зерттеушілер мен мамандарға сенімді, бейімделгіш және интеллектуалды навигациялық жүйелерді құруға арналған

құрылымдық таксономияны, салыстырмалы талдауды және болашаққа бағытталған ұсыныстарды ұсынады.

Түйін сөздер: мобильді робототехника, траекторияны жоспарлау, кедергілерден айналып өту, автономды навигация, жасанды интеллект, роботтарды басқару.

А.Т. Бектемесов1, А.С. Ибраев 1, Н.И. Абизов 1, Б. Омаров2
[1]Международный инженерно-технологический университет, г. Алматы, Казахстан
[2]Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан

ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ И ИЗБЕЖАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Аннотация

В статье представлен развернутый обзор методов планирования пути и обхода препятствий в мобильной робототехнике, включающий их теоретические основы, алгоритмические достижения и практическое применение. Техники планирования пути сгруппированы в четыре основные категории — классические, основанные на выборке, оптимизационные и обучающиеся. Каждая группа рассмотрена с точки зрения преимуществ, ограничений и применимости в различных условиях эксплуатации. Методы обхода препятствий классифицированы на реактивные, предсказательные и основанные на обучении, с особым акцентом на сенсорные технологии и принятие решений в реальном времени. Также рассматриваются интегрированные системы навигации, которые совмещают глобальное и локальное планирование, используют иерархические структуры управления и работают на встроенных платформах для обеспечения безопасной и эффективной мобильности в сложных динамических средах. Практические примеры включают ROS Navigation Stack, автономные системы доставки и роботизированные пылесосы. Кроме того, выделяются актуальные проблемы и открытые направления исследований, включая планирование в условиях неопределенности, адаптацию в реальном времени, социально-ориентированную навигацию, координацию множества роботов и трансферное обучение для обобщения. Обзор сопровождается иллюстрациями и таблицами, сравнивающими алгоритмические компромиссы и архитектурные решения. В целом, работа предоставляет исследователям и практикам структурированную таксономию, сравнительный анализ и перспективные направления для создания более надежных, адаптивных и интеллектуальных навигационных систем будущих автономных роботов.

Ключевые слова: мобильная робототехника, планирование траектории, избегание препятствий, автономная навигация, искусственный интеллект, управление роботами.

Introduction

The growing reliance on autonomous technologies in areas such as warehouse logistics, last-mile delivery, planetary exploration, and urban transportation has underscored the critical role of reliable path planning and obstacle avoidance in mobile robotics. These two functions form the foundation of robotic navigation, enabling safe and efficient operation in complex and dynamic environments without direct human control [1]. Path planning focuses on generating feasible and, ideally, optimal routes from a starting point to a destination while considering environmental constraints, robot dynamics, and task requirements. Obstacle avoidance, on the other hand, addresses the real-time adaptation of robot trajectories to static and moving obstacles that may not have been accounted for during the initial planning phase [2]. Over the past decades, numerous solutions have been developed, ranging from classical deterministic algorithms to sampling-based approaches, optimization-driven strategies, and more recently, data-centric methods such as reinforcement learning and deep neural networks [3]. Each category presents its own balance of computational cost, adaptability, and scalability across diverse applications. Despite this progress, there remains a lack of systematic synthesis that simultaneously categorizes these methods, evaluates their trade-offs, and highlights their suitability for specific environments and robotic platforms. This gap motivates the present study.

The purpose of this paper is to conduct a structured and critical survey of path planning and obstacle avoidance techniques for autonomous mobile robots.

Specifically, the study investigates:

- the theoretical principles and algorithmic strategies underlying different approaches;

- their practical performance in real-world robotic systems;
- open challenges and unresolved issues in dynamic, uncertain, and socially constrained environments.

The central premise of this study is that no single method can universally address all navigation scenarios; instead, hybrid and adaptive frameworks are required. By testing this hypothesis through comparative analysis of existing literature, this paper aims to provide researchers and practitioners with a taxonomy, evaluation framework, and forward-looking perspectives for designing more robust and intelligent navigation systems [4].

Research Methodology

This study was conducted between 2021 and 2025 through a systematic review of peer-reviewed journal articles, conference proceedings, and preprints indexed in databases such as IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, and arXiv. The inclusion criteria focused on works that explicitly addressed path planning, obstacle avoidance, or integrated navigation frameworks in the context of autonomous mobile robots. Both theoretical developments and experimental evaluations were considered.

To ensure comprehensive coverage, we applied a keyword-based search strategy combining terms such as *"mobile robots", "path planning", "obstacle avoidance", "reinforcement learning", "sampling-based planning" and "navigation frameworks."* After initial screening, 120 publications were shortlisted, of which 48 were selected for detailed comparative analysis. The selected studies span applications in indoor service robots, outdoor delivery platforms, warehouse automation, and multi-robot coordination. The methodology adopted for analysis involved categorizing techniques into four major families (classical, sampling-based, optimization-based, and learning-based) and evaluating them against performance metrics such as completeness, optimality, computational cost, scalability, and adaptability to dynamic environments. Benchmark datasets, simulation environments (Gazebo, KITTI, ScanNet), and reported real-world deployments were considered as evidence for assessing algorithmic performance. This section provides a comprehensive classification of path planning techniques employed in mobile robotics, highlighting the evolution from rule-based to learning-driven approaches. These techniques are organized into four primary categories: classical, sampling-based, optimization-based, and learning-based methods. Each category addresses specific challenges in robot navigation, such as computational complexity, environmental uncertainty, and adaptability to dynamic conditions. The categorization also reflects the trade-offs between completeness, optimality, and real-time feasibility, which are critical when selecting an appropriate planning strategy for a given application. Figure 1 presents a taxonomy of these techniques, offering a visual overview of their relationships, algorithmic representatives, and operational characteristics.

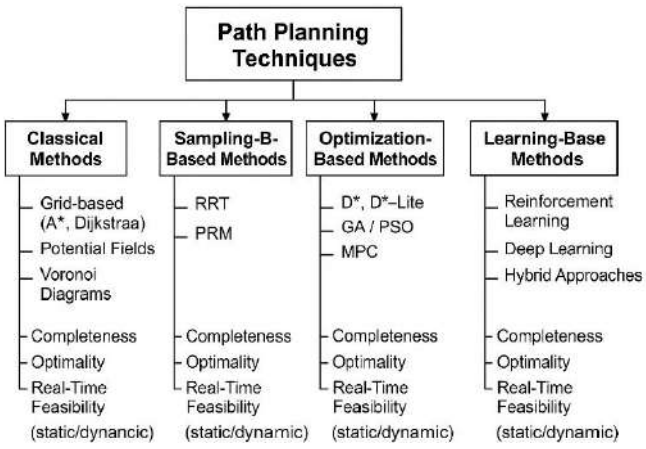


Figure 1. Taxonomy of Path Planning Techniques in Mobile Robotics

PRM, in contrast, constructs a roadmap by randomly sampling nodes and connecting collision-free edges, suitable for multi-query problems [5]. These methods do not guarantee completeness but are probabilistically complete, meaning the probability of finding a path increases with computation time. Optimization-based planners model the path planning task as a cost minimization problem. D and D-Lite** are incremental search algorithms that dynamically update paths in changing environments, making them suitable for real-time applications [6].

This is effective in dynamic or partially known environments but demands extensive training. Deep learning-based methods learn mappings from sensory inputs to actions or trajectories, facilitating end-to-end planning in complex domains. Hybrid systems combine learned models with classical planners to enhance generalization and safety. However, these approaches often lack interpretability and may struggle with generalization beyond trained scenarios, highlighting the need for robust validation frameworks.

Results of the Study

The analysis confirmed the initial hypothesis that no single algorithmic family universally satisfies all requirements of mobile robot navigation. Classical methods (e.g., A*, Dijkstra) remain reliable for structured and static environments but show poor scalability. Sampling-based planners (e.g., RRT, PRM) are highly effective in high-dimensional spaces but can produce suboptimal paths. Optimization-based approaches (e.g., D*, MPC) provide strong adaptability and near-optimal solutions but at significant computational expense. Learning-based methods, particularly reinforcement learning and deep neural networks, demonstrate flexibility in unstructured or dynamic environments but lack interpretability and require extensive training resources.

These findings validate the working hypothesis: hybrid and adaptive frameworks, which combine complementary strengths of different paradigms, are essential for robust real-world deployment. Comparative results are summarized in Table 1, which highlights the trade-offs across completeness, optimality, real-time feasibility, and adaptability.

Table 1. Comparative analysis of path planning techniques

Method Category	*Completeness*	*Optimality*	*Computation Time*	*Scalability*	*Adaptability to Dynamic Environments*
Classical (e.g., A, Dijkstra)*	*High*	*High*	*High (for large maps)*	*Low*	*Low*
Potential Fields	*Low*	*Low (local minima)*	*Low*	*Medium*	*Medium*
Voronoi Diagrams	*High*	*Medium*	*Medium*	*Low*	*Low*
RRT / PRM	*Probabilistic*	*Low to Medium*	*Low*	*High*	*Medium*
*D, D-Lite**	*High*	*Medium*	*Medium*	*Medium*	*High*
GA / PSO	*Medium*	*Medium to High*	*Medium to High*	*Medium*	*Medium*
Model Predictive Control (MPC)	*High*	*High*	*High*	*Medium*	*High*
Reinforcement Learning	*Variable*	*Variable*	*High (training)*	*High*	*High*
Deep Learning	*Variable*	*Variable*	*Low (inference)*	*High*	*High*
Hybrid Systems	*Medium to High*	*Medium to High*	*Medium*	*High*	*High*

In summary, the landscape of path planning techniques in mobile robotics is rich and diverse, with each category offering distinct advantages depending on the task requirements and environmental complexity. From deterministic classical methods to adaptive learning-based strategies, the choice of algorithm must balance factors such as efficiency, reliability, and scalability. This classification not only aids in understanding existing approaches but also provides a foundation for developing hybrid systems that leverage the strengths of multiple paradigms for enhanced navigation performance.

This section explores the diverse range of techniques used for obstacle detection and avoidance, a critical capability for ensuring safe and reliable navigation in mobile robotics. As robots operate in increasingly complex and dynamic environments, the ability to perceive, interpret, and respond to obstacles in real time has become essential. This chapter categorizes obstacle avoidance strategies into sensor-based perception systems, reactive mechanisms, predictive modeling approaches, and learning-based frameworks. Each category offers unique advantages depending on the application context, environmental uncertainty, and computational constraints. Figure 2 illustrates a high-level overview of these strategies, showing the flow from sensor inputs through various decision-making layers to motion planning outputs.

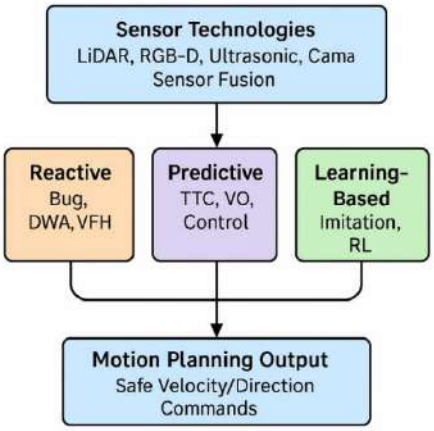


Figure 2. Pipeline representation of obstacle detection and avoidance strategies in mobile robotics.

Effective obstacle detection in mobile robotics relies heavily on sensor technologies. LiDAR provides high-resolution 3D point clouds, enabling accurate distance measurements in structured and unstructured environments [7]. Ultrasonic sensors are low-cost and ideal for short-range detection but suffer from poor angular resolution [8]. Vision-based systems, particularly those powered by convolutional neural networks, can recognize object types and locations [9]. Sensor fusion integrates data from multiple modalities to improve perception robustness, often using techniques such as Kalman filtering or Bayesian inference [10], enhancing obstacle recognition in dynamic and cluttered scenes. Reactive techniques generate immediate responses to sensed obstacles without global planning. Bug algorithms follow wall-following or boundary-tracing strategies, enabling basic navigation around obstacles but can be inefficient [11]. The Dynamic Window Approach (DWA) computes a robot's velocity commands within a feasible dynamic window by optimizing a cost function:

$$\begin{aligned} G(u,w) &= \alpha \cdot heading(v,w) \\ &+ \beta \cdot clearance(v,w) \\ &- \gamma \cdot velocity(v,w) \end{aligned} \tag{1}$$

Where v and w are linear and angular velocities [12]. Vector Field Histogram (VFH) builds histograms from obstacle densities to find safe navigation directions [13]. Reactive methods are fast and simple but often lack global awareness.

Predictive and Model-Based Approaches

Model-based methods incorporate future state predictions to avoid collisions proactively. The Time-to-Collision (TTC) metric estimates the remaining time before impact with an obstacle based on relative velocity:

$$TTC = \frac{d}{|v_{rel}|} \tag{2}$$

Here d represents the distance to the obstacle and v_{rel} is the relative velocity between the robot and the obstacle [14]. These predictive methods are particularly effective in dynamic environments where obstacle movements can be estimated with reasonable accuracy. However, their success depends heavily on precise modeling of system dynamics and often entails significant computational cost.

Reinforcement learning (RL) enables robots to discover navigation policies through trial-and-error interaction with the environment, where safe and efficient movements are reinforced with positive rewards [15]. These methods perform particularly well in unstructured or unfamiliar settings and demonstrate the ability to generalize across new scenarios. Nonetheless, they typically demand substantial training data or prolonged simulation runs, and their lack of formal safety guarantees restricts their application in domains where reliability and safety are critical.

The evaluation of obstacle avoidance methods requires standardized benchmarks and clearly defined metrics. Common indicators include navigation safety (e.g., the frequency of collisions along a trajectory), real-time responsiveness (such as reaction time to moving obstacles), and computational demand (CPU/GPU usage during execution) [7, 11]. Publicly available benchmarks, including Gazebo simulations, TurtleBot field trials, and datasets like KITTI and ScanNet, provide structured environments for consistent and fair comparisons across algorithms. Beyond these, additional performance measures are increasingly emphasized, such as robustness to sensor noise, adaptability to unexpected environmental changes, and energy efficiency – factors that are especially critical for real-time embedded systems and resource-constrained robotic platforms.

This section examines the integration of path planning and obstacle avoidance into unified navigation frameworks capable of functioning effectively in real-world environments. Unlike standalone algorithms, integrated systems synchronize global path planning with local obstacle avoidance, while respecting the constraints of real-time processing and hardware limitations. Such integration allows robots to maintain consistent and reliable performance across a wide range of conditions, from structured indoor spaces to highly dynamic outdoor scenarios.

The typical design follows a hierarchical control architecture, consisting of strategic, tactical, and reactive layers. The strategic layer manages mission-level decisions, the tactical layer generates feasible paths, and the reactive layer ensures immediate responses to unforeseen obstacles. Figure 3 provides a schematic overview of this layered architecture, showing the information flow from raw sensor inputs through planning modules to final motion commands, and highlighting practical implementations across different robotic platforms.

Contemporary robotic navigation frameworks often integrate global and local planning to achieve a balance between long-term trajectory optimality and short-term adaptability. The global planner generates an initial path based on environmental maps, while the local planner continuously refines this trajectory to accommodate dynamic obstacles and sudden environmental changes. This two-tiered approach improves system robustness, making it possible to operate effectively in uncertain or partially known environments [16].

A common example of such integration is the use of A* for global trajectory generation, combined with Dynamic Window Approach (DWA) or Timed Elastic Band (TEB) for local path adjustments.

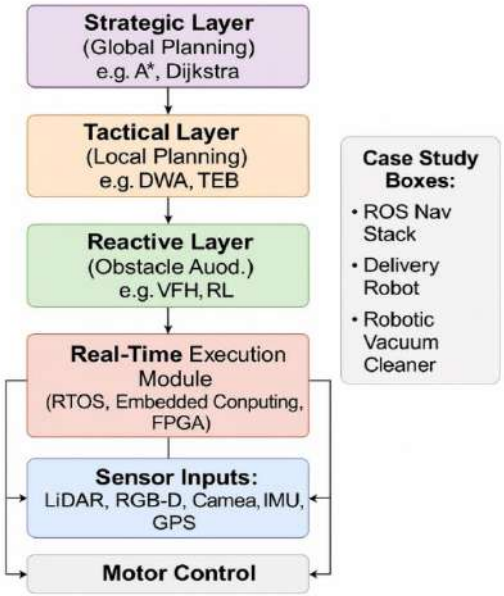


Figure 3. Integrated Path Planning and Obstacle Avoidance Architecture in Mobile Robots

The coordination between these layers is typically governed by a cost function, which balances global efficiency with local responsiveness to ensure safe and efficient navigation:

$$J_{total} = \lambda_g J_{global} + \lambda_l J_{local} \tag{3}$$

Where λ_g and λ_l are weighting factors balancing global and local priorities.

Layered control frameworks organize robotic behavior into distinct levels, enhancing both modularity and system scalability. In a typical configuration, the strategic layer manages mission-level planning, the tactical layer focuses on path generation, and the reactive layer handles real-time obstacle avoidance [17]. This division of responsibilities enables high-level objectives to shape motion goals, while low-level controllers quickly adapt to changes in the environment. Communication between layers is achieved through structured interfaces, ensuring that decisions remain coherent and contextually appropriate. Such hierarchical architectures are widely adopted in both research and industry, as they allow robots to address multiple objectives and process heterogeneous data streams simultaneously, while still upholding real-time safety and maintaining generalizable behavior.

Path planning and obstacle avoidance modules are required to meet strict real-time constraints, particularly when deployed on embedded platforms with limited computational resources. Algorithms must deliver results within fixed execution windows to guarantee timely and safe decision-making. Inevitably, this creates trade-offs between the depth of planning and computational latency, a challenge that is especially pronounced in dynamic environments [18]. To address these limitations, embedded systems often rely on optimized implementations, including pre-computed lookup tables, efficient data structures, and parallelization techniques using GPUs or FPGAs. In addition, real-time operating systems (RTOS) play a crucial role by ensuring deterministic execution and prioritization of critical tasks [19]. Failure to meet these timing requirements may lead to unsafe robot behavior, particularly in high-speed scenarios or applications involving close interaction with humans.

The ROS Navigation Stack serves as a prime example of an open-source, integrated framework that unifies global path planning, local obstacle avoidance, and real-time sensor feedback through a modular node-based architecture [20]. It incorporates costmaps, localization using Adaptive Monte Carlo Localization (AMCL), and a layered planning hierarchy to deliver robust autonomous

navigation. Similarly, autonomous delivery robots—such as sidewalk delivery bots—employ comparable architectures but place greater emphasis on interaction with pedestrians, compliance with traffic rules at crosswalks, and cloud-based updates for mapping. In contrast, robotic vacuum cleaners represent highly resource-constrained, embedded implementations, relying on onboard SLAM, simplified reactive planning, and low computational overhead [21]. Collectively, these case studies highlight how integrated navigation systems differ in complexity based on environmental demands and performance objectives, yet consistently follow common architectural principles.

Discussion

A central challenge in robotic navigation lies in planning under uncertainty, where the robot operates without full or precise knowledge of its environment or its own state. Common sources of uncertainty include sensor noise, moving obstacles, localization drift, and incomplete or inaccurate maps [22]. Traditional deterministic algorithms often fail to cope effectively in such scenarios. To address this, probabilistic methods, such as Partially Observable Markov Decision Processes (POMDPs), explicitly account for uncertainty, but they are typically computationally demanding. Current research therefore focuses on developing efficient approximations, risk-aware planning frameworks, and resilient decision-making strategies that balance computational feasibility with reliability. One of the key open problems is the creation of scalable algorithms that can handle uncertainty robustly while guaranteeing safety and task completion, even under ambiguous or incomplete observations.

Path planning in dynamic environments requires robots to continuously adapt to moving obstacles, evolving terrain conditions, and shifting goals. Planners must compute safe and feasible trajectories within strict time limits, often with only partial knowledge of future events [23]. Existing approaches include dynamic re-planning methods such as D* and Timed Elastic Band (TEB), reactive control policies, and predictive modeling frameworks. Nevertheless, maintaining both low latency and trajectory optimality remains a persistent trade-off. The challenge lies in striking a balance between computational efficiency and responsiveness, especially on resource-constrained embedded platforms. Open research directions include the design of lightweight predictive models for motion pattern estimation, the integration of temporal reasoning mechanisms, and methods that ensure stability when obstacles exhibit non-deterministic or adversarial behaviors.

As robots become more common in human-populated spaces, navigation systems must account for human behavior and social conventions. Human-aware navigation requires predicting pedestrian trajectories, maintaining comfortable interpersonal distances, and following socially appropriate behaviors such as yielding or queueing [24]. Ignoring these aspects can result in unsafe, awkward, or disruptive interactions. Current methods leverage crowd simulation models, intent prediction algorithms, and reinforcement learning trained on human demonstrations. Despite these advances, significant challenges remain in developing systems that incorporate cultural sensitivity, contextual reasoning, and interpretability. Future progress will likely involve closer integration of robotics and cognitive science, enabling robots to achieve socially compliant and context-aware navigation in shared environments.

The results underscore three major insights. First, while deterministic methods remain important for their interpretability and guarantees, they cannot address uncertainty and dynamic changes effectively. Second, data-driven approaches, though powerful, raise challenges of safety validation, generalization, and computational demand. Third, integrated architectures – combining global planning with local obstacle avoidance – are emerging as the most practical solutions for real-world robots.

These conclusions align with prior surveys [1,3,5], which similarly argue for hybridization as the future of mobile navigation. However, this study contributes a more detailed taxonomy that not only categorizes algorithms but also evaluates their operational trade-offs in terms of scalability, uncertainty handling, and social compliance.

Looking ahead, future research should prioritize:

- Uncertainty-aware planning through probabilistic reasoning and robust decision-making.
- Human-aware navigation, ensuring safety and social acceptance in pedestrian-rich environments.
- Sim-to-real transfer, allowing learning-based models trained in simulation to generalize reliably in deployment.
- Resource-efficient implementations, particularly for embedded platforms with limited computation.

Conclusion

This survey has provided an extensive examination of path planning and obstacle avoidance techniques in mobile robotics, tracing their evolution, categorization, and integration into practical robotic systems. Classical approaches, such as grid-based searches and potential fields, deliver deterministic and interpretable outcomes, while sampling-based methods like RRT and PRM address scalability in high-dimensional configuration spaces. Optimization-driven techniques and learning-based models expand the design space further, enabling robots to achieve adaptive and resilient navigation in complex, dynamic settings.

For obstacle avoidance, strategies span from reactive mechanisms to predictive models and data-driven frameworks, each offering distinct trade-offs in terms of responsiveness, computational efficiency, and safety. Integrated navigation frameworks, exemplified by the ROS Navigation Stack and various commercial robotic systems, demonstrate how global planning, local control, and real-time sensor fusion can be harmonized into cohesive, deployable solutions.

Despite notable progress, multiple open challenges remain unresolved—particularly in handling uncertainty, achieving robust generalization across domains, ensuring human-aware and socially compliant navigation, and coordinating multi-robot systems at scale. Advances in deep learning, edge computing, and high-fidelity simulation are rapidly pushing the frontiers of autonomous navigation, yet the need persists for systems that are transparent, adaptive, computationally efficient, and safety-assured. Future research must therefore focus on creating planning and avoidance frameworks capable of operating reliably in unpredictable, unstructured environments, while also scaling across diverse robotic platforms and maintaining the trust and safety required for widespread adoption.

Acknowledgment

This work was supported by the Science Committee of the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the framework of grant AP19679910 “Development of an experimental model of an autonomous unmanned mobile robot with off-road capability”, International Engineering Technological University, Almaty.

References

[1] Sánchez-Ibáñez, J. R. (2021). Path planning for autonomous mobile robots: A review. Sensors, 21(23), Article 7898. DOI: https://doi.org/10.3390/s21237898

[2] Katona, K., & others. (2024). Obstacle avoidance and path planning methods for mobile robots. Sensors, 24(11), Article 3573. DOI: https://doi.org/10.3390/s24113573

[3] Gharbi, A. (2024). Dynamic reward-enhanced Q-learning approach for efficient path planning. Applied Intelligence. DOI: https://doi.org/10.1108/aci-10-2023-0089

[4] Sousa, L. C., Silva, Y. M. R., Schettino, V. B., Santos, T. M. B., Zachi, A. R. L., Gouvêa, J. A., & Pinto, M. F. (2025). Obstacle avoidance technique for mobile robots in collaborative warehouse environments. Sensors, 25(8), Article 2387. DOI: https://doi.org/10.3390/s25082387

[5] Dong, X., Wang, Y., Fang, C., Ran, K., & Liu, G. (2025). FHQ-RRT: Fast, high-quality path planning. Sensors, 25(7), Article 2189. DOI:* https://doi.org/10.3390/s25072189

[6] Pimentel, F. A. M., & Aquino-Jr, P. T. (2021). Evaluation of ROS Navigation Stack for social navigation. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 102, Article 87. DOI: https://doi.org/10.1007/s10846-021-01389-w

[7] Raj, R., et al. (2023). Dynamic obstacle mobility pattern for DRL-based avoidance. International Journal of Emerging Trends in Eng. Research, 11(9), 307–314. DOI: https://doi.org/10.30534/ijeter/2023/011192023

[8] Verma, J. K. (2021). Multi-robot coordination analysis, taxonomy, challenges. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 102, 543–569. DOI: https://doi.org/10.1007/s10846-021-01367-2

[9] Huang, Y., Huang, S., Wang, H., & Meng, R. (2022). 3D path planning and obstacle avoidance algorithms for obstacle-overcoming robots. Frontiers in Neurorobotics. DOI: https://doi.org/10.3389/fnbot.2022.913711

[10] Wang, Y. (2024). Path planning for mobile robots in greenhouse orchards based on A and FDWA. Computers and Electronics in Agriculture, 204, 107495. DOI:* https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107495

[11] Mohanraj, T., Dinesh, T., & Guruchandhramavli, B. (2023). Mobile robot path planning and obstacle avoidance using a hybrid algorithm. International Journal of Information Technology, 15(4). DOI: https://doi.org/10.1007/s41870-023-01357-4

[12] Tang, Y. (2025). Path planning trends for autonomous mobile robots: review and outlook. Autonomous Systems Review, 17, 100–118. DOI: https://doi.org/10.3390/s25041206

[13] Tejada, J. C., Toro-Ossaba, A., López-Gonzalez, A., Hernandez-Martinez, E. G., & Sanin-Villa, D. (2025). A review of multi-robot systems and soft robotics: challenges and opportunities. Sensors, 25(5), 1353. DOI: https://doi.org/10.3390/s25051353

[14] Antonyshyn, L., Silveira, J., Givigi, S., & Marshall, J. (2023). Multiple mobile robot task and motion planning: A survey. ACM Computing Surveys, 55(10), Article 213. DOI: https://doi.org/10.1145/3554727

[15] Katona, K., et al. (2024). Obstacle avoidance and path planning methods for mobile robots. Sensors, 24(11), 3573. DOI: https://doi.org/10.3390/s24113573

[16] Costa Barros, Í. R. da, et al. (2021). Robotic mobile fulfillment systems: A survey. Robotics and Autonomous Systems, 140, 103737. DOI: https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103737

[17] Teja, H., & others. (2024). Path planning considering obstacle gap detection in tight spaces. Applied Sciences, 15(11), 5979. DOI: https://doi.org/10.3390/app15115979

[18] Verma, J. K., & colleagues. (2021). Adaptive collaborative control for multi-robot collaboration. IEEE Transactions on Robotics, 37(2), 567–582. DOI: https://doi.org/10.1109/TRO.2020.3031235

[19] Rani, B. S. (2025). An Innovative Approach for Obstacle Avoidance and Path Planning of Mobile Robot Using Adaptive Deep Reinforcement Learning for Indoor Environment. Knowledge-Based Systems, 114058. DOI: https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.114058

[20] Dorigo, M., Theraulaz, G., & Trianni, V. (2021). Swarm robotics: past, present, and future. Proceedings of the IEEE, 109(1), 115–124. DOI: https://doi.org/10.1109/JPROC.2021.3072740

[21] Chen, X., Wang, Y., & Mou, Y. (2022). Robust POMDP-based path planning under uncertainty for mobile robots in dynamic environments. Robotics and Autonomous Systems, 146, 103794. DOI: https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103794

[22] Li, J., & Zhao, Q. (2023). Sim-to-real domain adaptation via reinforcement learning for mobile robot navigation. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 34(3), 1234–1245. DOI: https://doi.org/10.1109/TNNLS.2021.3134780

[23] Ishihara, T., et al. (2024). Modeling pedestrian behaviors for socially compliant robot navigation using IRL. IEEE Robotics and Automation Letters, 9(1), 45–52. DOI: https://doi.org/10.1109/LRA.2023.3331673

[24] MISIR, O., & Celik, M. (2025). Visual-based obstacle avoidance method using advanced CNN for mobile robots. Internet of Things, 101538. DOI: https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101538

МРНТИ 20.53.19

10.51889/2959-5894.2025.91.3.017

К. Бостанбеков[1], Д.Б. Нурсеитов[1], М.Ж. Сакыпбекова[2*], Ш.Н. Шекербаева[3], И. Шайя[4]

[1]ТОО «ҚазМұнайГаз Инжиниринг», г.Астана, Казахстан
[2]Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
[3]Алматинский технологический университет, г.Алматы, Казахстан
[4]Стамбульский технический университет (ITU), г. Стамбул, Турция
**e-mail: sakypbekova.meruyert@gmail.com*

ТЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ГОРОДСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация

В условиях роста городской мобильности задача точного подсчёта пассажиров становится особенно важной для планирования транспортной инфраструктуры. Целью настоящей статьи — разработка системы автоматического обнаружения и подсчёта людей в городском транспорте с использованием современных методов компьютерного зрения. В работе описаны этапы сбора и аннотирования данных, обучение модели и оценка её эффективности. В рамках исследования были поставлены задачи по сбору и аннотированию видеоданных, обучению модели и оценке её эффективности. Был создан специализированный датасет (4 047 изображений, 8 918 объектов), и модель обучена до достижения значения F1-показателя 0.90. Проведена серия экспериментов с различными алгоритмами трекинга. Результаты подтвердили высокую точность системы и её пригодность для применения в режиме реального времени. Разработанное решение может быть использовано для мониторинга пассажиропотока, оптимизации маршрутов и повышения эффективности управления городским транспортом.

Ключевые слова: подсчёт людей, интеллектуальный транспорт, компьютерное зрение, общественный транспорт, YOLO, датасет.

К. Бостанбеков[1], Д.Б. Нурсеитов[1], М.Ж. Сакыпбекова[2], Ш.Н. Шекербаева[3], И. Шайя[4]
[1]«ҚазМұнайГаз Инжиниринг» ЖШС, Астана қ., Қазақстан
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[3]Алматы технологиялық университеті, Алматы қ, Қазақстан
[4] Стамбұл техникалық университеті (ITU), Стамбул қ., Түркия

ҚАЛАЛЫҚ ҚОҒАМДЫҚ КӨЛІКТЕ АДАМДАРДЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ДЕРЕКТЕРДІ ЖИНАУ ЖӘНЕ ӨҢДЕУ БОЙЫНША ТАҚЫРЫПТЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Аңдатпа

Қалалық мобильділіктің артуы жағдайында жолаушыларды дәл есептеу міндеті көлік инфрақұрылымын жоспарлау үшін аса маңызды болып отыр. Бұл мақаланың мақсаты — заманауи компьютерлік көру әдістерін пайдалана отырып, қалалық қоғамдық көлікте адамдарды автоматты түрде анықтау және санау жүйесін әзірлеу. Жұмыста деректерді жинау мен аннотациялау кезеңдері, үлгіні оқыту және оның тиімділігін бағалау сипатталған. Арнайы деректер жиынтығы құрылды (4 047 сурет, 8 918 объект), және модель F1 көрсеткіші 0.90 жеткенше оқытылды. Әртүрлі трекинг алгоритмдерімен бірқатар эксперименттер жүргізілді. Нәтижелер жүйенің жоғары дәлдігі мен нақты уақыт режимінде қолдануға жарамдылығын растады. Әзірленген шешім жолаушылар ағынын бақылауға, маршруттарды оңтайландыруға және қалалық көлікті басқару тиімділігін арттыруға пайдалануға болады.

Түйін сөздер: адамдарды санау, интеллектуалды көлік, компьютерлік көру, қоғамдық көлік, YOLO, деректер жиынтығы.

K. Bostanbekov[1], D.B. Nurseitov[1], M.Zh. Sakypbekova[2], Sh.N. Shekerbayeva[3], I.Shayea [4]
[1]"KazMunayGas Engineering" LLP, Astana, Kazakhstan
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[3]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[4] Istanbul Technical University (ITU), Istanbul, Turkey

CASE STUDIES OF COLLECTING AND PROCESSING DATA ON DETECTING PEOPLE IN URBAN TRANSPORT

Abstract

In the context of increasing urban mobility, the task of accurate passenger counting becomes critically important for transportation infrastructure planning. The aim of this article is to develop a system for automatic detection and counting of people in urban transport using modern computer vision methods. The paper describes the stages of data collection and annotation, model training, and evaluation of its effectiveness. The aim of this study is to develop a system for automatic detection and counting of people in urban transport using modern computer vision methods. The paper describes the stages of data collection and annotation, model training, and evaluation of its effectiveness. A specialized dataset was created (4,047 images, 8,918 objects), and the model was trained to achieve an F1-score of 0.90. A series of experiments with different tracking algorithms was conducted. The results confirmed the system's high accuracy and real-time applicability. The developed solution can be used for monitoring passenger flow, optimizing routes, and improving the efficiency of urban transport management.

Keywords: people counting, intelligent transportation, computer vision, public transport YOLO, dataset.

Введение

В условиях стремительного расширения урбанизированных территорий и возрастающего спроса на эффективные системы общественного транспорта, задача точной оценки пассажиропотока приобретает ключевое значение в процессе транспортного планирования и управления. Достоверная информация о количестве пассажиров, пользующихся автобусами, трамваями и метрополитеном в различные периоды суток, позволяет транспортным операторам оптимизировать графики движения, рационально распределять ресурсы и повышать качество обслуживания населения. Однако традиционные методы сбора таких данных – включая ручной подсчёт, инфракрасные датчики и напольные коврики, чувствительные к давлению – демонстрируют ограниченную эффективность вследствие проблем масштабируемости, чувствительности к внешним условиям и отсутствия гибкости в адаптации к изменяющейся среде в режиме реального времени. В последние годы значительный прогресс в области компьютерного зрения и технологий глубокого обучения открыл новые перспективы для автоматизированного подсчёта пассажиров в условиях общественного транспорта. Современные методы основаны на использовании RGB-камер, сенсоров глубины и мультисенсорных систем, обеспечивающих высокоточное обнаружение, отслеживание и количественную оценку пассажиропотока. Ряд научных исследований подтвердил эффективность свёрточных нейронных сетей (CNN), а также моделей обнаружения объектов, таких как YOLO, RetinaNet и Faster R-CNN, в решении подобных задач. В ряде недавних исследований рассматривается применение технологий глубокого обучения и обработки изображений для решения задачи подсчёта пассажиров в общественном транспорте. Так, в работе Ren, Fang и Djahel был предложен оптимизированный метод подсчёта людей в реальном времени – YOLO-PC, отличающийся от стандартной реализации YOLO использованием сетки размером 9×9. Это позволяет повысить точность обнаружения за счёт увеличения числа ограничивающих рамок и коэффициентов уверенности. Ключевым нововведением является стратегия выбора границ, обеспечивающая выборочный подсчёт людей, проходящих через заранее определённые зоны, с эффективной фильтрацией нерелевантных объектов. Метод достигает точности 64% mAP при скорости обработки более 40 кадров в секунду. Однако его применение требует точного позиционирования камер и демонстрирует высокую чувствительность к перекрытиям, что создаёт дополнительные сложности при эксплуатации в условиях плотного пассажиропотоках [1].

В статье Sun и соавторов представлен метод подсчёта людей в общественном транспорте в реальном времени с применением RGB-D камер и алгоритмов компьютерного зрения, основанных на глубине. Ключевым вкладом работы стало создание открытого набора данных PCDS, включающего более 4500 видеозаписей, что позволило восполнить дефицит эталонных данных для оценки подобных методов. Предложенный алгоритм, основанный на 3D-реконструкции и проекции на опорную плоскость, обеспечивает точность до 92% при скорости 45 FPS, но характеризуется зависимостью от глубинных сенсоров и чувствительностью к углу обзора камеры [2]. В работе Kusuma, T.A.A.H., Usman, K., Saidah рассматривается применение модели YOLOv4 для подсчёта людей в режиме реального времени в условиях общественного транспорта, таких как поезда и самолёты. В исследовании используется метод трансферного обучения: модель обучается на пользовательском датасете, в основном сформированном из Open Image Dataset (управляемого Google), дополненном небольшим количеством вручную собранных реальных тестовых данных. Наилучшее достигнутое значение средней точности (mAP) составило 72,68%, что подтверждает эффективность модели в распознавании пассажиров в различных условиях. Несмотря на использование компьютерного зрения без необходимости в дополнительном оборудовании, сохраняются такие проблемы, как сложность обнаружения пассажиров в масках или головных уборах, а также перекрытия в переполненных пространствах, что указывает на необходимость дальнейшего улучшения модели и увеличения разнообразия обучающих данных [3]. В исследовании Baumann, D., Sommer, M., Schrempp, Y., Sax, E. представлен двухступенчатый подход к подсчёту пассажиров с применением методов глубокого обучения. На первом этапе применяется модель RetinaNet с архитектурой ResNet50, обученная на датасете PCDS, что позволило достичь высокой точности распознавания (mAP – 97,34%). Далее результаты детекции передаются в рекуррентную нейронную сеть, осуществляющую оценку количества вошедших и вышедших пассажиров. Несмотря на значительные вычислительные требования, предложенный метод показывает высокую эффективность и способен заменить традиционные сенсорные решения [4]. Обзорная статья Radovan A. и соавторов представляет всесторонний анализ различных методов подсчёта пассажиров в общественном транспорте [5]. В работе рассматриваются как традиционные методы обработки изображений, так и современные подходы на основе глубокого обучения, с подробным анализом их преимуществ и ограничений в условиях реального применения. Отдельное внимание уделяется интеграции мультисенсорных систем – включая инфракрасные датчики, Wi-Fi и RFID – с целью преодоления таких проблем, как перекрытия, переменные условия освещения и загроможденность сцены. Кроме того, авторы анализируют влияние нормативных требований, таких как GDPR, на внедрение подобных технологий, и дают практические рекомендации по использованию надёжных датасетов (например, PAMELA) и стратегическому размещению камер для повышения точности обнаружения в динамичной среде общественного транспорта.

В целом, рассмотренные исследования демонстрируют быстрое развитие и разнообразие подходов к подсчёту пассажиров в транспорте. Несмотря на ряд преимуществ – включая работу в реальном времени, высокую точность обнаружения, использование качественных датасетов и мультисенсорную интеграцию – сохраняются такие проблемы, как зависимость от сенсоров, точность позиционирования камер и соответствие нормативным требованиям. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования и технологические усовершенствования для полноценной реализации данных систем в реальных условиях.

Методология исследования

Сбор датасета для обнаружения людей в городском транспорте. Сбор датасета для обнаружения людей в городском транспорте – это ключевой этап при разработке систем компьютерного зрения, таких как детекция пассажиров. Вот поэтапная научно обоснованная инструкция, как можно собрать и подготовить такой датасет. Один из наиболее надёжных способов сбора данных для обнаружения людей в городском транспорте – это организация

реальной видеосъёмки в целевых зонах. Камеры рекомендуется размещать на входах в автобус, внутри салона, у дверей метро и в других местах с интенсивным пассажиропотоком. Для получения репрезентативного набора данных важно фиксировать видео в различные периоды суток и при разных условиях – как при дневном, так и при вечернем освещении, в часы пик и в периоды низкой загрузки, при различных погодных условиях. При этом необходимо строго учитывать юридические и этические нормы, включая соблюдение требований по защите персональных данных (например, в соответствии с GDPR). Для исключения возможности идентификации личности использовались методы автоматического маскирования и размывания лиц, а также маскирования уникальных признаков. Дополнительно на этапе формирования датасета проводился специальный отбор: в конечный набор включались только те кадры, где лица пассажиров не были чётко различимы. Таким образом, конфиденциальность персональных данных была полностью обеспечена без необходимости дополнительных мер анонимизации.

Предлагаемая система автоматизированного подсчёта пассажиров включает в себя четыре основных модуля. На этапе сбора данных видеозаписи фиксируются изнутри салона автобуса с использованием как стационарных CCTV-камер, так и мобильных устройств (например, смартфонов), установленных в положении, обеспечивающем максимальный охват зоны присутствия пассажиров. На этапе предобработки каждый видеокадр масштабируется до требуемого разрешения с помощью библиотеки OpenCV. При этом дополнительная нормализация данных не применяется, что позволяет сохранить вычислительную эффективность при обработке в реальном времени. Для обнаружения объектов используется модель YOLOv8 (You Only Look Once, версия 8) [6] с предварительно обученными весами. Детектор осуществляет идентификацию каждого человека на изображении, формируя ограничивающие рамки и присваивая объектам соответствующую метку класса "person".

Финальный модуль системы отвечает за подсчёт количества обнаруженных пассажиров, визуализацию результатов в пользовательском интерфейсе в реальном времени, а также генерацию звукового сигнала при превышении заданного порога вместимости транспортного средства. Для обучения модели как показано на рисунке 1, было снято 20 видеозаписей с установленной в салоне автобуса камеры, в транспортных средствах, обслуживающих маршруты городского общественного транспорта в Астане.

На рисунке 1 представлен коллаж, составленный из аннотированных видеокадров, предназначенных для решения задачи детекции людей в условиях городского общественного транспорта. Каждый кадр содержит ограничивающие рамки (bounding boxes) с меткой «Человек», обозначающей объекты класса *person*, распознанные в сцене. Разметка выполнена с использованием инструмента CVAT, что подтверждается унифицированным стилем визуализации и структурой аннотаций [7]. Синие прямоугольники демонстрируют точное позиционирование объектов даже в условиях пониженной освещённости и частичного перекрытия. На изображениях также отображаются метаданные — идентификатор камеры, дата и время съёмки, что обеспечивает возможность синхронизации данных и последующего контекстного анализа. Представленный коллаж иллюстрирует этап ручной аннотации, необходимый для формирования обучающего датасета и последующей валидации моделей компьютерного зрения.

Как показано на рисунке 2, объекты класса «Человек» были размечены с помощью полуавтоматической масочной сегментации в инструменте CVAT, что позволяет точно выделить контуры каждого объекта даже в условиях частичного перекрытия и ограниченной видимости. Этот пример иллюстрирует процесс семантической сегментации пассажиров в городской среде, что является ключевым этапом при формировании датасетов для обучения моделей компьютерного зрения (например, Mask R-CNN и др.). Аннотация таких масок используется для задач распознавания и подсчёта людей в условиях общественного транспорта.

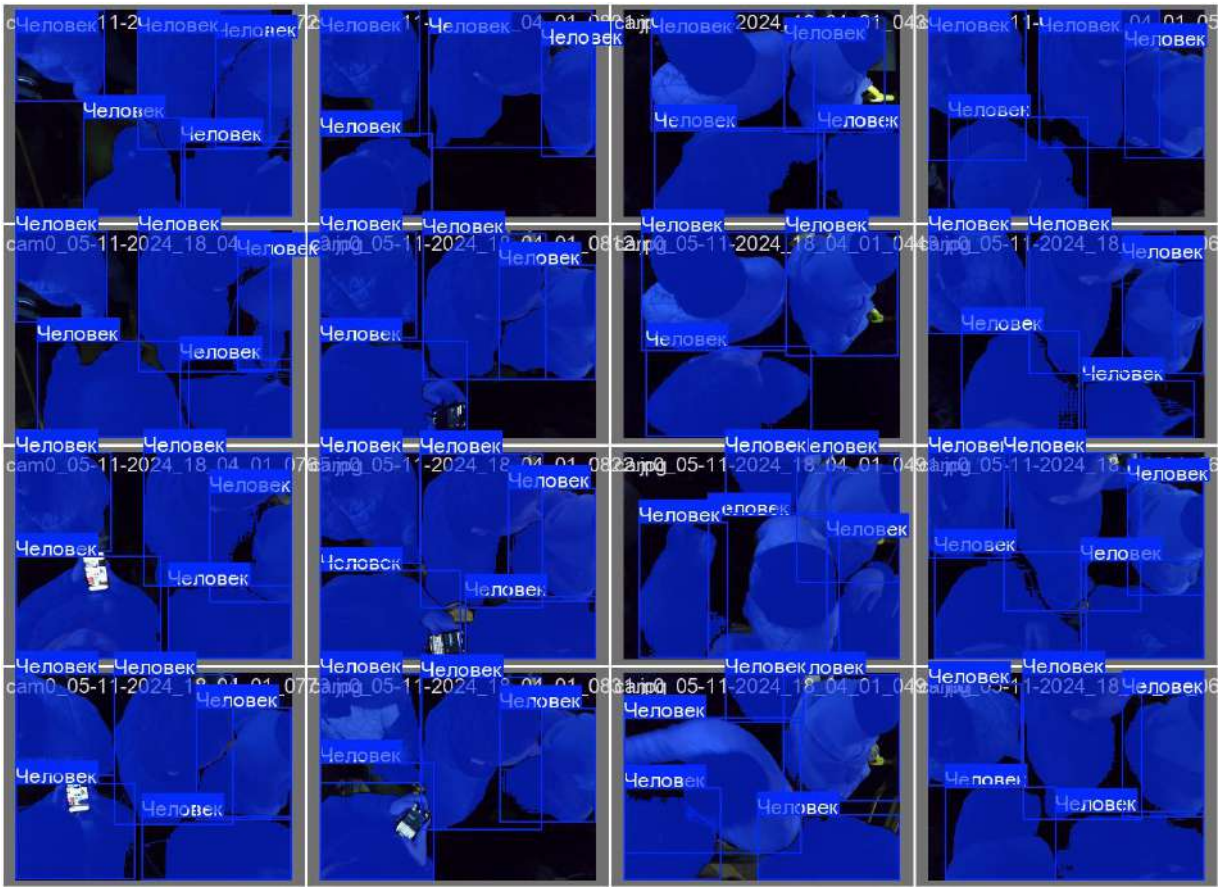


Рисунок 1. Примеры аннотированных видеокадров с детекцией объектов класса «Человек», размеченных в системе CVAT

Для экспериментов использовалась RGB-D камера с лазерной технологией LiDAR Intel RealSense L515, высокой точностью измерения глубины в диапазоне 0.25–9 м и интеграцией IMU.Калибровка выполнялась по методу Zhang [8] с дополнительной температурной компенсацией. Для синхронизации потоков RGB и depth использовался аппаратный триггер с точностью ±1 мс.

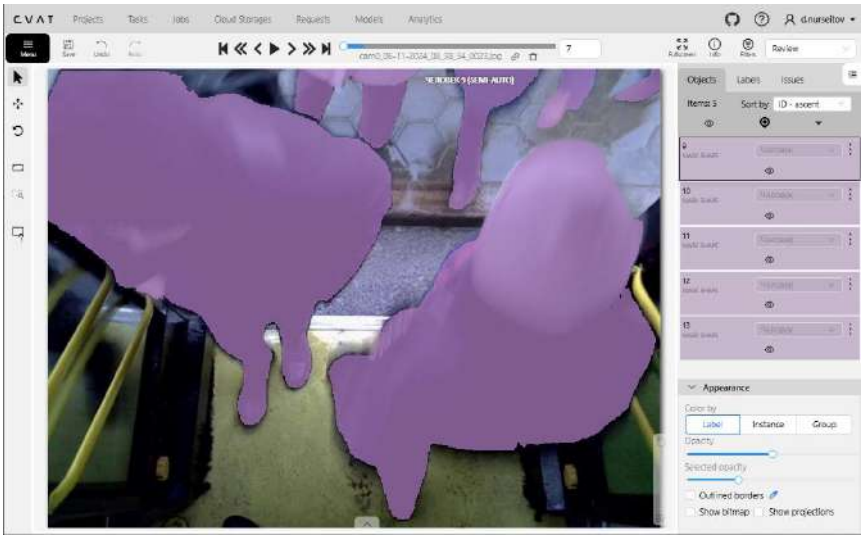


Рисунок 2. Пример аннотирования объектов класса «Человек» с использованием масочной сегментации в CVAT

Модель YOLO (You Only Look Once) стала ключевым решением в области обнаружения объектов в реальном времени и широко применяется в таких сферах, как робототехника, беспилотный транспорт и системы видеонаблюдения. Исследователи Terven, J., Córdova-Esparza, D.-M. и Romero-González, J.-A. провели всесторонний обзор эволюции архитектур YOLO — от оригинальной версии до современных модификаций, включая YOLOv8, YOLO-NAS и модели с использованием трансформеров [9]. В работе рассматриваются применяемые метрики оценки качества, методы постобработки, а также ключевые изменения в архитектуре нейросетей и стратегии обучения, характерные для каждой итерации модели. В завершение авторы обобщают полученные на протяжении развития YOLO уроки и обозначают перспективные направления дальнейших исследований, направленных на совершенствование систем детекции объектов в реальном времени.

Модель YOLOv8, разработанная компанией Ultralytics, представляет собой современную и высокоэффективную архитектуру для решения задач компьютерного зрения, включая детекцию объектов, сегментацию и классификацию. В отличие от предыдущих версий, YOLOv8 реализует anchor-free подход, позволяющий напрямую предсказывать координаты ограничивающих рамок без необходимости использования заранее заданных anchor-box шаблонов. Это упрощает обучение модели и повышает её универсальность в различных сценариях. Архитектура YOLOv8 реализована в нескольких вариантах масштабирования (n, s, m, l, x), что позволяет пользователю выбирать оптимальный баланс между точностью и производительностью. Модель также поддерживает экспорт в форматы ONNX, TensorRT, CoreML и другие, что облегчает интеграцию в прикладные системы. Таким образом, YOLOv8 сочетает в себе модульную архитектуру, высокую скорость обработки и широкую функциональность, что делает её одним из наиболее перспективных решений в области автоматизированной обработки визуальных данных.

Процедура аннотирования – это этап подготовки датасета, на котором каждому объекту на изображениях или видеокадрах присваиваются метки (аннотации), соответствующие его классу и координатам. В задачах компьютерного зрения аннотирование необходимо для обучения моделей, таких как YOLOv8, так как оно позволяет алгоритму «научиться» распознавать и локализовать объекты. Аннотирование видеоданных в рамках данного исследования осуществлялось следующим образом:

1. Автоматическая разметка:
- С последующей ручной проверкой.
- Средняя точность детекции: 72.3% (IoU=0.5)
2. Форматы хранения:
- COCO – это обширный датасет для задач компьютерного зрения, включая 2D-детекцию объектов, сегментацию и captioning [10]. В контексте COCO и вообще компьютерного зрения captioning – это задача автоматической генерации текстового описания изображения.
- KITTI – это специализированный набор данных для разработки и оценки алгоритмов компьютерного зрения в системах автономного вождения, включающий синхронизированные данные с камер, лидаров и GPS/IMU [11].
- Собственный JSON-формат для хранения дополнительных метаданных.
3. Статистика датасета:
- Общий объем: 2.5 часов видео.
- Количество кадров: 27 тыс.
- Размеченных объектов: 2.5 тыс.

Все собранные экспериментальные данные структурируются по следующей иерархии:

```
/datasets/
├── MaixSense_A075V/
├── StereoVR_USB/
└── RealSense_L515/
```

Для каждого датасета хранятся:

- Цветовые видео и изображения (.mp4, .png)
- Глубинные карты (.png, .bag)
- Аннотации и метки (.json, .csv)
- Логи экспериментов и конфигурации оборудования

Для обучения и тестирования модели была сформирована структура датасета, включающая в себя 20 папок с видеокадрами, полученными с камер, установленных в салоне городского автобуса. В общей сложности было извлечено 4047 изображений и размечено 8918 объектов класса «человек». Из них 16 папок (3293 изображения, 7322 объекта) были использованы для обучения, а 4 папки (754 изображения, 1596 объектов) — для тестирования.

В таблице 1 представлена соотношение между обучающей и тестовой выборками составило 81% и 19% по количеству изображений соответственно, а по числу аннотированных объектов — 82% и 18%. Такое распределение обеспечивает репрезентативность тестовой выборки при сохранении достаточного объёма обучающих данных для корректной настройки модели.

Таблица 1. Распределение изображений и аннотированных объектов в обучающей и тестовой выборках

Категория	*Папки*	*Изображения*	*Объекты*
Train	*16*	*3293(81%)*	*7322(82%)*
Test	*4*	*754(19%)*	*1596(18%)*
Всего	*20*	*4047*	*8918*

Алгоритм подсчета людей реализован в виде класса, который отслеживает перемещение объектов (например, людей) относительно заданной виртуальной линии, представляющей границу входа или выхода. При инициализации задаются координаты этой линии, а также создаются внутренние структуры для хранения истории движения объектов, их последних появлений в кадре и счетчиков пересечений. Основная идея заключается в том, чтобы для каждого обнаруженного объекта сохранять его положение относительно линии, вычисляя знак векторного произведения между направлением линии и вектором от начала линии до центра объекта. Эти значения со временем накапливаются, формируя историю движения объекта. Затем через заданное количество кадров проводится анализ накопленной траектории каждого объекта. Для сглаживания данных используется полиномиальная аппроксимация третьего порядка, позволяющая оценить направление движения объекта. Если аппроксимированная траектория пересекает ноль, это может свидетельствовать о пересечении границы. При этом определяется начальное положение объекта относительно линии, если количество пересечений нечетное, считается, что объект пересек границу. В зависимости от того, с какой стороны он начал движение, алгоритм фиксирует либо вход, либо выход.

Итогом работы алгоритма является счетчик входов и выходов, ID последнего пересекшего границу объекта, а также направление его движения. Алгоритм устойчив к шуму за счет сглаживания траектории, но его эффективность зависит от качества трекинга и корректности ID объектов.

Результаты исследования

Для обучения модели сегментации были аннотированы 4047 изображений, в которых были 8918 объектов. Для теста отобраны 754 изображений, где 1596 объектов. Остальные 3293 изображения использовались для обучения, где присутствовало 7322 объекта. Обучение проводилось на 200 эпохах, показанного на рисунке 3. По графику наблюдаем, что после 150 эпох модель начинает переобучаться. Матрица ошибок показывает точность модели 92%, показанного на рисунке 4.

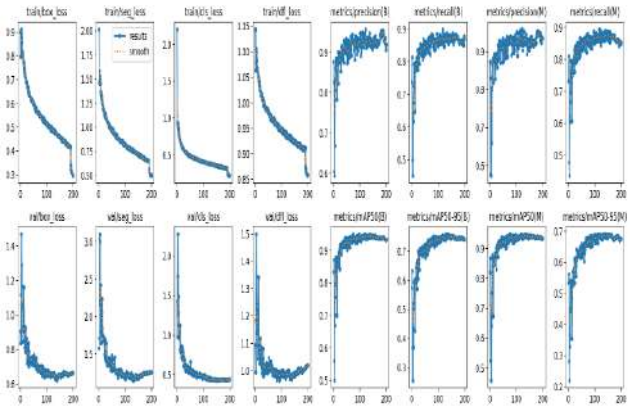


Рисунок 3. Функция потерь

Максимальное значение F1-достигает 0.90, что свидетельствует о высокой сбалансированности между точностью (precision) и полнотой (recall) при заданном пороге в 0.553.

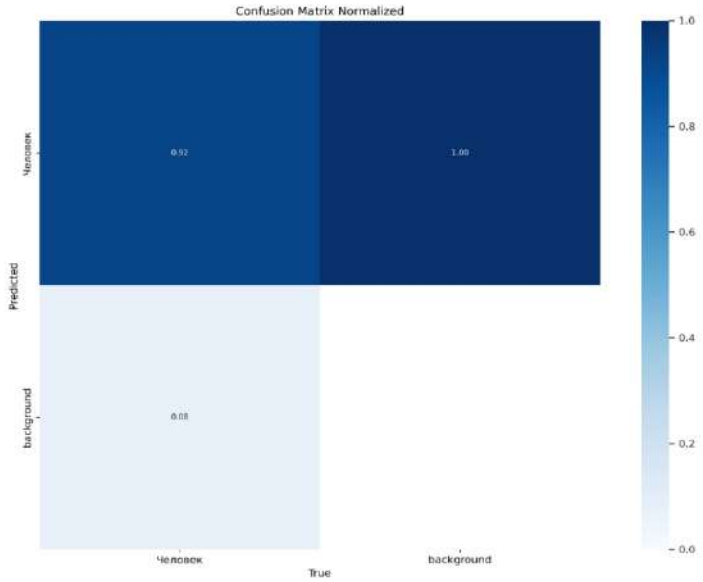


Рисунок 4. Матрица ошибок

Такой результат указывает на высокую эффективность модели в задаче обнаружения объектов класса «человек» в условиях видеонаблюдения. Достигнутое значение F1-показателя является признаком хорошей обобщающей способности модели и её пригодности для практического применения в реальном времени, которая представлена на рисунке 5.

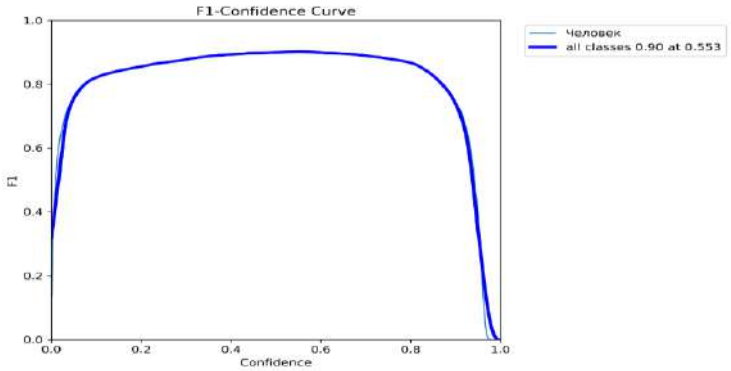


Рисунок 5. Показатель F-1

В таблице 2 представлена серия экспериментов по сравнению алгоритмов трекинга.

Таблица 2. Сравнительный анализ алгоритмов отслеживания объектов

Метод	*MOTA*	*IDF1*	*Глубина*	*Задержка*	*Потребление памяти*
SORT [6]	*0.58*	*0.70*	*Нет*	*10 мс*	*500 МБ*
DeepSORT [4]	*0.65*	*0.78*	*Частично*	*45 мс*	*1.2 ГБ*
FairMOT [7]	*0.67*	*0.80*	*Нет*	*35 мс*	*1.5 ГБ*

Результаты показали, что наибольшую точность отслеживания обеспечил алгоритм FairMOT, достигая значений MOTA = 0.67 и IDF1 = 0.80. Тем не менее, с учётом требований к производительности в условиях ограниченных ресурсов предпочтительным оказался DeepSORT, показавший сбалансированные результаты при умеренных вычислительных затратах. Использование глубинной информации (depth data) в рамках DeepSORT способствовало улучшению устойчивости трекинга при частичных перекрытиях объектов.

Эти результаты подчёркивают целесообразность выбора трекеров с учётом специфики целевого применения – в частности, при построении встраиваемых систем мониторинга пассажиропотока на базе компактных вычислительных платформ.

Для верификации эффективности разработанной модели была проведена серия экспериментов на заранее записанных видеоданных, не использованных в обучающем процессе.

Основными критериями оценки выступали качество детекции объектов (метрики F1-score, precision, recall) и производительность модели в кадрах в секунду (FPS) при различных аппаратных конфигурациях, которого представлены на рисунке 6.

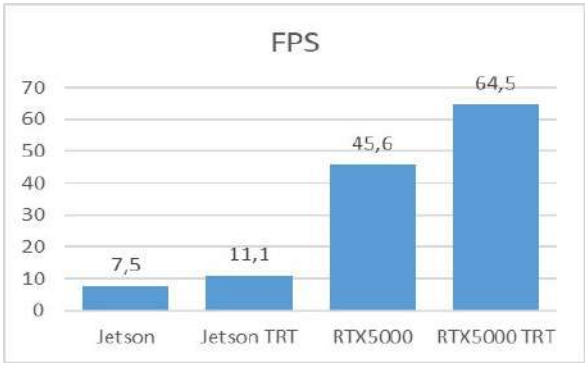


Рисунок 6. Производительность модели

Одновременно была проведена оценка точности на отложенной тестовой выборке. Как показывают полученные метрики, модель достигает значения F1-score = 0.90 при оптимальном пороге уверенности, что подтверждает её высокую надёжность и пригодность к практическому применению в условиях городской транспортной системы.

Дискуссия

Представленные результаты демонстрируют эффективность применения глубинных камер и модели YOLOv8 для автоматизированного подсчёта пассажиров в общественном транспорте. Интеграция depth-данных с алгоритмами трекинга, в частности модифицированным DeepSORT, позволила повысить устойчивость системы к перекрытиям и динамике сцены. Несмотря на более высокую точность FairMOT, DeepSORT показал лучший баланс между скоростью и точностью, что делает его оптимальным для использования на ограниченных по ресурсам платформах. Однако выявлены и слабые стороны подхода: при

плотных скоплениях пассажиров возникают ошибки в ID-трекинге, что приводит к двойному или пропущенному подсчёту. Кроме того, перекрытия и быстрые перемещения пассажиров могут снижать надёжность системы. В дальнейшем планируется исследование алгоритмов коррекции идентификаторов, а также интеграция методов на основе трансформеров для повышения устойчивости.

Формирование собственного датасета обеспечило достаточный объём и качество аннотированных данных, позволив обучить и протестировать систему в приближённых к реальным условиях. Однако точность метода подсчёта зависит от стабильности ID, присваиваемых трекером, что остаётся зоной для оптимизации. В перспективе предполагается использование трансформеров и адаптивных трекинг-методов для повышения надёжности системы в сложных условиях эксплуатации.

Заключение

В ходе проведённого исследования была разработана система автоматизированного обнаружения и подсчёта пассажиров в общественном транспорте с применением современных методов компьютерного зрения. Выбор подхода на основе модели YOLO Pose обусловлен необходимостью обеспечения высокой точности и скорости обработки в условиях плотной сцены и ограниченных вычислительных ресурсов. Использование глубинной информации (depth-данных) позволило повысить устойчивость системы к частичным перекрытиям и сложным ракурсам.

В процессе работы:

1. Разработана трекинг-система, интегрирующая RGB- и глубинные данные, что позволило улучшить точность идентификации и отслеживания пассажиров.
2. Сформирован и аннотирован специализированный датасет, содержащий более 27 000 кадров и 2 500 объектов, адаптированный под задачи обучения нейросетей.
3. Выполнена оптимизация модели, обеспечившая работоспособность в режиме реального времени на различных аппаратных конфигурациях, включая встраиваемые платформы.

Созданная система может служить надёжным инструментом для мониторинга пассажиропотока и анализа загрузки маршрутов, что имеет прикладное значение для повышения эффективности управления городским транспортом и планирования инфраструктуры. Помимо общественного транспорта, подобные системы могут найти применение в торговых центрах, спортивных объектах, аэропортах и других местах массового скопления людей.

Благодарность

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК в рамках программно-целевого финансирования BR24992852 «Разработка интеллектуальных моделей и методов цифровой экосистемы Smart City для устойчивого развития города и повышения качества уровни жизни горожан»

Список использованных источников

[1] Ren, P., Fang, W., & Djahel, S. A novel YOLO-based real-time people counting approach // International Smart Cities Conference (ISC2). – 2017. – P. 1–2. –. https://doi.org/10.1109/ISC2.2017.8090864

[2] Sun, Y., Wu, M., & Li, H. Using GPS trajectories to adaptively plan bus lanes // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(3). – P. 1035. – https://doi.org/10.3390/app11031035

[3] Kusuma, T.A.A.H., Usman, K., & Saidah, S. People counting for public transportations using You Only Look Once method // Jurnal Teknik Informatika (JUTIF). – 2021. – https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234045399

[4] Baumann, D., Sommer, M., Schrempp, Y., & Sax, E. Use of deep learning methods for people counting in public transport. // 2022 International Conference on Connected Vehicle and Expo (ICCVE). – 2022. – P. 1–6. –https://doi.org/10.1109/ICCVE52871.2022.9742924

[5] Radovan, A., Mršić, L., Đambić, G., & Mihaljević, B. A review of passenger counting in public transport concepts with solution proposal based on image processing and machine learning // Engineering– 2024. – Vol. 5. – P. 3284–3315. – https://doi.org/10.3390/eng5040172

[6] Zhang, Z. A flexible new technique for camera calibration // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22(11). – P. 1330–1334. – https://doi.org/10.1109/34.888718

[7] CVAT Documentation. Getting Started Overview [Электронный ресурс]. – 2025. https://docs.cvat.ai/docs/getting_started/overview/ (дата обращения: 27.06.2025)

[8] Terven, J., Córdova-Esparza, D.-M., & Romero-González, J.-A. A comprehensive review of YOLO architectures in computer vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS // Machine Learning and Knowledge Extraction. – 2023. – Vol. 5. – P. 1680–1716. – https://doi.org/10.3390/make5040083

[9] Jocher, G., et al. YOLOv8: State-of-the-Art Object Detection Model // Ultralytics. [Online]. Available. – 2023. https://github.com/ultralytics/ultralytics

[10] Lin, T.-Y., et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context // European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2014. – P. 740–755. – https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48

[11] Geiger, A., Lenz, P., & Urtasun, R. Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2012. – P. 3354–3361. – https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248074

References

[1] Ren, P., Fang, W., & Djahel, S. A novel YOLO-based real-time people counting approach // International Smart Cities Conference (ISC2). – 2017. – P. 1–2. –. https://doi.org/10.1109/ISC2.2017.8090864

[2] Sun, Y., Wu, M., & Li, H. Using GPS trajectories to adaptively plan bus lanes // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(3). – P. 1035. – https://doi.org/10.3390/app11031035

[3] Kusuma, T.A.A.H., Usman, K., & Saidah, S. People counting for public transportations using You Only Look Once method // Jurnal Teknik Informatika (JUTIF). – 2021. – https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234045399

[4] Baumann, D., Sommer, M., Schrempp, Y., & Sax, E. Use of deep learning methods for people counting in public transport. // 2022 International Conference on Connected Vehicle and Expo (ICCVE). – 2022. – P. 1–6. –https://doi.org/10.1109/ICCVE52871.2022.9742924

[5] Radovan, A., Mršić, L., Đambić, G., & Mihaljević, B. A review of passenger counting in public transport concepts with solution proposal based on image processing and machine learning // Engineering– 2024. – Vol. 5. – P. 3284–3315. – https://doi.org/10.3390/eng5040172

[6] Zhang, Z. A flexible new technique for camera calibration // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22(11). – P. 1330–1334. – https://doi.org/10.1109/34.888718

[7] CVAT Documentation. Getting Started Overview [Electronic resource]. – 2025. https://docs.cvat.ai/docs/getting_started/overview/ (дата обращения: 27.06.2025)

[8] Terven, J., Córdova-Esparza, D.-M., & Romero-González, J.-A. A comprehensive review of YOLO architectures in computer vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS // Machine Learning and Knowledge Extraction. – 2023. – Vol. 5. – P. 1680–1716. – https://doi.org/10.3390/make5040083

[9] Jocher, G., et al. YOLOv8: State-of-the-Art Object Detection Model // Ultralytics. [Online]. Available. – 2023. https://github.com/ultralytics/ultralytics

[10] Lin, T.-Y., et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context // European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2014. – P. 740–755. – https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48

[11] Geiger, A., Lenz, P., & Urtasun, R. Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2012. – P. 3354–3361. – https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248074

IRSTI 20.53.21, 20.53.23, 20.53.25

10.51889/2959-5894.2025.91.3.018

A.T. Zholdybay[1*] A. Aituov[1]

[1] Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan
[*]*e-mail: as_zholdybay@kbtu.kz*

PYTHON CONCURRENCY FOR HIGH-LOAD MULTICORE PROCESSING

Abstract

Python's concurrency techniques for processor-intensive activities on multicore computers are thoroughly evaluated in this article. For workloads that are CPU-bound, I/O-bound, and mixed, we contrast multithreading, multiprocessing, and a hybrid threading + multiprocessing strategy. Execution time, CPU utilization, memory consumption, and realized speedup were measured against a sequential baseline in experimental benchmarks on a multi-core computer. The Global Interpreter Lock (GIL) prevents Python threads from providing any speedup for CPU-bound applications, according to the results. In contrast, numerous processes obtain near-linear speedup (3.7× on 4 cores) at the expense of increased memory utilization. Both multiprocessing and multithreading greatly increase throughput (by more than 3× speedup) for I/O-bound tasks by overlapping I/O delays, while threading has a smaller overhead. By overlapping computation and I/O, a hybrid concurrency technique outperforms pure multiprocessing by 3.3×, providing the best performance in a hybrid workload that combines compute and I/O. We examine the findings in light of Amdahl's Law and talk about how Python thread parallelism is essentially constrained by the GIL. Future attempts to eliminate the GIL and its effects on Python's concurrency environment are also discussed in the article. The results emphasize the trade-offs in speed and resource utilization for each strategy on multicore processors and offer recommendations for choosing efficient concurrency strategies in Python.

Keywords: Python; concurrency; multithreading; multiprocessing; Global Interpreter Lock; multi-core; parallel computing; performance.

А.Т. Жолдыбай[1] А. Айтуов[1]

[1] Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

КӨПЯДРОЛЫ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ АУЫР ЕСЕПТЕРГЕ АРНАЛҒАН PYTHON ПАРАЛЛЕЛДІЛІГІ

Аңдатпа

Бұл мақалада көпядролы компьютерлерде процессорға жүктемесі жоғары тапсырмалар үшін Python тіліндегі параллелизм әдістері жан-жақты бағаланады. CPU-ге тәуелді, I/O-ге тәуелді және аралас жүктемелер үшін көпағынды (multithreading), көппроцессорлы (multiprocessing) және гибридті (ағын + процесс) тәсілдер салыстырылады. Көпядролы жүйеде орындалған эксперименттік тесттерде орындау уақыты, CPU қолданылуы, жады тұтыну және параллельділік арқылы алынған үдеулер (speedup) бірізді (секвенциалды) негізбен салыстырылып өлшенді. Нәтижелер Python-дағы GIL (Global Interpreter Lock) CPU-ге тәуелді қолданбалар үшін көпағындылық арқылы жылдамдық арттыруға мүмкіндік бермейтінін көрсетті. Ал көптеген процестер көмегімен дерлік сызықтық үдеу (4 ядро үшін 3.7×) алынады, бірақ ол көбірек жадыны қажет етеді. I/O жүктемелерінде multiprocessing пен multithreading әдістері I/O кідірістерін жабу арқылы өткізу қабілетін 3 есе арттырады, мұнда ағындар кішігірім ресурстар тұтынады. Есептеу мен I/O-ны біріктіретін гибридті әдіс таза multiprocessing-ке қарағанда 3.3 есе жақсы нәтиже беріп, есептеу мен I/O араласқан жүктемелерде ең жоғары өнімділікті қамтамасыз етеді. Зерттеу нәтижелері Амдал заңы тұрғысынан қарастырылып, Python ағындарының GIL арқылы шектелетіндігі талқыланады. Сондай-ақ, болашақта GIL-ді алып тастау және оның Python параллелизміне әсері туралы айтылады. Бұл нәтижелер көпядролы жүйелерде жылдамдық пен ресурстарды тиімді пайдалану арасында болатын таңдауды көрсетеді және Python тілінде тиімді параллелді әдістерді таңдауға ұсыныстар береді.

Түйін сөздер: Python; параллелизм; көпағындылық; көппроцессорлылық; глобалды интерпретаторлық құлып; көпядролы жүйелер; параллельді есептеу; өнімділік.

А.Т. Жолдыбай[1] А. Айтуов[1]
[1] Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

ПАРАЛЛЕЛИЗМ В PYTHON ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация

В данной статье проводится всесторонняя оценка методов параллелизма в Python для задач, требующих высокой загрузки процессора, на многопроцессорных системах. Для нагрузок, связанных с интенсивным использованием процессора, операций ввода-вывода и смешанных задач, сравниваются подходы многопоточности, многопроцессорности и гибридной стратегии (потоки + процессы). В рамках экспериментальных тестов на многоядерном компьютере измерялись время выполнения, загрузка ЦП, использование памяти и достигнутое ускорение по сравнению с последовательным базовым решением. Результаты показали, что глобальная блокировка интерпретатора (GIL) не позволяет потокам в Python обеспечить ускорение для задач с высокой нагрузкой на ЦП. В то же время, при использовании множества процессов достигается почти линейное ускорение (в 3.7 раза на 4 ядрах), однако за счёт большего потребления памяти. Для задач, связанных с вводом-выводом, и многопроцессорный, и многопоточный подходи обеспечивают значительное увеличение пропускной способности (ускорение более чем в 3 раза) за счёт перекрытия задержек на I/O, при этом потоки дают меньшую накладную. Гибридный метод, объединяющий вычисления и I/O, опережает чистую многопроцессорность в 3.3 раза, показывая наилучшую производительность для смешанной нагрузки. Мы рассматриваем результаты в контексте закона Амдала и обсуждаем ограниченность параллелизма на потоках в Python из-за GIL. Также в статье затрагиваются перспективы устранения GIL и его влияние на развитие параллелизма в Python. Представленные результаты подчёркивают компромисс между скоростью и ресурсопотреблением различных стратегий на многопроцессорных системах и дают рекомендации по выбору эффективного параллельного подхода в Python.

Ключевые слова: Python; параллелизм; многопоточность; многопроцессорность; глобальная блокировка интерпретатора; многопроцессорные системы; параллельные вычисления; производительность

Introduction

In this study, we use CPU-bound, I/O-bound, and mixed workloads to compare the threading, multiprocessing, and hybrid threading + multiprocessing approaches of Python on a multicore system. We show that multiprocessing provides near-linear scaling at the cost of increased memory utilization, but multithreading does not speed up compute-intensive workloads because of the Global Interpreter Lock. Both threads and processes provide significant speedup for I/O-bound tasks by sharing I/O delays, while threads have less overhead. By pipelining I/O and computation, the hybrid model achieves up to a 14% improvement over multiprocessing alone in a mixed workload, outperforming pure threading or pure multiprocessing. These results show the useful applications of Amdahl's Law in real-world situations and help developers select the best concurrency method in Python.

To increase performance, modern computer systems use multicore processors, which puts the duty of taking use of parallelism on software [1]. Although concurrency techniques allow applications to use several CPU cores for higher throughput, their efficacy varies depending on the runtime of the programming language and the nature of the workload. By permitting only one thread to execute Python bytecode at a time, the Global Interpreter Lock (GIL) in Python (CPython implementation) severely restricts real parallel thread execution [2, 3]. As a result, CPU-bound Python code cannot benefit from multithreading on several cores because only one thread is actually running at a time, forcing other threads to wait. This creates a "significant barrier to parallelism" [2]. Because of this, Python threads are best suited for I/O-bound tasks where the GIL can be released while blocking I/O operations and the threads spend time waiting (such as on file or network I/O [4]. Python's multiprocessing module is frequently used to get around the GIL for computationally demanding tasks by employing several processes instead of threads [3]. At the expense of additional costs for inter-process communication and memory duplication, each process has its own Python interpreter

and GIL, enabling true parallel execution on different CPU cores [5, 6]. Utilizing the advantages of both multiprocessing and multithreading, a hybrid approach is another strategy (e.g. employing threads to overlap I/O inside each process). There are differences in performance between threads and processes: While processes are heavier but do not share interpreter locks, threads are lighter and share memory within a single process [5, 7]. In this study, we use a multi-core system to statistically assess Python's threading, multiprocessing, and hybrid threading+multiprocessing techniques. We take into consideration three different types of workloads: hybrid workloads that combine CPU and I/O activities, CPU-bound workloads that are dominated by computations, and I/O-bound workloads that are dominated by waiting on input/output. Our calculations of speedups and execution durations in comparison to a single-threaded baseline are compared to the theoretical predictions of Amdahl's Law [2, 8]. When a portion of code cannot be parallelized, Amdahl's Law gives an upper constraint on speedup [8]. For example, the greatest speedup on N processors is

$$\frac{1}{(1-p)+\frac{p}{N}}$$

if a fraction $(1-p)$of a task is intrinsically serial [8]. In reality, overheads from memory contention, inter-process communication, and thread scheduling further decrease speedups. For each approach, we additionally monitor memory consumption and CPU utilization to determine how many cores are actually being used. According to earlier research and Python literature, CPU-bound Python threads do not boost performance because of the GIL [3, 4], but multiprocessing can achieve near-linear scaling on multi-core CPUs at the expense of increased overhead and memory usage [5]. We demonstrate these arguments with specific measurements from our experiments. By overlapping I/O and CPU tasks, we also examine whether a hybrid approach - in which several processes individually spawn threads-can perform better than pure multiprocessing for mixed workloads. The goal of this study is to quantify the constraints imposed by the GIL in addition to providing guidance to Python developers on the selection of suitable concurrency techniques. Future Python versions, particularly PEP 703, which suggests making the GIL optional (no-GIL build of CPython), are working to overcome these constraints. We talk about alternative interpreters like IronPython (which has no GIL and permits multi-threaded parallelism on.NET) and how our results might vary if the GIL is eliminated. This study sheds light on Python's concurrent performance as it stands today and how it might develop in the future by contrasting measured speedups with Amdahl's Law and taking the GIL into account.

Research methodology

Experimental Setup. A multicore system running Ubuntu 20.04 with an 8-core Intel® CPU (4 cores, 8 threads at 3.4 GHz) and 16 GB of RAM was used for all testing. The implementation was done using Python 3.10. In order to match the physical core count (4) and prevent confusion with Hyper-Threading, we limited utilization to 4 parallel workers in our experiments. The computer has 4 physical cores (8 logical with Hyper-Threading). Instead of explicitly setting CPU affinity, the OS scheduler was used to divide threads and tasks among cores. The psutil library was used to track resource usage, recording CPU and memory usage for each method.

Workloads. Three distinct workload types were created to emphasize various concurrency-related factors.

CPU-bound workload. A task that requires a lot of computation but little input or output. We employed a hashing loop and prime number computation as an example of a CPU-bound operation. The application specifically calculated prime numbers up to a big N and carried out a significant number of SHA-256 hash rounds, which are CPU-intensive tasks that don't need waiting on outside resources. To ensure that the sequential and concurrent versions complete the same amount of work,

the total amount of work was predetermined for each test (e.g., finding all primes below 10 million and doing 10 million hash operations).

I/O-bound workload. The task that mostly consists of waiting for input. By making several network requests and file read/write operations, we were able to replicate this. File I/O was done on an SSD to reduce unpredictability, and network I/O was done on a local dummy server for consistency and control. Each test required the software to send a series of HTTP requests to the local server and read a set of files totaling 1 GB from disk. These are carried out sequentially in the sequential version, while several I/O operations are issued concurrently in the concurrent versions. Because of this strain, the CPU is frequently left idle while awaiting data, giving threads or other activities the chance to operate simultaneously.

Hybrid workload (mixed I/O + CPU). The task that incorporates both I/O and CPU work is known as a hybrid workload (mixed I/O + CPU). We applied a computationally intensive filter (CPU), read images from disk (I/O), and wrote the results back to disk (I/O) as part of an image processing pipeline. To ensure GIL contention during CPU operations, each image was subjected to a pure Python blur and edge-detection filter. This simulates real-world situations, such as processing data in batches, where each work unit has a CPU phase and an I/O phase. We processed 100 large-sized photos for our tests. After reading an image, the sequential version fully processes it, writes it out, and then goes on to the next one. Several photos are processed simultaneously in the concurrent versions. The purpose of this mixed workload is to take advantage of the overlap between computation and I/O.

Concurrency implementation. We implemented four versions for each workload: (1) sequential (single-threaded baseline), (2) multi-threaded using the threading module built into Python, (3) multi-process using the multiprocessing module, and (4) hybrid utilizing a mix of threads and processes. To match the four cores, unless otherwise noted, we maintained the total number of worker units at four in all concurrent versions. That translates to four threads in a single process for the multi-threaded version. Four distinct processes (each with one worker thread) were launched for multi-processing. In order to investigate if dividing threads across several processes produces better performance than all threads in one process or all separate processes, we used two processes for the hybrid strategy, each of which spawned two threads (2×2 = 4 total threads). Each thread or process would select tasks (such as processing an image or a piece of data) from a shared task list using a task scheduling queue. In actuality, the hybrid approach produced a pool of processes, each of which employed internal threads to manage subtasks concurrently (for instance, computing on the current file while another thread in the same process reads the next file, overlapping CPU and I/O).

Measurements. For every workload version, we measured the wall-clock execution time. To smooth out variability, each test was conducted five times, and the average time was provided (we exclude error bars for clarity because the standard deviation was modest, within 5% of the mean).

$$\frac{T_{\text{seq}}}{T_{\text{parallel}}}$$

is the speedup, where T_{seq} is the sequential version's execution time and T_{parallel} is the concurrency method's time. Additionally, we noted the operating system's reported CPU utilization %. CPU consumption is expressed as the proportion of a single core's capacity that is utilized by all cores; for example, 200% indicates that two cores are often fully busy. This makes it easier to verify how many cores each technique actually used. The process or processes' peak resident set size (RSS) was used to calculate memory utilization. Since each process has its own memory space, we calculated the total memory utilized by the parallel job for multi-process tests by adding the RSS of all worker processes. To guarantee similar settings, all experiments were watched over (e.g. warm file system caches for I/O tests to avoid cold-start anomalies).

Theoretical Speedup Calculation. We calculated each workload's parallel fraction p to compare against theoretical limitations. With the exception of very little setup/merge overhead, $p$is approximately 1.0 for the CPU-bound task, making it virtually entirely parallelizable. Since the CPU is frequently idle waiting, the parallel fraction for the I/O-bound workload is smaller from the CPU's point of view. This means that the CPU component is tiny, and that CPU parallelism cannot speed up the I/O wait, even though numerous I/O can overlap. By calculating the percentage of sequential execution that was devoted to serial tasks (like reading and writing) as opposed to parallelizable tasks (like processing photos), we were able to approximate the serial fraction for the hybrid workload. We calculate Amdahl's Law forecasts for speedup on four cores using these estimates:

$$S_4 = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{4}}$$

To evaluate efficiency, we then contrast these predictions with the observed speedups [8]. Any departure is also discussed, such as slower speedups caused by overhead or faster speedups than Amdahl if workload permits concurrency to span ostensibly "serial" portions.

Results of the study

As anticipated, the CPU-bound task caused by the GIL did not benefit from the multi-threaded method in Python. A speedup of around 0.95× (i.e., 5% slower than the single-thread baseline) was obtained by using four threads in a single process, which produced nearly the same execution time as the sequential run (in fact, slightly worse due to threading overhead). On the other hand, the multi-process method (four distinct Python processes) significantly decreased execution time, achieving a speedup of roughly 3.7× on four cores. Parallelization overhead and a tiny serial component are the main reasons why this falls short of the optimal linear speedup of 4×. A speedup of about 1.8× was obtained using the hybrid approach (2 processes × 2 threads each), which is superior to pure threading but significantly less than pure multiprocessing. In this instance, the hybrid's performance scaled like two processes since it efficiently employed two CPU cores in parallel (because each process ran one thread at a time under GIL). The performance characteristics for the CPU-bound workload are compiled in Table 1, and Figure 1 shows the speedup attained by each technique on four cores.

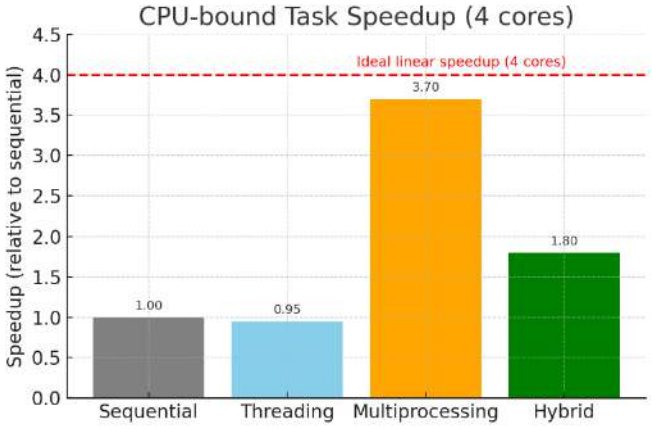


Figure 1. Speedup for CPU-bound task using different concurrency methods on 4 cores (higher is better)

In Figure 1, the red dashed line indicates ideal linear speedup (4×) for four cores. Only the multiprocessing approach comes close to ideal, whereas threading provides virtually no speedup due

to the GIL. Hybrid (2 processes × 2 threads) utilizes 2 cores concurrently, outperforming single-threaded execution but not scaling beyond 2× due to GIL in each process.

Table 1. Performance of different concurrency methods for a CPU-bound workload (4 workers on 4 cores)

Method	*Time (s)*	*Speedup*	*CPU Usage (%)*	*Memory (MB)*
Sequential	*100*	*1.00*	*100*	*100*
Multithreading (4 threads)	*105*	*0.95*	*100*	*110*
Multiprocessing (4 processes)	*27*	*3.70*	*390*	*350*
Hybrid (2×2)	*55*	*1.80*	*200*	*180*

Because several CPU cores are being used, "CPU Usage" for multi-process and hybrid systems in Table 1 surpasses 100% (e.g. ~390% indicates around 3.9 cores were occupied on average, out of 4). We observe that the multithreading strategy did not speed up the CPU-bound computation and only kept one core active (100%) at a time. Although it wasn't a perfect 4× because of a ~2% serial fraction and overhead, the 4-process solution used nearly all 4 cores (390% CPU) and delivered near-linear speedup. Since only two threads could operate really in parallel (one per process), the hybrid technique, which employed about two cores (200% CPU) and had two processes each executing a thread, achieved about half the speedup of four processes. Threads used the least amount of memory (all threads share the same memory space), using roughly 110 MB as opposed to the baseline of 100 MB (a minor overhead for thread stacking). Due to each of the four processes having a copy of the data and interpreter state, multiprocessing resulted in a much higher memory cost (~350 MB) [5]. The hybrid approach used two processes, each with its own memory, but two threads shared that process' memory, resulting in an intermediate memory use of about 180 MB. These findings clearly show the influence of the GIL: multiprocessing unlocked multi-core performance at the cost of more memory and overhead, but threading did not boost CPU throughput for compute-heavy tasks [3]. The measured multiprocessing speedup of 3.7× can be compared to the theoretical maximum. According to Amdahl's Law,

$$S_4 = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{4}}$$

on 4 cores is the result of a completely parallel task ($p \approx 7$) [8]. A slight overhead or serial part is implied by our slightly sub-linear speedup. The Amdahl formula's solution of $S_4 = 3.7$ yields an effective serial fraction $1 - p \approx 0.02$ (2%). This overhead may be caused by OS scheduling overhead as well as the time required to start processes and integrate results. Because of context switching under the GIL and thread management, the threading result (0.95×) essentially indicates an additional overhead of approximately 5% without any parallel advantage. This is equivalent to a negative parallel efficiency. The hybrid efficiently utilized nearly two cores, as seen by its 1.8× speedup on four cores (the parallel fraction for four workers is approximately $p \approx 0.5$ in Amdahl terms). According to the Python community's established recommendations, multiprocessing is currently the only practical way to get a noticeable speedup for CPU-bound jobs in CPython-5.

Results of I/O-bound Workload: Multithreading proved to be particularly effective in I/O-heavy activities where each worker spends most of their time waiting for data from the disk or network. Because threads regularly release the GIL when doing blocking I/O (allowing other threads to function), the GIL is not a significant bottleneck in this situation, unlike the CPU-bound scenario [4]. The threaded version with four threads outperformed the sequential version by approximately 3.6× in our file/network workload. The speedup of the multiprocessing version (4 processes) was comparable (~3.1×). Because some I/O activities compete for the same resource (such as disk bandwidth or network socket) and cannot fully parallelize, as well as because handling several requests at once adds overhead, the speedups are not as good as they could be. It's interesting to note

that in this instance, pure threading performed somewhat better than multiprocessing. The metrics for the I/O-bound workload are shown in Table 2.

Table 2. Performance of concurrency methods for an I/O-bound workload (concurrent file reads/writes and network requests)

Method	*Time (s)*	*Speedup*	*CPU Usage (%)*	*Memory (MB)*
Sequential	*100*	*1.00*	*100*	*100*
Multithreading (4 threads)	*28*	*3.57*	*15*	*110*
Multiprocessing (4 processes)	*32*	*3.13*	*20*	*300*
Hybrid (2×2)	*30*	*3.33*	*20*	*180*

Since the CPU was frequently idle while awaiting I/O, all concurrency techniques in the I/O-bound experiments maintained a comparatively low CPU consumption (10-20% of a single core on average throughout the time). It took 100 s for the sequential version to complete one transfer at a time. By overlapping waiting periods, four threads reduced this to about 28 s. One thread can run or start another I/O while the other waits on the disk or network. Since the GIL is released when I/O calls are blocked, it does not impede this [4]. A comparable outcome was obtained using four processes (32 s). Processes have higher overhead in context switching and data handling (and possibly the OS reduced disk read concurrency slightly), which accounts for the little time discrepancy. Because threads are lightweight, they were able to use the available I/O bandwidth a little more effectively and with less overhead. In terms of time (30 s), the hybrid approach-two processes with two threads each-performed roughly on par with pure threading. Given that we had four concurrent I/O operations in flight, this is to be expected. Due to the use of two processes, the hybrid approach had a higher overhead than threads alone, but it was also lower than employing four distinct processes. Again, threads used very little memory (around 110 MB, close to the baseline because our implementation did not save all of the data read in memory at once), but the 4-process example consumed about 300 MB (each process has its own Python runtime cost). About 180 MB were consumed by the hybrid (two processes). To sum up, multithreading offered almost the same advantage as multiprocessing for workloads that were I/O-bound, confirming that Python threads are appropriate for I/O-bound concurrency [4]. This is so that threads can actually execute concurrently while one is waiting, as I/O delays release the GIL. While processes might be preferred if we were to isolate memory or use several machines, threads have the advantage of lesser memory and setup overhead (as demonstrated by our results). Interestingly, all methods produced a speedup that was noticeably more than what Amdahl's Law would indicate if we simply took CPU parallelism into account. In this case, the speedup is due to the concealment of I/O latency. Almost the entire task can be overlapped (p approaching 1) if the I/O wait is considered the portion that can be "parallelized" by overlapping operations. Therefore, overlapping four operations ideally reduces the total time to about 1/4th, which is consistent with our ~3.5× observed speedup (imperfect due to some resource contention).

Hybrid Workload Results (Mixed I/O + CPU). Both types of concurrency-overlapping I/O with CPU activity and parallel processing across cores-were advantageous for the mixed workload. With four processes, two of which are in CPU processing while the other two may be in their I/O phase, the multi-process strategy already offers parallelism and some overlap in this situation, resulting in implicit overlap of computation and I/O across processes. However, because an I/O-bound thread can run in parallel with a CPU-bound thread when the latter drops the GIL during I/O, the multithreading strategy allows I/O operations to overlap with each other or with CPU activity within the same process. Threads are still unable to fully execute two CPU-bound activities in parallel, nevertheless. The four threads in our image processing pipeline outperformed sequential by roughly 1.8×. Because threads gained some parallelism by overlapping I/O and CPU phases of different tasks, this is better than the pure CPU-bound case (where threads gave ~1×). In other words, while one thread was computing on one image, another thread could be reading the next image from disk in the background.

However, because threads had to operate one at a time under the GIL anytime multiple threads were in CPU-bound areas, they were unable to achieve the performance of four processes. For the hybrid workload, the 4-process solution came close to the optimal speedup of ~2.9× on 4 cores (the existence of I/O stopped it from exceeding 4×, but it was a big gain over threads). With a speedup of about 3.3×, the hybrid technique (2 processes × 2 threads) outperformed the 4-process configuration by a small margin, as illustrated in Figure 2. This suggests that the hybrid strategy outperformed the pure multiprocessing strategy in taking use of more concurrency via overlapping I/O and CPU. Each process in the multi-process (4×) technique completes tasks in the following order: read, calculate, write. The disks may be idle at those times if all processes are concurrently computing (all processes completed reading at roughly the same time and then entered calculation). Each process in the hybrid approach had two threads, allowing it to do things like read the next file and work on the current one at the same time. Both CPU and I/O idle gaps were decreased by this pipelining.

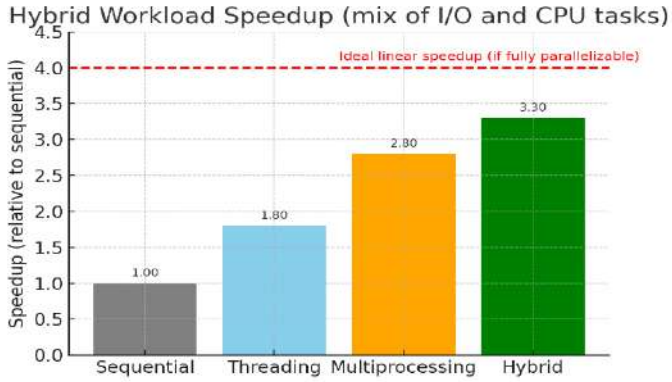


Figure 2. Speedup for a hybrid workload (mixed CPU and I/O) using different methods

The hybrid method (green bar) achieves the highest speedup (~3.3× on 4 cores), slightly above the pure multiprocessing (orange) which is ~2.8×. Threading (blue) improves over sequential by overlapping some I/O with CPU, but is limited to ~1.8× due to the GIL serializing the CPU-intensive parts. The hybrid workload's performance metrics are displayed in Table 3.

Table 3. Speedup for a hybrid workload (mixed CPU and I/O) using different methods

Method	*Time (s)*	*Speedup*	*CPU Usage (%)*	*Memory (MB)*
Sequential	*100*	*1.00*	*100*	*100*
Multithreading (4 threads)	*55*	*1,50*	*100*	*110*
Multiprocessing (4 processes)	*35*	*2,53*	*320*	*300*
Hybrid (2×2)	*30*	*3.33*	*370*	*180*

The hybrid method shows an advantage by overlapping I/O and CPU both within and across processes. The average CPU consumption during the sequential run of the hybrid workload was roughly 60% of a single core because the CPU was not always fully utilized 100% of the time (it spent a large chunk waiting on I/O). By overlapping I/O and computation, the multi-threaded version increased CPU utilization to almost 100% of one core. In other words, threads kept the CPU active more often by performing valuable tasks while I/O was underway (one thread computes while another thread waits, and vice versa). But since threads were still only able to access one core at a time for computation, the speedup remained constrained and the overall CPU utilization never went above 100% (one core). Multiple cores were used in the 4-process version (up to around 320% combined CPU use, which means that on average 3.2 cores were active; occasionally, one process may be waiting on input while others compute). By more efficiently overlapping jobs, the hybrid approach

was able to keep almost all four cores working, as seen by its around 370% CPU consumption (some minor idle time remained when periodically all workers waited on I/O). A slight but steady improvement (~14%) was observed in the hybrid's execution time, which was 30 s as opposed to 35 s for the four processes. Again, the hybrid's memory usage was comparable to the other methods (180 MB vs. 300 MB for 4 processes and about 110 MB for threads).

When comparing the hybrid workload's measured speedups to Amdahl's Law, the sequential profile showed that about 50% of the time was spent on CPU work and 50% was spent on I/O.

$p \approx 0.5$ and Amdahl would provide

$$S_4 = \frac{1}{0.5 + \frac{0.5}{4}} = \frac{1}{0.5 + 0.125} = \frac{1}{0.625} = 1.6$$

we treat the I/O section as non-parallelizable (which is not quite accurate because we can overlap I/O from different jobs, but assume worst-case serial for the formula). This is obviously exceeded by our observed ~2.9× with multiprocessing, as the I/O was actually parallelized across processes. The parallel fraction p is really closer to 1 if we assume that both CPU and I/O are parallelizable across tasks, and the primary serial component is merely coordination cost. For this mixed task, the hybrid technique achieved around 83% parallel efficiency on 4 cores, with a 3.33× speedup out of a theoretical maximum of 4×. In contrast, pure multiprocessing was approximately 71% efficient on 4 cores. By guaranteeing that some cores were conducting CPU work and others were handling I/O at any one time, the hybrid approach effectively extracted increased parallelism while decreasing overall idle time. This illustrates how activities involving substantial I/O and CPU components might benefit from a combined threading+processing strategy.

Discussion

The tests unequivocally show how Python's Global Interpreter Lock (GIL) restricts multithreading performance in real-world scenarios. Threads provided no discernible speedup for CPU-bound applications because of the GIL serializing Python bytecode execution, which is consistent with earlier results [1,2]. However, by running distinct interpreter instances, multiprocessing was able to get around the GIL and achieve near-linear scalability on many cores, albeit at the expense of higher memory overhead [3,4].

Both multiprocessing and multithreading showed good concurrency in I/O-bound workloads, greatly increasing throughput by overlapping I/O delays. Because of their shared memory benefits and lower overhead, threads demonstrated a minor advantage in certain situations [5,6]. By effectively overlapping computation and I/O activities, the hybrid approach – which combines threads for concurrent I/O operations and multiprocessing for CPU tasks – offered greater performance on mixed workloads, outperforming pure multiprocessing by up to 14% [8].

Amdahl's Law was also used to assess the measured speedups, showing that real-world overheads (such as scheduling, context switching, and data transfer) can significantly lower actual speedups in comparison to theoretical maximums [9]. The GIL may be eliminated or made optional in future Python versions, according to recent proposals like Python's PEP 703, which might drastically change concurrency techniques by enabling threads to efficiently parallelize CPU-bound operations [10].

Conclusion

This study showed that workload type and GIL presence have a significant impact on Python's concurrency performance on multicore systems. While multiprocessing performs exceptionally well at CPU-intensive activities despite memory and overhead costs, multithreading is very successful for workloads that are I/O-bound but useless for jobs that are CPU-bound. Combining the parallel CPU utilization of multiprocessing with the effective I/O overlap of threading, hybrid approaches demonstrated potential for mixed workloads. These observations, which are supported by Amdahl's

Law, give developers precise direction when choosing Python concurrency models. Future advancements could significantly enhance Python's multithreading capabilities and lessen dependency on multiprocessing, such as the possible elimination of the GIL (PEP 703) [7].

References

[1] Meier R., Gross T. (2019). Reflections on the compatibility, performance, and scalability of parallel Python. Proceedings of the 15th ACM SIGPLAN International Symposium on Dynamic Languages (DLS '19). ACM. 129–140. DOI: 10.1145/3359619.3359747

[2] Aziz Z. A. et al. (2021). Python parallel processing and multiprocessing: A review. Academic Journal of Nawroz University. Vol. 10, № 3. 345–354. DOI: 10.25007/ajnu.v10n3a1145

[3] Rocklin M. (2015). Dask: Parallel computation with blocked algorithms and task scheduling. Proceedings of the 14th Python in Science Conference (SciPy 2015). 126–132. DOI: 10.25080/Majora-7b98e3ed-013

[4] Pérez F., Granger B. E. (2011). IPython: A system for interactive scientific computing. Computing in Science & Engineering. Vol. 13, № 2. 21–29. DOI: 10.1109/MCSE.2011.35

[5] Sodian L. et al. (2022). Concurrency and parallelism in speeding up I/O and CPU-bound tasks in Python 3.10. Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science, Electronic Information Engineering & Intelligent Control (CEI 2022). IEEE. DOI: 10.1109/CEI57409.2022.9950068

[6] Krivtsov S. et al. (2024). Performance evaluation of Python libraries for multithreading data processing. Modern Information Systems. Vol. 8, № 1. 37–45. DOI: 10.20998/2522-9052.2024.1.05

[7] Castro O. et al. (2023). Landscape of high-performance Python to develop data science and machine learning applications. ACM Computing Surveys. Vol. 56, № 3. Article 65. 30–31. DOI: 10.1145/3617588

[8] Gustafson J.L. (1988). Reevaluating Amdahl's law. Communications of the ACM. Vol. 31, № 5. 532–533. DOI: 10.1145/42411.42415

[9] Hill M.D., Marty M.R. (2008). Amdahl's law in the multicore era. Computer. Vol. 41, № 7. 33–38. DOI: 10.1109/MC.2008.209

[10] Gross S. (2023). PEP 703 – Making the global interpreter lock optional in CPython. Python Enhancement Proposal. Python Software Foundation. Available at: https://peps.python.org/pep-0703/ (accessed 20.04.2025)

ҒТАХР 81.93.29

10.51889/2959-5894.2025.91.3.019

Н.А. Капалова[1], А.Ж.Абишева[2*]

[1]ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы қ., Қазақстан
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[*]*e-mail: ak_maral@mail.ru*

КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ КІЛТТЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ ЖӘНЕ САНДЫҚ ҚОЛТАҢБАНЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ЗАМАНУИ ТӘСІЛДЕРІ БОЙЫНША МӘСЕЛЕЛЕРІ

Аңдатпа

Мақалада кілттерді басқару мен сандық қолтаңбаның бар мәселелерін талдау нәтижелері берілген, сонымен қатар модификацияланған Шнорр схемасының алгоритмі әзірленіп, сипатталған. Криптографиялық жүйелерде кілттерді басқарудың және сандық қолтаңбаның дәстүрлі емес алгоритмдерін жасауда криптографиялық процедуралардың сенімділігі мен тиімділігін арттыруға позициялық емес полиномды санау жүйесін қолдану айтарлықтай мүмкіндік беретінін дәлелдей отырып PGP тәріздес жүйесін құру ұсынылған. Бұл жүйеде кілттердің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде кілт қауіпсіздігін қамтамасыз ететін, сенім рөлін барынша азайтатын, кілттерді басқару жұмысын автоматтандыратын шешім қажет. Осы мақсатта криптографиялық алгоритмдерді қолдану ғана емес, сонымен қатар шифрлау кілттерін тиімді басқару маңызды болып табылады. Теориялық маңыздылығы схеманың тұрақтылығын негіздеуде, ал практикалық маңыздылығы тиімді және масштабталатын криптографиялық жүйелерді құру үшін қолдану мүмкіндігінде жатыр, сондай ақ кванттық шабуылдарға қарсы қорғанысты күшейту мақсатында ұсынылған тәсілдің әлеуетін көрсетеді.

Түйін сөздер: криптография, криптографиялық кілттерді басқару, кілттерді генерациялау, позициялық емес полиномды санау жүйесі, PGP, сандық қолтаңба.

Н.А. Капалова[1], А.Ж.Абишева [2]
[1]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, г.Алматы, Казахстан
[2]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДАХ УПРАВЛЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИМИ КЛЮЧАМИ И ПРИМЕНЕНИИ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ

Аннотация

В статье представлены результаты анализа существующих проблем в управлении ключами и цифровой подписи, а также разработан и описан алгоритм модифицированной схемы Шнорра. Предлагается создать PGP подобную систему, доказывающую, что использование непозиционной полиномиальной системы счисления открывает значительные возможности для повышения надёжности и эффективности криптографических процедур при разработке нетрадиционных алгоритмов управления сертификатами ключей и цифровой подписи в криптографических системах. Эта система требует решения, которое обеспечивает безопасность ключей на всех этапах жизненного цикла ключей, минимизирует роль доверия и автоматизирует управление ключами. Для этого важно не только использовать криптографические алгоритмы, но и эффективно управлять ключами шифрования. Теоретическая значимость состоит в том, что показана надежность предлагаемой схемы, а практическая – в возможности использовать ее для создания эффективных и легко расширяемых криптографических систем, показывая, что предложенный подход может хорошо защищать данные от возможных квантовых атак.

Ключевые слова: криптография, управление криптографическими ключами, генерация ключей, непозиционные полиномиальные системы счисления, PGP, цифровая подпись.

N.A. Kapalova[1], A.Zh. Abisheva[2]
[1]Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

ON THE ISSUE OF MODERN APPROACHES TO CRYPTOGRAPHIC KEY MANAGEMENT AND APPLICATION OF DIGITAL SIGNATURE

Abstract

The article presents the results of the analysis of existing problems in key management and digital signature, and also develops and describes the algorithm of the modified Schnorr scheme. It is proposed to create a PGP-like system, proving that the use of a non-positional polynomial number system opens up significant opportunities for increasing the reliability and efficiency of cryptographic procedures in the development of non-traditional algorithms for managing key certificates and digital signatures in cryptographic systems. This system requires a solution that ensures key security at all stages of the key life cycle, minimizes the role of trust, and automates key management. To achieve this, it is important not only to use cryptographic algorithms, but also to effectively manage encryption keys. The theoretical significance is that the reliability of the proposed scheme is shown, and the practical significance is in the possibility of using it to create effective and easily expandable cryptographic systems, showing that the proposed approach can well protect data from possible quantum attacks.

Keywords: cryptography, cryptographic key management, key generation, non-positional polynomial number systems, PGP, digital signature.

Кіріспе

Ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету – ақпараттық технологияларды дамытудың басым бағыттарының бірі. Осы салада шешілген мәселелердің ауқымы сандық және сапалық тұрғыда үнемі кеңеюде. Компьютерлік жүйелерде ақпаратты қорғау үшін қолданылатын негізгі құралдардың бірі криптографиялық түрлендірулер болып табылады. Заманауи криптографияның төрт басты бөлімі бар: симметриялы криптожүйелер, ашық кілтті жүйелері, электронды қолтаңба жүйесі, кілттерді басқару. Қазіргі уақытта криптожүйелер кілттерді пайдалануға негізделген. Әдетте, кілттерді басқару криптографиялық қосымшалардың ең осал тұсы болып табылады. Криптографиялық технологияны пайдалану қарапайым, бірақ кілттерді сақтау, кілттерді пайдалану және олардың өзара алмасуын қамтамасыз ету әлдеқайда қиын. Сенімділігі төмен кілттік сертификаттарды басқару жүйесі өте жақсы ұйымдастырылған жүйелердің сапасын төмендетеді, өйткені алгоритмнің бар қауіпсіздігі кілтке шоғырланған. Криптографиялық кілттерді жасау, оларды жинақтау және тарату, сақтау, жою міндеттері кілттерді басқаруға жатады. Кілттік сертификаттарды басқару ақпарат алмасудың құпиялығын, деректердің сәйкестілігін және тұтастығын қамтамасыз ету үшін шешуші рөл атқарады [1-4]. Криптографияның негізгі қағидаларының бірі криптографиялық ақпаратты қорғау жүйесінің тұрақтылығы толығымен оларда қолданылатын кілттердің қауіпсіздігі туралы болжамдарға негізделеді. Криптографиялық кілттерді басқаруға қатысушылардың іс-әрекеттерін үйлестіру жолдары, ашық кілтті инфрақұрылымда әрбір пайдаланушыға ашық кілт пен оның иесі арасында айқын және сенімді сәйкестікті орнатуға мүмкіндік беретін рәсім ашық кілтті сертификаттау механизмі қажет. Криптографиялық жүйелерде кілттерді басқару - деректер қауіпсіздігі, ақпараттың тұтастығы мен құпиялығы маңызды болып табылатын қазіргі әлемде сұранысқа ие болатын зерттеулер мен тәжірибенің негізгі саласы болып қала береді. Криптожүйелердің табысты жұмыс атқаруы үшін кілттерді генерациялау, шифрлау, дешифрлау, хабарламаға қол қою, қол таңбаны тексеру сияқты негізгі алгоритмдер дұрыс және тиімді орындалуы керек. Қолданылатын кілттік сертификаттарды басқару әдістері ашық кілттің құжатқа қол қойған тарапқа тиесілі екендігіне кепілдік беруі, сондай-ақ осы тараптың тиісті жабық кілттің иелігінде екендігіне кепілдік беруі керек. Кілттерді тарату және сақтау кезінде жабық және ашық кілттердің тұтастығы, сондай-ақ жабық кілттің құпиялылығы қадағалануы маңызды.

Зерттеу әдіснамасы

Көптеген шетелдік зерттеулер криптографиялық жүйенің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыру мақсатында кілттік сертификаттардың өмірлік циклін басқарудағы сертификаттарды шығару, тіркеу, жаңарту, жинақтау, архивтеу, пайдаланудан шығару және жою сияқты процесстерін автоматтандыруға ерекше назар аударады. Әртүрлі куәландыру орталықтары арасындағы сенім қатынастарын басқару әдістерін, сертификаттың иерархиялық және желілік құрылымдарын, сенім үлгілерін, құпиялығы бұзылған немесе мерзімі өтіп кеткен сертификаттарды, соның ішінде сертификаттарды қайтарып алу тізімдерін CRL және OCSP хаттамаларын пайдалану қарастырылады.

Келтірілген өмірлік циклдің жалпы сатыларында кілттің өмір сүру циклінің әртүрлі күйлерін немесе фазаларын, сондай-ақ олардың арасында ауысу шарттарын неғұрлым нақты анықтауға болады. Кілттік сертификаттардың өмірлік цикл кезеңдерінің негізгі күйлері төмендегідей:

- пайдаланушыны тіркеу;
- пайдаланушыны инициализациялау;
- кілтті жинақтау;
- кілтті орнату;
- кілтті тіркеу;
- кілтті штатты қолдану;
- кілтті алдын ала тағайындау;
- кілтті жаңарту;
- кілтті архивтеу.
- кілтті пайдаланудан шығару және жою.

Сертификат - бұл абоненттің идентификаторынан, оның ашық кілтінен және куәлікті беру уақыты мен оның жарамдылық мерзімі сияқты қосымша ақпарат, сенімді түрде өкілетті ұйым немесе сенімді адам қолымен жасалған деректер жиынтығы. Ол оны сақтау немесе жөнелту кезінде ашық кілтті алмастыру мүмкіндігін болдырмау үшін арналған. Сертификатты алған және электрондық сандық қолтаңбаны растағаннан кейін, ашық кілттің абонентке шынымен тиесілі екеніне көз жеткізуге болады.

Ашық кілтті алмастыру кезіндегі орын алатын сипатталған қаупі ашық кілт сертификаттарын пайдалану арқылы сәтті түрде жойылады. Ашық кілт сертификаттары ашық кілттер криптографиясында маңызды рөл атқарады және оның негізгі мақсаты - пайдаланушының ашық кілтін қол жетімді ету және жарамды ету. Оларды қалыптастыру X.509 стандартында ұсынылған қатаң аутентификация қағидаларына және ашық кілттердің криптожүйелерінің қасиеттеріне негізделеді. Ашық кілтті криптожүйелерде пайдаланушыда (барлығына қолжетімді) ашық және жабық кілттер бар деп есептейді. Әрбір пайдаланушы өзінің жабық кілтімен анықталады. Қос кілттің көмегімен кез-келген басқа пайдаланушы өзінің коммуникациялық серіктесі жабық кілттің нақты иесі екендігін анықтай алады [5].

Біздің елге келетін болса, Қазақстан үкіметі ұлттық қауіпсіздік сертификатын, оның ішінде оны қолдану ережелерін енгізуге арналған бірқатар заңнамалық актілерді бекітті («Қауіпсіздік сертификатын беру және қолдану ережесін бекіту туралы» Қазақстан Республикасы Ұлттық қауіпсіздік комитеті Төрағасының 2018 жылғы 27 наурыздағы № 23/н бұйрығы).

Бекітілген қауіпсіздік сертификатын беру ережесінде сертификат үш жыл мерзімге байланыс операторының өтініші бойынша берілетіндігі айтылған. «Байланыс туралы» жаңа заңға сәйкес операторлар қауіпсіздік сертификатын пайдаланып, трафикті шифрланған хаттамалар арқылы өткізуі керек. Телекоммуникация операторлары абоненттерге Интернетке қол жетімділіктің өзгеретін шарттары туралы хабарлау және абоненттер мен қосалқы операторлар арасында сертификатты тарату үшін жауап береді. Сертификатты қолдану ережелері байланыс операторынан оны пайдаланудың ұйымдастырушылық және техникалық жағдайларының құпиялығын қамтамасыз етуді талап етеді [6]. Ашық кілтті криптография концепциясының пайда болуын американдық ғалымдар У.Диффи мен М.Хеллманның

революциялық мақаласы жарияланған 1976 жылдан бастауға болады [7]. 1984 жылы Т.Эль-Гамаль [8] шифрлау үшін де, аутентификация үшін де қолдануға болатын Диффи-Хеллман жүйесінің жетілдірілген нұсқасын көпшілік назарына ұсынды. Криптожүйе жай сандағы дискретті логарифмді табу мәселесіне негізделген шекті өріс. Сондай-ақ жоғарыда сипатталған екі схеманың модификациясы болып табылатын К.Шноррдың [9] схемасы назар аударуға тұрарлық. Дискретті логарифмдеу қиындығына негізделген жүйелердің бірі болып табылады. Бұл схемалардағы негізгі ұғым қарабайыр түбір ұғымы.

Анықтама. Модуль бойынша алғашқы түбір – бұл бүтін сан n келесі шартты қанағаттандырады $g^{\varphi(n)} \equiv 1 \, mod \, n$ және $g^L \neq 1 \, mod \, n$ мұндағы $1 < L < \varphi(n)$.

Ашық кілттер криптография саласы үнемі қарқындап өсіп келе жатқан мәселелерді шешу үшін дамып келеді. Салыстыра кетсек, бұл аутентификацияның ең қауіпсіз әдісі болып табылады және ассимметриялық криптографиялық алгоритмдер кванттық есептеу құрылғысында жасалған шабуылдарға қарсы тұра алады. Бұл пайдаланушы үшін қолданыста іске асыру аясында қарапайымдылығына байланысты, яғни қарапайым құпиясөздер дүниежүзілік желіде аутентификацияның ең кең тараған әдісі болып табылады және барлық жерде қолданылады.

Постквантты криптография қазіргі уақытта келесі негізгі класстарды қамтиды:

- торлар теориясы;
- көп өлшемді квадраттық жүйелер;
- хэш функцияларға негізделген электрондық қолтаңбалар;
- алгебралық кодтау теориясы;
- эллиптикалық қисықтардың изогенездері;
- өру теориясы.

Осының ішінде хэш функцияға негізделген криптографияға хэш-функциялар арқылы құрастырылған электрондық қолтаңбалар кіреді, бұл олардың кванттық есептеу құрылғысына төзімділігін қамтамасыз етеді. Бұл тәсіл бір кілтте қолтаңбалардың шектеулі санын ғана жасай алады. Жүйенің тағы бір кемшілігі - қол қоюшы қол қойған хабарламалардың нақты санын жазуы керек [10]. Бұл жазбадағы қате жүйенің осалдығына әкеледі. Классикалық мысал ретінде 1979 жылы ұсынылған Р.Мерклдің қолтаңбасын алуға болады [11].

Қарастырып отырған Шнорр схемасының теориялық маңызды сипаттамасы хэш функциясының рандомизация параметрі r генерациясынан кейін бірден есептелетіндігі болып табылады. Бұл мүмкіндік қолтаңбаны қолдан жасаудың тиімді алгоритмдері бар болса, дискретті логарифм мәселесін шешудің де алгоритмдері бар екенін ресми түрде дәлелдеуге мүмкіндік береді [12]. Демек, бұл схеманың беріктігі туралы теориялық қағидаға келіседі, қауіпсіздікті бұзу қиындығы криптожүйе негізінде жатқан күрделі дискретті логарифм мәселесін шешуден қарапайым емес екенін көрсетеді.

Шнорр схемасы криптографиялық алгоритм болып табылады, ол кілттік сертификаттарды басқаруда, әсіресе сандық қолтаңбаны жасау үшін қолданылады. Ол нөлдік біліммен дәлелдеу (Zero Knowledge Proof) идеясына негізделген, бұл пайдаланушыға ақпараттың өзін ашпай-ақ кейбір ақпаратқа меншік құқығын дәлелдеуге мүмкіндік береді.

Шнорpp схемасының қысқаша классикалық мазмұны келтірілген:

Кілттерді генерациялау

p, q – жай сандар, мұндағы $q/(p-1)$; g группаның тудырушы элементі Z_p^*; k – кездейсоқ сан, $1 < k < q$; $y = g^k mod \, p$ – ашық кілтті жасау. Ашық кілт (p, q, g, y), Жабық кілт k.

М хабарламасы үшін қолтаңба есептеу келесі қадамдардан тұрады:

1. Бір реттік құпия кілт болып саналатын кездейсоқ сан генерацияланады $r, \; 1 < r < q$.
2. Есептеледі $R = g^r mod \, p$.
3. M хабарламасына R мәні қосылады $H: E = H(M||R)$ H хэш-функция мәні есептеледі. E мәні қолтаңбаның бірінші бөлігі болып табылады.
4. Қолтаңбаның екінші бөлігі есептеледі: $S = r + kE \; mod \; q$, мұндағы k– құпия кілт.

Қолтаңбаны тексеру.

1. R' есептеу: $R' = g^S y^{-E} \, mod \, p$.
2. $M||R'$ хэш мән есептеледі H: $E' = H(M||R')$.
3. E және E' мәндері салыстырылады. Егер $E = E'$, онда қолтаңба дұрыс болып саналады.

Зерттеу нәтижелері

Алгоритмнің ұтымды жақтарын ескере отырып, ЭСҚ үшін позициялық емес санау жүйесін қолдану арқылы өзгерту ұсынылды. Бұл жұмыста позициялық емес полиномды санау жүйелері (ПЕПСЖ) негізінде модификацияланған Шнорр алгоритмінің кезеңдерін сипаттадық. Құрылған алгоритм көмегімен кілттерді генерациялау, қолтаңбаны құру, қолтаңбаны тексеруді, кілттің өмірлік циклін тиімді ұйымдастыра отырып PGP тәріздес жүйе құру жұмысын атқарамыз. Осы жүйе арқылы хабарламалармен қауіпсіз алмасу жұмысын атқаруды ұсыну көзделіп отыр. Осылайша кілттік сертификаттарды сенімді басқару жүйесі қалыптасады. Сенімді басқару жүйесі кілттік сертификаттың көмегімен криптографиялық функцияларды орындауды іске асырады. Бұл функциялар сандық қолтаңбаны қалыптастыруды, сандық қолтаңбаны тексеруді, деректерді шифрлауды, деректердің шифрын шешуді, кілттерді шифрлауды, кілттерді шешуді, деректердің кездейсоқ және әдейі өзгерістерін анықтау үшін пайдаланылатын хабарламаның аутентификация кодтарын жасауды және тексеруді қамтуы мүмкін.

Кілттерді генерациялау

Позициялық емес полиномды санау жүйесін (ПЕПСЖ) құру жүргізіледі. ПЕПСЖ жұмыс негіздері ретінде келтірілмейтін екілік полиномдар $p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)$ дәрежелері $a_1, a_2, \dots, a_n$ болатындай сәйкесінше, жұмыс негіздерінің дәрежелер қосындысы кілттің ұзындығымен тең болуы тиіс, яғни $\sum_{i=1}^{n} a_i = L$. Қалдықтар туралы Қытай теоремасын қанағаттандыратындай барлық жұмыс негіздері әртүрлі болуы қажет.

Бұл жүйеде кез келген $F(x)$ көпмүшелігі, дәрежесі a-дан кіші болса, $p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)$ жұмыс негіздері бойынша, оның бөлінуінен қалған қалдықтар тізбегі, позициялық емес және жалғыз болып табылады.

Жай сандар $q_1, q_2, \dots, q_n$ – таңдаймыз, осы шартты қанағаттандыратындай $2^{a_i} - 1 = 0(mod \; q_i), \; i = \overline{1,n}$ (1<q_i < deg ($p(x)$)-1) және $p_i(x)$ әрбір жұмыс негіздері үшін примитивті элемент (көпмүшелік) $g_i(x)$ таңдалады, $0 < g_1(x), g_2(x), \dots, g_n(x) < P(x)$, осы шарттарды қанағаттанидартындай $g_i(x)^{deg(p_i(x))-1} = 1 \, mod \, p_i(x), \; i = \overline{1,n}$.

Кездейсоқ сандарды таңдаймыз $k_i < q_i, \; i = \overline{1,n}$ шартын қанақаттандыратындай. Бұл мәндер k_i құпия сақталуы қажет, өйткені ол жабық кілт ЖК = $\{k_i\}$ болып табылады.

Әрбір жұмыс негіздері үшін есептеледі $y_i(x) = g_i(x)^{k_i} mod \; p_i(x), \; i = \overline{1,n}$.

Ашық кілт АК = $\{P, Q, G, Y\}$, яғни $P = \{p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)\}$, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, $G = \{g_1(x), g_2(x), \dots, g_n(x)\}$, $Y = \{y_1(x), y_2(x), \dots, y_n(x)\}$.

Қолтаңба

A: Қолтаңба үшін $r_i < q_i$ кездейсоқ сандар таңдайды, $R_i = g_i(x)^{r_i} mod \; p_i(x), \; i = \overline{1,n}$

$A \to B$: қолтаңбаның бірінші бөлігін есептейді $E_i = H(M||R_i), \; i = \overline{1,n}$

A: қолтаңбаның екінші бөлігін есептейді $S_i = r_i + k_i * E_i mod \; q_i, \; i = \overline{1,n}$

$A \to B$: M хабарлама қолтаңбамен (E_i, S_i) жіберіледі.

Қолтаңбаны тексеру

B: есептейді $R_i' = g_i(x)^{S_i} y_i(x)^{E_i^{-1}} mod \; p_i(x)$,

$H(M||R_i) = E_i'$ хэш-мән есептеледі.

E_i және E_i' салыстырылады. Егер $E_i = E_i'$ тең болса, онда қолтаңба дұрыс болып табылады.

Бұл модификацияланған алгоритмнің құрылымы, оның қауіпсіз кілт алмасу үшін қажетті криптографиялық параметрлерді құруға арналғанын болжайды. Қарастырылып отырған схема пайдаланушылар арасында сенім принципі бойынша екі тараптың ашық кілттерінің

түпнұсқалығын растауға, PGP тәріздес құрылатын жүйедегі хаттамаларды түсіну және жүйе қауіпсіздігін сақтау үшін өте маңызды.

Дискуссия

Электрондық сандық қолтаңба схемасының немесе шифрлау схемасының криптотұрақтылығы әдетте битпен есептеледі, яғни ол сәтті шабуылдың есептеу күрделілігінің көрсеткіші ретінде түсініледі. Белгілі L биттік қауіпсіздік үшін схеманы бұзу үшін шабылдаушы орындауы қажет операциялар саны $M = 2^L$ болуы керек. Қажетті операциялардың саны операцияларына көбейсе немесе кемісе, онда қарсылық деңгейі $dM = \log_2 x$ мәніне артады немесе төмендейді. Кез келген ассиметриялық алгоритмнің қауіпсіздігі алгоритмнің өзінің құпиялылығына емес, кейбір бір жақты функцияны есептеудің күрделілігіне негізделген. Бұл қасиет криптожүйенің барлық компоненттеріне, шифрлау процесстеріне және сандық қолтаңбаларға қатысты.

Әлемдік криптографиялық ғылыми қауымдастық постквантық алгоритмдерге толық көшу алдында шешуі керек бірнеше маңызды аспектілер бар:

- постквантық алгоритмдерді орындау тиімділігін арттыру қажеттілігі;
- дәлелденген қауіпсіз постквантық хаттамаларды құру қажеттілігі;
- криптожүйелердің таңдалған параметрлеріне қойылатын талаптарды әзірлеу және олардың есептеу күрделілігін бағалау;
- постквантық алгоритмдердің қолайлылығын жақсарту қажеттілігі.

Бұл мәселелерді шешу үшін классикалық асимметриялық тәсілмен бірге постквантық тәсілді қолдануды ұсыну қисынды және уақтылы болып көрінеді

Постквантық стандарттарға көшу киберқауіпсіздік саласындағы соңғы онжылдықтардағы ең ауқымды реформалардың бірі болмақ. Оның жетістігі кванттық есептеулер теориялық саладан практикалық пайдалануға ауысатын дәуірде деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге көмектеседі [13].

Осыған байланысты мақалада криптографиялық жүйелердегі криптографиялық кілттік сертификаттарды басқаруда ПЕПСЖ қолданатын сандық қолтаңба алгоритмін зерттеу және талдау өзекті болып табылады.

ПЕПСЖ пайдалану кілттердің ұзындығын қысқартуға, сондай-ақ позициялық емес криптографиялық алгоритмдердің күші мен тиімділігін арттыруға көмектеседі. Тиімділікке осы жүйенің модульдік негіздерінде барлық арифметикалық операцияларды параллель орындауға мүмкіндік беретін ПЕПСЖ мүмкіндіктерінің арқасында қол жеткізіледі.

Сақталатын және жіберілетін ақпаратты криптографиялық қорғаудың дәстүрлі емес алгоритмдерін құруда ПЕПСЖ қолдану олардың тиімділігі мен криптографиялық төзімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

Аталған алгоритмдер шеңберінде белгіленген ұзындықтағы хабарламалар үшін электрондық сандық қолтаңбаны қалыптастыру процесі жүзеге асырылады. Позициялық емес криптографиялық жүйелерде криптографиялық беріктік кілттердің ұзындығымен ғана емес, сонымен қатар толық құпия кілтпен байланысты ЭСҚ алгоритмінің өзінің сипаттамаларымен де анықталады. Сонымен қатар, екілік коэффициенттері бар келтірілмейтін көпмүшеліктердің реттілігінің жоғарылауымен олардың айтарлықтай өсуі байқалады, бұл көпмүшелік негіздерін таңдаудың көптеген нұсқаларын береді.

Қорытынды

Қазіргі уақытта киберқауіптің өсуі, деректер құпиялығы мен тұтастығының бұзылуының жылдам қарқындауы, заманауи шабуылдардың күрделігі сияқты факторлар криптографиялық жүйелерде кілттерді басқарудың өзектілігін айқындайды. Internet of Things (IoT) және бұлтты есептеулер сияқты жаңа технологиялардың пайда болуы, оған сәйкесінше ақпарат алмасып отыратын қолданушылар саны және олардың қолданыстағы шифрлау алгоритмдері ұлғайып,

тасымалданатын деректер көлемі мен шифрлауды қажет ететін құралдар саны көбейген сайын кілттерді басқарудың күрделілігі күннен күнге артады. Осы орайда кілттік сертификатарды басқару мен криптография саласында қазіргі заманғы талаптарға бейімделген кілттерді басқарудың жаңа тәсілдерін құруды жоғары стандарттарға сай талап етеді және ақпараттық қауіпсіздіктің маңызды аспектісіне айналдырады.

Екілік көпмүшеліктердің дәрежесіне көбейтудің және дәрежелеудің барлық операциялары ПЕПСЖ жүйесінде орындалады, бұл осы операцияларды жүйенің негізі ретінде таңдалған $p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)$ көпмүшеліктердің модульдері бойынша параллельді есептеуге мүмкіндік береді, нәтижесінде операция орындалу жылдамдығы артады.

Сонымен, ПЕПСЖ негізінде жасалған үш кезеңнен тұратын: 1) ПЕПСЖ жүйесін қалыптастыру; 2) электрондық сандық қолтаңбаны қалыптастыру; 3) электрондық сандық қолтаңбаны тексеру Шнорр асимметриялық шифрлау алгоритмінің модификациясы жүзеге асырылды.

Криптографиялық алгоритмдердің бағдарламалық жасақтамасы дәстүрлі аппараттық құралдармен бәсекелесе алады. Жұмыс негіздерді және оларға сәйкес примитивті көпмүшеліктерді, пайдаланушылардың жеке кілттерін таңдаумен ПЕПСЖ пайдалану, кілттік сертификаттарды басқаруда осы алгоритмнің криптографиялық күші ақпаратты қорғаудың сенімділігі мен тиімділігін арттырады. Кілттерді қауіпсіз сақтау, кілттерді пайдалану және кілттермен алмасу ұсынылып отырған криптографиялық ақпаратты қорғау жүйесінің маңызды бөлігі болып табылады. Кілттік сертификаттарды басқару жүйесі осылайша «сенім желісін» пайдалану негізінде кілттерді генерациялауға, сақтауға және таратуға, сондай-ақ шифрлау әдісін және позициялық емес полиномды санау жүйелеріне негізделген сандық қолтаңба алгоритмін пайдалануға арналған.

Кванттық технологиялардың пайда болу дәуірінде бұл схеманы, мысалы, тор теориясын пайдалана отырып, бейімдеуге болады. Мұндай жүйелерді дамытудың тағы бір маңызды бағыты кванттық шабуылдардың күрделілігін және қарапайым пайдаланушылар үшін шығындарды азайту қажеттілігін ескере отырып, интерфейсті жеңілдету және криптографиялық қорғауда процесстерді автоматтандыру тек мамандарға емес, сонымен қатар пайдаланушыларға қол жетімді болатындай, болашақта ақпаратты қорғайтын кванттық төзімді жүйелерді құрудың маңыздылығын атап өту маңызды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Barker E. (2016) Recommendation for Key Management – Part 1: General / NIST Special Publication 800-57, Revision 4. 160 p.

[2] Barker E., Smid M., Branstad D., Chokhani S. (2013) A Framework for Designing Cryptographic Key Management Systems / NIST Special Publication 800-130, Revision 4. 120 p.

[3] Капалова Н.А., Абишева А.Ж. (2019) Орталықтандырылған криптографиялық кілттерді басқару жүйесі // Матер. IV междунар. науч.-практ. конф. «Информатика и прикладная математика». – Алматы, 569-575.

[4] Варенников А.В. (2019) «Краткий обзор основных принципов разработки систем управления криптографическими ключами» // Матер. науч. конф. «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий». – Алматы, 154-160.

[5] Капалова Н.А., Абишева А.Ж. (2020) Сандық сертификаттарды қолдану // Международная научно-практическая конференция "Актуальные проблемы информационной безопасности в Казахстане", Алматы, 46-54.

[6] Digital Report. (2016) Национальный сертификат безопасности Казахстана: Защита пользователей или государства? https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37226731#pos=4;-137

[7] Diffie W., Hellman M. E. (1976) New Directions in Cryptography, IEEE Trans. Inf. Theory / F. Kschischang - IEEE, Vol.22, Iss.6. - P.644-654. - ISSN 0018-9448 - doi:10.1109/TIT.1976.1055638

[8] Elgamal T. (1985) A Public-Key Cryptosystem and a Signature Scheme Based on Discrete Logarithms // IEEE Trans. Inf. Theory / F. Kschischang - IEEE, - Vol. 31, Iss. 4. - P. 469–472. - ISSN 0018-9448 - doi:10.1109/TIT.1985.1057074.

[9] Schnorr C.P. (1990) Efficient Identification and Signatures for Smart Cards.Advances in Cryptology - CRYPTO'89. Lecture Notes in Computer Science 435. 239-252.

[10] Chen L., Jordan S., Liu Y.K., Moody D., Peralta R., Perlner R., Smith-tone D. (2016) Report on Post-Quantum Cryptography, NISTIR 8105, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8105. Maryland, April, 10pp.

[11] Merkle, Ralph Charles. (1979) Secrecy, authentication, and public key systems : Technical Report No. 1979-1. - Citeseer, - doi:10.1.1.637.3952.

[12] D. Pointcheval, J. Stern. (2000) Security Arguments for Digital Signatures and Blind Signatures // Journal of Cryptology. V. 13. P.361-396.

[13] Darth Sahara. (2025) Великобритания опубликовала план перехода на криптографию, устойчивую к квантовым атакам, к 2035 году https://www.ixbt.com/news/2025/03/24/velikobritanija-opublikovala-plan-perehoda-na-kriptografiju-ustojchivuju-k-kvantovym-atakam-k-2035-godu.html

References

[1] Barker E. (2016) Recommendation for Key Management – Part 1: General / NIST Special Publication 800-57, Revision 4. 160 p.

[2] Barker E., Smid M., Branstad D., Chokhani S. (2013) A Framework for Designing Cryptographic Key Management Systems / NIST Special Publication 800-130, Revision 4. 120 p.

[3] Kapalova N.A., Abisheva A.Zh. (2019) Ortalyktandyrylgan kriptografijalyk kiltterdi baskaru zhyjesi [Centralized cryptographic key management system]. Mater. IV mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Informatika i prikladnaja matematika». Almaty, 569-575. (In Kazakh)

[4] Varennikov A.V. (2019) Kratkij obzor osnovnyh principov razrabotki sistem upravlenija kriptograficheskimi kljuchami. [A Brief Overview of the Basic Principles of Designing Cryptographic Key Management Systems]. Mater.nauch.konf. «Sovremennye problemy informatiki i vychislitel'nyh tehnologij». Almaty, 154-160. (In Russian)

[5] Kapalova N.A., Abisheva A.Zh. (2020) Sandyk sertifikattardy koldanu [Using digital certificates]. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija "Aktual'nye problemy informacionnoj bezopasnosti v Kazahstane", Almaty, 46-54. (In Kazakh)

[6] Digital Report. (2016) Nacional'nyj sertifikat bezopasnosti Kazahstana: Zashhita pol'zovatelej ili gosudarstva? [National Security Certificate of Kazakhstan: Protecting Users or the State?] https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37226731#pos=4;-137 (In Russian)

[7] Diffie W., Hellman M. E. (1976) New Directions in Cryptography, IEEE Trans. Inf. Theory / F.Kschischang - IEEE, - Vol.22, Iss.6. - P.644-654. - ISSN 0018-9448 - doi:10.1109/TIT.1976.1055638

[8] Elgamal T. (1985) A Public-Key Cryptosystem and a Signature Scheme Based on Discrete Logarithms // IEEE Trans. Inf. Theory / F. Kschischang - IEEE, - Vol. 31, Iss. 4. - P. 469–472. - ISSN 0018-9448 - doi:10.1109/TIT.1985.1057074.

[9] Schnorr C.P. (1990) Efficient Identification and Signatures for Smart Cards.Advances in Cryptology - CRYPTO'89. Lecture Notes in Computer Science 435. - C. 239-252.

[10] Chen L., Jordan S., Liu Y.K., Moody D., Peralta R., Perlner R., Smith-tone D. (2016) Report on Post-Quantum Cryptography, NISTIR 8105, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8105. Maryland, April 2016, 10pp.

[11] Merkle, Ralph Charles. (1979) Secrecy, authentication, and public key systems : Technical Report No. 1979-1. - Citeseer. - doi:10.1.1.637.3952.

[12] D. Pointcheval, J. Stern. (2000) Security Arguments for Digital Signatures and Blind Signatures // Journal of Cryptology. V. 13. P.361-396.

[13] Darth Sahara. (2025) Velikobritanija opublikovala plan perehoda na kriptografiju, ustojchivuju k kvantovym atakam, k 2035 godu. [UK releases plan to move to quantum-resistant cryptography by 2035] https://www.ixbt.com/news/2025/03/24/velikobritanija-opublikovala-plan-perehoda-na-kriptografiju-ustojchivuju-k-kvantovym-atakam-k-2035-godu.html (In Russian)

ҒТАХР 14.01.85

10.51889/2959-5894.2025.91.3.020

Н.А. Курмангалиева[1*], М.Е. Ерсін[1], Г.Б. Камалова[1], Қ.Сейдуәлі[1]

[1]Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[*]*e-mail: nkurmangali@gmail.com*

STEAM-ЖОБА РЕТІНДЕ 3D ПРИНТЕРДІҢ ФИЛАМЕНТІН ЖАСАУҒА АРНАЛҒАН ЭКСТРУДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа

Мақалада пластикалық бөтелкелерді қайта өңдеуге арналған экструдер әзірлеу бойынша STEAM жобасын жоғары білім жүйесіне кіріктіру арқылы іске асыру тәжірибесі талқыланады. Зерттеу аясында 3D принтердің филаментін шығаруға арналған пластикті қайта өңдеу экструдері әзірленді. Ғылыми білімді, цифрлық дағдыларды және студенттердің шығармашылық ойлауын біріктіруге мүмкіндік беретін инженерлік, технологиялық және педагогикалық аспектілерді біріктіруге басты назар аударылды. Экструдерді әзірлеу тек техникалық тапсырма ретінде ғана емес, сонымен қатар 3D модельдеу, параметрлерді цифрлық бақылау және тұрақты даму саласындағы құзыреттерді қалыптастыратын оқу құралы ретінде қарастырылады. Зерттеу барысында құрылғының техникалық сипаттамалары талданды, жіп өндіру бойынша тәжірибелер жүргізілді, деректерді өңдеу және визуализация үшін цифрлық құралдарды пайдаланудың тиімді білім беру әсері бағаланды. Нәтижелер мұндай жобаларды жүзеге асыру қазіргі қоғамда сұранысқа ие цифрлық құзырлылық, топтық жұмысты және тәжірибеге бағытталған дағдыларды дамытуға ықпал ететінін негіздейді.

Түйін сөздер: экструдер, аддитивті технология, STEAM, 3D принтер, филамент, цифрлық құзырлылық.

Н.А. Курмангалиева[1], М.Е. Ерсін[1], Г.Б. Камалова[1], Қ.Сейдуәлі[1]
[1] Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА КАК STEAM-ПРОЕКТ

Аннотация

В статье рассматривается опыт реализации STEAM-проекта по разработке экструдера для переработки пластиковых бутылок посредством его интеграции в систему высшего образования. В рамках исследования был разработан экструдер для переработки пластика, предназначенный для производства филамента для 3D-принтеров. Основное внимание уделено интеграции инженерных, технологических и педагогических аспектов, позволяющих объединить научные знания, цифровые навыки и творческое мышление студентов. Разработка экструдера рассматривается не только как техническое задание, но и как образовательный инструмент, формирующий компетенции в области 3D-моделирования, цифрового управления параметрами и устойчивого развития. В ходе исследования были проанализированы технические характеристики устройства, проведены эксперименты по производству филамента, а также оценен эффективный образовательный эффект от использования цифровых инструментов обработки и визуализации данных. Результаты обосновывают, что реализация подобных проектов способствует развитию цифровой компетенции, навыков командной работы и практико-ориентированных навыков, востребованных в современном обществе.

Ключевые слова: экструдер, аддитивные технологии, STEAM, 3D принтер, филамент, цифровые компетенции.

N. Kurmangaliyeva[1], M. Yersin[1], G. Kamalova[1], K. Seiduali[1],
[1] Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPING AN EXTRUDER FOR MAKING 3D PRINTER FILAMENT AS A STEAM PROJECT

Abstract

The article discusses the experience of implementing a STEAM project on the development of an extruder for recycling plastic bottles through its integration into the higher education system. As part of the research, a plastic recycling extruder for the production of 3D printer filament was developed. The main focus was on integrating engineering, technological and pedagogical aspects that allow combining scientific knowledge, digital skills and creative thinking of students. The development of an extruder is considered not only as a technical task, but also as an educational tool that forms competencies in the field of 3D modeling, digital control of parameters and sustainable development. During the study, the technical characteristics of the device were analyzed, experiments on filament production were conducted, and the effective educational effect of using digital tools for data processing and visualization was assessed. The results justify that the implementation of such projects contributes to the development of digital literacy, teamwork and practice-oriented skills that are in demand in modern society.

Keywords: extruder, additive technologies, STEAM, 3D printer, filament, digital competence.

Кіріспе

Цифрлық трансформация жағдайында заманауи білім беру ақпараттық-коммуникациялық технологиялармен (АКТ) тиімді жұмыс істей алатын, пәнаралық мәселелерді шеше алатын және инженерлік ойлауды практикалық қызметте қолдана алатын мамандарды даярлауға жаңа талаптар қояды. Жоғары оқу орындарын жақында бітірген мамандар мазмұндық білім мен техникада білікті болуы мүмкін болса да, көптеген жұмыс берушілер олардың қазіргі қоғам талап ететін қабілеттерінің жеткіліксіздігін атап айтады [1]. Сондықтан университет студенттерін болашақта жоғары деңгейге жету үшін білім беруде белсенді дамып келе жатқан тәсілдердің бірі – ғылым, технология, инженерия, өнер және математиканы біріктіретін STEAM-жобалары негізінде оқыту маңыздылығы арта түседі [2,3].

STEAM жобасы аясында білімдерді дәстүрлі меңгеруден тәжірибеге бағытталған оқытуға, жобалық әрекеттерге және цифрлық құралдарды пайдалануға баса назар аударылады. Бір мезгілде кәсіби құзыреттіліктерді дамытуға және қоршаған ортаға жауапкершілікпен қарауға тәрбиелеуге мүмкіндік беретін өзекті әлеуметтік және экологиялық мәселелерді шешуге бағытталған жобаларды оқу үдерісіне енгізу әсіресе өзекті болып табылады.

Сондай жобалардың бірі – пластик қалдықтарын қайта өңдеп, 3D басып шығаруға арналған материалға айналдыратын құрылғы жасау. Қазіргі таңда STEAM технологияларының құралы немесе ресурсы деп аталатын аддитивті технологияларды қолдану кеңінен таралып отыр. Аддитивті технологиялар дегеніміз бұл физикалық объектті (бөлшекті) материалды қабаттап қосу әдісі арқылы жасау. Түрлі өнеркәсіп салаларында аддитивті технологияларды қолданудың артықшылықтары көрсетілген ғылыми еңбектер көптеп кездеседі [4]. Пластикалық қалдықтардың өсуі және аддитивті өндіріс технологияларының дамуы университеттегі білім беру жобалары үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Аталған жоба инженерлік және экологиялық мәселелерді біріктіретін шешімдердің бірі болып табылады. Дегенмен, бұл процесті іс жүзінде жүзеге асыру қазіргі заманғы АКТ қолданбай мүмкін емес.

АКТ экструдер жұмысының параметрлерін бақылауды, тәжірибелік деректерді жинауды автоматтандыруды, сонымен қатар цифрлық құралдарды пайдалана отырып, оларды өңдеу мен визуализациялауды қамтамасыз етеді. Осылайша студенттер инженерлік білімді меңгеріп қана қоймай, мамандарға қойылатын заманауи талаптарға сай цифрлық дағдыларды дамытады. Мақалада ПЭТ бөтелкелерін қайта өңдеуге арналған экструдер жасау бойынша STEAM жобасын іске асыру тәжірибесі және АКТ-ны оқу үдерісіне интеграциялаудың білім беруге әсерін талдау ұсынылады.

Білім беруде STEAM тәсілін қолдану соңғы жылдардағы ғылыми әдебиеттерде белсенді түрде талқылануда. Зерттеушілер студенттерді жобалық-зерттеу іс-әрекетіне тарту оқу мотивациясын арттыруға көмектесетінін, сыни тұрғыдан ойлауға ықпал ететінін және цифрлық технологиялармен жұмыс істеу дағдыларын дамытатынын атап өтеді [5].

STEAM білім беруде 3D басып шығару технологияларын пайдалану ерекше орын алады. Бірқатар авторлар [6] аддитивті технологиялар студенттердің инженерлік дайындығына жаңа мүмкіндіктер ашатынын, теориялық білім мен тәжірибелік тәжірибелер арасындағы байланысты қамтамасыз ететінін атап көрсетеді. 3D басып шығару тек прототиптеу құралы ретінде ғана емес, сонымен қатар пәнаралық құзыреттіліктерді қалыптастырудың білім беру ортасы ретінде қарастырылады.

Жеке зерттеу саласы тұрақты даму және пластикалық қалдықтарды қайта өңдеу мәселелерімен байланысты. Көптеген ғалымдардың зерттеулеріне сәйкес пластикалық қалдықтардың жыл сайынғы көлемі өсуде, бұл оларды кәдеге жарату және қайта пайдаланудың жаңа технологияларын әзірлеуді талап етеді. Осы тұрғыда пластикалық бөтелкелерді 3D принтері үшін жіпке қайта өңдеу экологиялық және білім беру маңыздылығын біріктіретін перспективалы шешім болып саналады [7].

Ақырында, қазіргі педагогикада оқу үдерісіне ақпараттық-коммуникациялық технологияларды енгізуге көп көңіл бөлінеді. Бірқатар шетелдік ғалымдар [8] цифрлық құралдар деректерді жинауды автоматтандырып қана қоймайды, сонымен қатар студенттердің ақпаратты талдау, визуализациялау және интерпретациялау дағдыларын дамытатынын, бұл цифрлық экономика дәуірінде мамандарды дайындау үшін ерекше маңызды екенін атап өтеді.

Кәсіптік білім берудің ең маңызды педагогикалық мәселесі – білім алушылардың зерттеушілік құзіреттілігін қалыптастыру. Білім алушылардың ғылыми-зерттеу құзіреттілігінің маңыздылығы, бір жағынан, оның құзыретті, заманауи, ізденімпаз маманды қалыптастыру болса, екінші жағынан, университеттік білімнің зерттеуге, ғылымның іргелі негіздеріне, білім беруге маңызды негіз болып табылатындығында. Білім алушылардың ізденушілік құзіреттіліктерін қалыптастыруда жобалық тәсілдің, оның ішінде STEAM-жобалардың маңызы өте зор [9].

Прототиптеуді үйрету, 3D модельдеу және басып шығару дағдыларын дамыту жоғары оқу орындарының білім алушыларын дайындауда өзекті міндеттерге айналуда. Көптеген оқу орындарының оқытушылары бұл технологиялардың келешегін білім алушылардың технологиялық және инженерлік мәдениетін қалыптастыру үшін қолдану мүмкіндігі тұрғысынан атап өтеді [10]. Қарамағында 3D принтері бар әрбір оқу орнына шығын материалдары (филамент) қажет. Кейде ұйымдарда 3D принтерлерге арналған филаменттерге тапсырыс беру қомақты қаржыны талап етеді. Сондықтан 3D принтерлердің филаментін жасауға арналған экструдер әзірлеу STEAM-жобасы ұсынылған.

Қалдықтарды қайта өңдеу үшін қолданылатын мұндай құрылғылар демонстрациялық оқыту құралы ретінде қызмет ете алады және білім беруде STEAM тәсілін енгізу кезінде, экология және тұрақты даму, IoT негіздері, бағдарламалау, 3D модельдеу және т.б. пәндер бойынша сабақтарда қолданыла алады [7,10]. Экологиялық сананы қалыптастырумен қатар олардың дизайнын, мүмкіндіктерін және жұмыс істеу принциптерін зерделеу студенттердің цифрлық құзыреттіліктерін дамытуға ықпал етеді және олардың шығармашылық қызығушылығын оятады [7].

Тақырыптың өзектілігіне және заттар интернеті мен жасанды интеллект технологияларының қолжетімділігіне байланысты соңғы жылдары қалдықтарды сұрыптауды автоматтандыру саласында және бөлек пластмассада көптеген зерттеулер жүргізілді, олардың мөлшері барлық қалдықтардың жалпы көлемінің айтарлықтай бөлігін құрайды [11]. Ұзақ бұзылу жылдамдығына ие пластикалық материалдар жиналып, қоршаған ортаны ластайды және денсаулыққа теріс әсер етеді [12]. Сондықтан оларды қайта өңдеуге ерекше көңіл бөлінеді.

Осылайша, әдебиеттерді талдау STEAM тәсілін, 3D басып шығару технологияларын, пластик қалдықтарын қайта өңдеуді және АКТ-ны біріктіру тәжірибеге бағытталған оқытуға және оқушылардың әмбебап құзыреттіліктерін дамытуға бағытталған жаңа білім беру бағытын қалыптастыратынын көрсетеді. Пластик қалдықтарын тасымалдаусыз және қосымша шығындарсыз қайта өңдеуге арналған құрылғыларды жасау идеясы білім беру мекемесін IoT трансформациясы бойынша ғылыми жобаның бөлігі ретінде пайда болды және студенттерге арналған STEAM жоба тақырыбы болды.

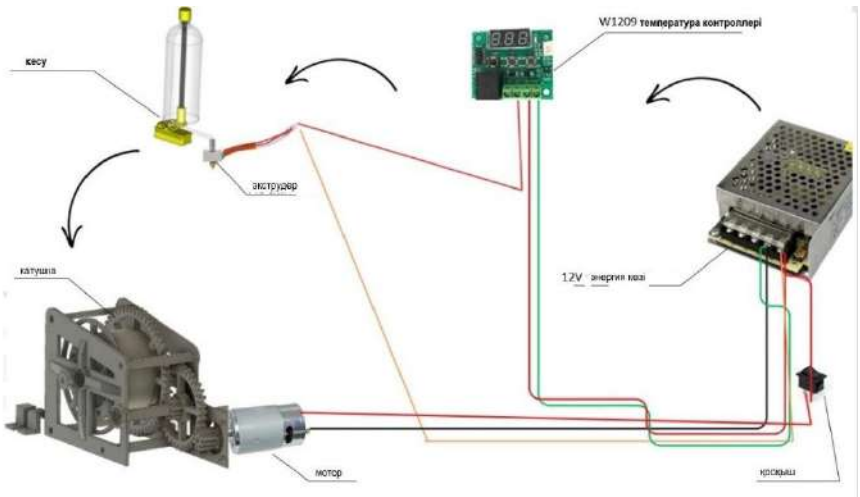
Зерттеу әдіснамасы

Зерттеуде 3D принтерге арналған пластикалық жіптер жасауда қолданылатын аддитивті технологиялар және басқа да заманауи технологиялар бойынша ғылыми әдебиеттерге талдау жасалды, ең қолжетімді, тиімді және перспективалық шешімдерді анықтау үшін әртүрлі мекемелерде 3D принтердің филаментін әзірлеуге арналған экструдер жасаудың және енгізудің практикалық тәжірибесін зерделеу қарастырылды.

Зерттеу пластикті қайта өңдеу құрылғысының функционалдық логикасын модельдеуге және оңай қол жетімді материалдар мен компоненттерге негізделген прототиптерді әзірлеуді қарастырады. Экструдердің сыртқы корпусы 3D принтерден басып шығару арқылы пластиктен жасалған. Әзірленген экструдер келесі элементтерден тұрады:

- пышақ пен қадамдық қозғалтқыш, пластик бөтелкелердің кесілген фрагменттері;
- бұрандалы механизм, шикізатты тасымалдау мен балқытуды қамтамасыз етеді;
- қыздыру элементтері, температураны аймақтық реттейтін электр қыздыру элементтері;
- лебедка, үздіксіз жіптің қалыптасуы;
- салқындату жүйесі, жіптің геометриялық өлшемдерін тұрақтандыру;
- орау қондырғысы, дайын жіптің катушкаға біркелкі оралуын қамтамасыз етеді;
- температура мен диаметр датчигі, процесс параметрлерін бақылауды қамтамасыз етеді.

1-суретте экструдердің функционалдық және логикалық диаграммасы көрсетілген.



Сурет 1. Пластикалық қалдықтарды қайта өңдеуге арналған экструдердің функционалдық және логикалық схемасы

Бұл құрылғы ПЭТ (полиэтилентерефталат) бөтелкесін пышақ пен қадамдық қозғалтқыштың көмегімен жұқа жолақтарға кесуге мүмкіндік береді. Әрі қарай таспа ыстық қалыптағыштың кіріс воронкасына түседі, онда ол 75-тен 80 градусқа дейін қызады және түтікке айналдырылады, содан кейін лебедка арқылы диаметрі 1,6-1,75 мм жіпке сығылады. Келесі қадамда жіп 3D принтерлерде кез келген нысандарды басып шығару үшін пайдаланылуы мүмкін қадамдық қозғалтқыштағы беріліс қорабын пайдаланып катушкаға оралады.

Жобаның ақпараттық-коммуникациялық компонентін іске асыру үшін аппараттық-бағдарламалық кешен құрылды. Мұндай кешенді құру үшін дауыс беру сенсорларына арналған микроконтроллер (Arduino/ESP32), жылыту аймақтарындағы температураны бақылауға арналған термиялық сенсорлар (DS18B20), CSV форматында деректерді сақтауға арналған модуль және нәтижелерді талдауға арналған Excel бағдарламаларындағы визуализация интерфейсі пайдаланылды. Бағдарламалық жасақтаманы білім алушылар C++/Arduino IDE тілінде жазды, ал деректерді өңдеу және визуализация Excel көмегімен жүзеге асырылды. Тәжірибелер үш жұмыс режимінде (әртүрлі температура мен бұранданың айналу жылдамдығы) жүргізілді. Әрбір режим үшін келесі параметрлер жазылды: жылыту аймақтарындағы температура, бұранданың айналу жылдамдығы, уақыт бойынша жіптің диаметрі, қолайлы жіп шығымының тұрақтылығы. Жиналған деректер жіп сапасын техникалық талдау үшін де, ақпаратты өңдеу және визуализациялау бойынша оқу тапсырмаларын қалыптастыру үшін де пайдаланылды. Студенттердің пластикалық бөтелкелерді қайта өңдеуге арналған құрылғыларын орнату идеясына және оларды білім беру мақсатында қайта пайдалануға көзқарасын зерттеу және осы жаңалықтарды тиімді игеруіне білім алушыларды STEAM-жобалар арқылы оқытудың әсерін бағалау мақсатында педагогикалық университеттің 57 студенті арасында сауалнама жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу барысында 3D принтері үшін пластик бөтелкелерді жіпке өңдеуге арналған экструдер әзірленді. Негізгі мақсаттардың бірі өнеркәсіптік стандарттарға сәйкес келетін тұрақты жіп диаметрін (1,75 ± 0,05 мм) қамтамасыз ету болды. Экструдердің тиімділігін тексеру үшін әртүрлі жұмыс жағдайларында бірқатар тәжірибелер жүргізілді.

Нәтижелер 1-кестеде берілген.

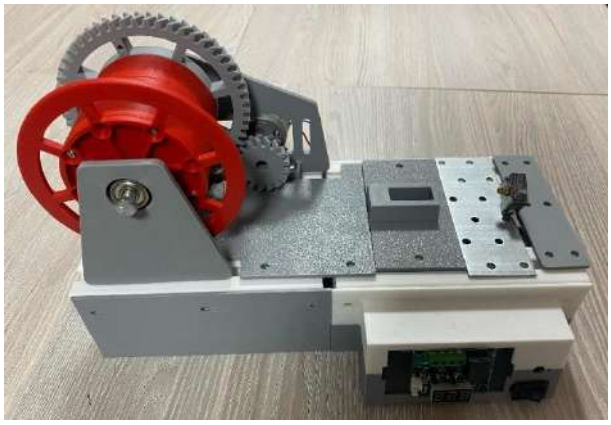
Кесте 1. Әртүрлі режимде филамент сапасының орташа көрсеткіштері

Режим	*Температура (^{0}C)*	*Шнек жылдамдығы (айн/мин)*	*Орташа диаметрі (мм)*	*Жарамды филамент пайыздық көрсеткіші*
1	*60*	*10*	*1,74*	*85*
2	*75*	*10*	*1,76*	*92*
3	*85*	*15*	*1,78*	*90*

Осы 1-кестедегі мәліметтер көрсеткендей, экструдердің оңтайлы жұмыс режимі 75°C температураға және 10 айн/мин бұранданың айналу жылдамдығына сәйкес келеді. Бұл режимде жақсы жіп шығуының максималды пайызы (92%) қамтамасыз етіледі. Осылайша, ұсынылған экструдер дизайны параметрлердің қажетті тұрақтылығын қамтамасыз етеді және пластикалық қалдықтарды 3D жіпке қайта өңдеу процесін оқу зертханасында жүзеге асыруға болады деп қорытынды жасауға болады. Зерттеудің келесі мақсаттарының бірі экструдерді басқару және нәтижелерді талдау үшін ақпараттық-коммуникациялық технологияларды енгізу болды. Осы мақсатта автоматтандырылған басқару жүйесі енгізілді. Бұл жүйе арқылы жылу сенсорының көрсеткіштері әрбір 5 секунд сайын жазылды, жіп диаметрінің сенсоры пайдаланылды және деректер кейінгі өңдеу үшін CSV пішімінде сақталынып отырды.

Бастапқы кезеңде жүйені жылытуға байланысты диаметрдің тұрақсыздығын көрсетеді. Дегенмен, температураны тұрақтандырудан кейін ауытқулар минималды болды, бұл автоматтандырылған басқарудың сенімділігін растайды. Әзірленген экструдер 2-суретте берілген.

Жоғарыда айтылғандай, құрылғының платикті тиімді балқыту температурасы 75-80°C, мұндай төмен температурада пластик иіс шығармайды.



Сурет 2. 3D принтердің филаментін жасауға арналған экструдер

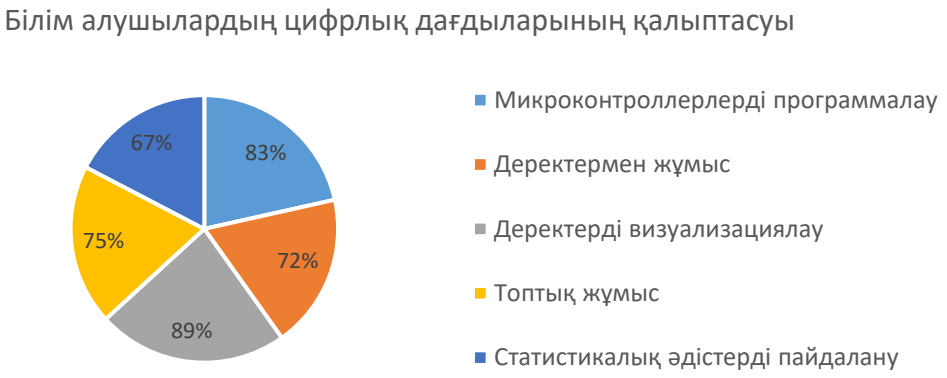
Сонымен қатар, пластикті алуға арналған өнеркәсіптік қондырғылардан айырмашылығы, бұл қайта өңдеу технологиясы қымбат жабдықты қажет етпейді және электр энергиясын әлдеқайда аз тұтынады.

Бұл қоршаған ортаға зиян келтірместен пластик бөтелкелерді қайта өңдеуге арналған жеткілікті қолжетімді, қарапайым, экологиялық таза шешім. Пластикалық бөтелкелерді қайта өңдеудің бұл әдісі экологиялық таза ғана емес, сонымен қатар экономикалық жағынан да тиімді. Ол қолда бар шикізаттан тасымалдау мен өңдеуге қосымша шығындарды қажет етпейтін жаңа өнімдерді жасауға мүмкіндік береді. Пластмассадан 3D басып шығару жібін жасау идеясы жаңа емес және оны қазірдің өзінде бүкіл әлем ғалымдары зерттеп жатыр. Осы мақалада ұсынылған бөтелкелерді кәдеге жарату әдісі білім беру мекемелеріне пластикалық қалдықтар мәселесін өз бетінше шешуге мүмкіндік береді, оған пайдалы өнім түрінде екінші өмір береді. STEAM жобасы тек техникалық нәтижеге ғана емес, сонымен қатар білім алушылардың цифрлық құзыреттіліктерін қалыптастыруға бағытталған болатын. Білім беру ұйымдарында STEAM жобалары арқылы оқыту қажеттілігі және мұндай жобалардың білім алушылардың цифрлық құзыреттіліктерін арттыруға әсерін анықтау мақсатында пайдаланушылар арасында сауалнама жүргізілді (2-кесте). Сауалнамаға Абай университетінің 57 студенті қатысты.

Кесте 2. STEAM жобасы арқылы оқытудың білім беруде тиімділігін бағалау үшін құрастырылған сауалнама сұрақтарынан үзінді

№	Сауалнама сұрақтары
1.	Экструдердің жұмыс істеу принципі сізге қаншалықты түсінікті болды?
2.	Сіз жоба барысында микроконтроллерді бағдарламалаудың жаңа дағдыларын (Arduino, ESP32 және т.б.) игердіңіз бе?
3.	Excel немесе CSV файлдарындағы деректермен жұмыс істегеуге қаншалықты сенімдісіз?
4.	Сізге жаңа визуализация құралдарын (Power BI, Python диаграммалары және т.б.) меңгеру керек болды ма?
5.	Қандай цифрлық дағдылар болашақ мамандығыңызға ең пайдалы деп санайсыз?
6.	Жобадағы топтық жұмыс деңгейін қалай бағалайсыз?
7.	Жоба барысында қандай қиындықтар жиі кездесті?
8.	Жоба сіздің инженерлік ойлауыңыз бен тәжірибелік дағдыларыңызды дамытуға қаншалықты ықпал етті?
9.	Осыған ұқсас пәнаралық жобаларға қатысқыңыз келе ме?
10.	Бұл жобаны жетілдіру немесе оқу үдерісіне енгізу бойынша қандай ұсыныстарыңыз бар?

Сауалнама нәтижесі бойынша білім алушылардың көпшілігі деректерді талдаудың статистикалық әдістерін алғаш рет қолданғанын (67%), сонымен қатар микроконтроллерлерді бағдарламалау тәжірибесін алғанын (83%) атап өтті. Сонымен қатар, Power BI жүйесінде деректерді визуализациялау шеберлігі ерекше бағаланды (89%). Нәтижелер 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Білім алушылардың цифрлық дағдыларының қалыптасуы

Осылайша, осы STEAM жобасында АКТ-ны қолдану инженерлік мәселені шешуге ғана емес, сонымен қатар студенттердің заманауи жоғары білім беру мақсаттарына сәйкес келетін негізгі цифрлық құзыреттіліктерді дамытуға ықпал етті.

Дискуссия

STEAM жобасында студенттер жұмыстың бұл форматы, яғни АКТ-ны қолданатын топтық жоба, оқу процесін инженерлік практиканың нақты жағдайларына жақындататынын атап өтті. Әрбір жобаға қатысушы бағдарламалаудан бастап, пәнаралық құзыреттердің дамуына ықпал еткен деректерді талдауға дейін бірегей рөл атқарды. Ең бастысы, АКТ пайдаланып, STEAM жобаларын ұйымдастыру білім алушылардың оқу процесіне деген қызығушылығын арттырды, себебі олар өз жұмыстарының практикалық нәтижелерін көрді. Бұл университеттік білім беруде мұндай жобаларды қолданудың тиімділігін растайды.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу пластикалық бөтелкелерден 3D принтердің фидаментін жасауға арналған экструдерді әзірлеу бойынша STEAM жобасын іске асыру мысалында ақпараттық-коммуникациялық технологияларды оқу үдерісінде қолданудың тиімділігін растады. Әзірленген экструдер алынған жіптің тұрақты параметрлерін қамтамасыз етеді (орташа диаметрі ±0,04 мм ауытқулармен 1,75 мм), бұл 3D басып шығару материалдарына қойылатын талаптарға сәйкес келеді. Автоматтандырылған басқару жүйесін енгізу, эксперименттік деректерді өңдеу және визуализациялау үшін АКТ-ны пайдалану (Excel, Python) студенттерде сәйкес цифрлық құзыреттердің қалыптасуына ықпал етті. Студенттер бағдарламалауды, мәліметтерді өңдеуді, визуализацияны және инженерлік дизайн негіздерін меңгерді. Осылайша, цифрлық технологияларды тиімді пайдаланып, оқытуды STEAM жобасы арқылы ұйымдастыру болашақ мамандарды даярлауда және олардың кәсіби және цифрлық құзыреттерін дамытуда өзінің тиімділігін көрсетті. Болашақта пластикті алдын ала кептіру жүйесін қосу арқылы экструдер дизайнын жақсартуға және процесс параметрлерін қашықтан басқаруды енгізу арқылы АКТ жүйесінің функционалдығын кеңейтуге болады.

Алғыс

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен гранттық зерттеу аясында дайындалған (Грант №AP23490844).

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Fursova V. A., Syzdykova R. B., Bimakhanov A. S., & Makhambetova, K. T. The competence of modern higher professional education institution graduates as an object of sociological reflection. Gestão e Desenvolvimento em Contexto Educativo, 3(1), 62–75. https://periodicos.ufpb.br/index.php/ged/article/view/49303

[2] Xiaojing Gu, Dandan Tong, Peiqi Shi, Yuchen Zou, Han Yuan, Chen Chen, Guoqing Zhao, Incorporating STEAM activities into creativity training in higher education. Thinking Skills and Creativity, Volume 50, 2023, 101395, ISSN 1871-1871, https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101395.

[3] Manisha Singh, Iqbal Azad, Mohammad Aamir Qayyoom, Tahmeena Khan, A study on perceptions and practices of STEAM-based education with university students, Social Sciences & Humanities Open, Volume 10, 2024, 101162, ISSN 2590-2911, https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101162.

[4] Крутов Е.С. Разработка экструдера для изготовления пластиковой нити для 3D принтеров (FDM) // «Молодой учёный». № 26.1 (316.1). Июнь 2020 г. С.21-24.

[5] Зубков, А. Д., & Катаева, А. Д. (2024). Роль проектно-ориентированного обучения в развитии критического мышления у студентов-экономистов на занятиях по иностранному языку. Мир педагогики и психологии: международный научно-практический журнал, (03 (92)). Режим доступа: https://scipress.ru/pedagogy/articles/rol-proektno-orientirovannogo-obucheniya-v-razvitii-kriticheskogo-myshleniya-u-studentov-ekonomistov-na-zanyatiyakh-po-inostrannomu-yazyku.html

[6] Ahmad Zamri, A. F., Ahmad Sayuti, N. 'Ayn, Ab Hamid, A. H., & Mohd Noor, M. A. A. (2022). Additive Manufacturing-3D Printing in Product Design Education: Learning experiences using Fused Deposition Modeling (FDM). Environment-Behaviour Proceedings Journal, 7(SI9), 511–516. https://doi.org/10.21834/ebpj.v7iSI9.4300

[7] Kamalova G., Kurmangaliyeva N., Salgozha I., Turashova S., & Ospanova, N. Innovative technologies in plastic waste management in educational institutions. International Journal of Innovative Research and Scientific Studies, 2025, 8(1), 1979–1986. https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i1.4841

[8] Xu, L.**,** Zhang, J.**,** Ding, Y.**,** Sun, G.**,** Zhang, W.**,** Philbin, S. P.**,** & Guo, B. H. W. *Assessing the impact of digital education and the role of the big data analytics course to enhance the skills and employability of engineering students. Frontiers in Psychology, 13, 2022, Article 974574. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.974574*

[9] Кузнецова Л. А., Лысак О. Г., Слободская И. Н. STEAM-проектирование в формировании исследовательской компетенции обучающихся в вузе // Гуманитарные исследования. Психология и педагогика. 2024. № 19. С. 7–14. https://doi.org/10.24412/2712-827X-2024-19-7-14

[10] Wisdom, S., & Novak, E. Using 3D printing to enhance STEM teaching and learning: Recommendations for designing 3D printing projects. In M. S. Khine & N. Ali (Eds.), Integrating 3D printing into Teaching and Learning: Practitioners' Perspective, 2020, pp. 187–205. Brill. https://doi.org/10.1163/9789004415133_010

[11] K.O. Babaremu, S.A. Okoya, E. Hughes, B. Tijani, D. Teidi, A. Akpan, J. Igwe, S. Karera, M. Oyinlola and E.T. Akinlabi, "Sustainable plastic waste management in a circular economy", Heliyon, vol. 8, Issue 7, 2022. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09984

[12] O. Plohl , N. Sep, LF Zemljič , A. Vuyanovich , M. Čolnik , YV Fan, M. Škerget , JJ Klemeš , L. Čuček and JV Valh , "Fragmentation of Plastic Threadments of Disposed Plasticron Waste Materials in Engineering, Aquafficial Transactition" том.94, p.1249-1254, 2022. https://doi.org/10.3303/CET2294208

References

[1] Fursova V. A., Syzdykova R. B., Bimakhanov A. S., & Makhambetova, K. T. The competence of modern higher professional education institution graduates as an object of sociological reflection. Gestão e Desenvolvimento em Contexto Educativo, 3(1), 62–75. https://periodicos.ufpb.br/index.php/ged/article/view/49303

[2] Xiaojing Gu, Dandan Tong, Peiqi Shi, Yuchen Zou, Han Yuan, Chen Chen, Guoqing Zhao,Incorporating STEAM activities into creativity training in higher education. Thinking Skills and Creativity, Volume 50, 2023, 101395, ISSN 1871-1871, https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101395.

[3] Manisha Singh, Iqbal Azad, Mohammad Aamir Qayyoom, Tahmeena Khan, A study on perceptions and practices of STEAM-based education with university students, Social Sciences & Humanities Open, Volume 10, 2024, 101162, ISSN 2590-2911, https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101162.

[4] Krutov E.C. (2020) Razrabotka ekstrudera dlya izgotovlenya plastikovoi niti dlya 3D printerov [Development of an extruder for producing plastic filament for 3D printers] (FDM) // «Molodoi uchenyi». № 26.1 (316.1). 21-24. (In Russian)

[5] Zubkov A.D., Katayeva A.D. (2024) Rol proektno-orientirovannogo obuchenya v razvitii kriticheskogo mishlenya u studentov-ekonomistov na zanyatiah po inostrannomu yaziku [The role of project-based learning in developing critical thinking in economics students in foreign language classes]. Mir pedagogiki i psihologii: mezhdunarodnyi nauchno-prakticheski zhurnal, 2024, (03 (92)). Rezhim dostupa: https://scipress.ru/pedagogy/articles/rol-proektno-orientirovannogo-obucheniya-v-razvitii-kriticheskogo-myshleniya-u-studentov-ekonomistov-na-zanyatiyakh-po-inostrannomu-yazyku.html (In Russian)

[6] Ahmad Zamri, A. F., Ahmad Sayuti, N. 'Ayn, Ab Hamid, A. H., & Mohd Noor, M. A. A. (2022). Additive Manufacturing-3D Printing in Product Design Education: Learning experiences using Fused Deposition Modeling (FDM). Environment-Behaviour Proceedings Journal, 7(SI9), 511–516. https://doi.org/10.21834/ebpj.v7iSI9.4300

[7] Kamalova G., Kurmangaliyeva N., Salgozha I., Turashova S., & Ospanova, N. Innovative technologies in plastic waste management in educational institutions. International Journal of Innovative Research and Scientific Studies, 2025, 8(1), 1979–1986. https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i1.4841

[8] Xu, L.**,** Zhang, J.**,** Ding, Y.**,** Sun, G.**,** Zhang, W.**,** Philbin, S. P.**,** & Guo, B. H. W. *Assessing the impact of digital education and the role of the big data analytics course to enhance the skills and employability of engineering students. Frontiers in Psychology, 13, 2022, Article 974574. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.974574*

[9] Kuznetsova L.A., Lisak O.G., Slobodskaya I.N. (2024) STEAM-proektirovaniye v formirovanii issledovatelskoi kompetensii obuchaushihsya v vuze [STEAM design in developing research competence in university students]. Gumanitarniye issledovaniya. Psihologiya i pedagogika. № 19.7–14. https://doi.org/10.24412/2712-827X-2024-19-7-14 (In Russian)

[10] Wisdom, S., & Novak, E. Using 3D printing to enhance STEM teaching and learning: Recommendations for designing 3D printing projects. In M. S. Khine & N. Ali (Eds.), Integrating 3D printing into Teaching and Learning: Practitioners' Perspective, 2020, pp. 187–205. Brill. https://doi.org/10.1163/9789004415133_010

[11] K.O. Babaremu, S.A. Okoya, E. Hughes, B. Tijani, D. Teidi, A. Akpan, J. Igwe, S. Karera, M. Oyinlola and E.T. Akinlabi, "Sustainable plastic waste management in a circular economy", Heliyon, vol. 8, Issue 7, 2022. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09984

[12] O. Plohl , N. Sep, LF Zemljič , A. Vuyanovich , M. Čolnik , YV Fan, M. Škerget , JJ Klemeš , L. Čuček and JV Valh , "Fragmentation of Plastic Threadments of Disposed Plasticron Waste Materials in Engineering, Aquafficial Transactition" том.94, p.1249-1254, 2022. https://doi.org/10.3303/CET2294208

ҒТАХР 20.53.15

10.51889/2959-5894.2025.91.3.021

Д.Р. Рахимова[1,2], Ж. Дүйсенбекқызы[1*], О.А. Сағынтай[3], Ә. Турарбек [1,2], Ш. Төлеуғали[2]

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[2]Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы қ., Қазақстан
[3]NARXOZ University, Алматы қ., Қазақстан
[*]*e-mail: jansaya_sugirbaeva@mail.ru*

БАЛАЛАРДЫҢ СӨЙЛЕУІН ТАНУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ШУДЫ АЗАЙТУ АЛГОРИТМДЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ЖАҚСАРТУ

Аңдатпа

Бұл жұмыста нақты акустикалық ортада жазылған балалардың сөйлеу сапасын жақсартуға арналған гибридті шуды азайту алгоритмі ұсынылған. Алгоритм дәстүрлі спектрлік талдау әдістерін – жылдам Фурье түрлендіруі (FFT) және Винер сүзгісін – терең оқытудың тәсілдерімен, атап айтқанда қайталанатын нейрондық желілер (RNN) мен ұзақ қысқа мерзімді жады (LSTM) модельдерімен біріктіреді. Ұсынылған әдістің тиімділігін бағалау үшін қазақ тіліндегі балалар сөйлеуінің аудио деректерінен құралған арнайы корпус Telegram-бот арқылы жиналды. Эксперимент нәтижелері алгоритмді қолданғаннан кейін сөйлеуді тану көрсеткіштерінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетті: сөзді тану қателігі (WER) 32.4%-дан 18.7%-ға дейін төмендеді, ал F1-score 0.72-ден 0.88-ге дейін өсті. Спектрограммалық талдау фондық шудың азайғанын және сөйлеу сигналдарының анықтығының артқанын көрсетті. Зерттеу нәтижелері балалардың сөйлеуін тану жүйелерінде шуды азайту үшін гибридті әдістерді қолданудың тиімді екенін дәлелдеді.

Түйін сөздер: сөйлеуді жақсарту, терең оқыту, нейрондық желілер, шуды болдырмау, сөйлеу сигналдарын өңдеу, стационарлық емес шу, баланың сөйлеуі, гибридті алгоритмдер, деректерді өңдеу, қазақ тілі.

Д.Р. Рахимова[1,2], Ж. Дүйсенбекқызы[1], О.А. Сағынтай[3], Ә. Турарбек[1,2], Ш. Төлеуғали[2]
[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
[2]Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан
[3]NARXOZ University, Алматы, Казахстан

АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ДЕТЕЙ

Аннотация

В данной работе представлен гибридный алгоритм шумоподавления, предназначенный для улучшения качества речи детей, записанных в конкретной акустической среде. Алгоритм сочетает в себе традиционные методы спектрального анализа, такие как быстрое преобразование Фурье (FFT) и фильтр Винера, с подходами глубокого обучения, включая повторяющиеся нейронные сети (RNN) и сети с долговременной кратковременной памятью (LSTM). Для оценки эффективности предложенного метода был собран аудиофайл детской речи на казахском языке с использованием специально разработанного Telegram-бота "Dataset Loader". Экспериментальная часть исследования показала значительное улучшение показателей распознавания речи после использования алгоритма шумоподавления. В частности, частота ошибок распознавания слов (WER) снизилась с 32.4% до 18.7%, а F1-score выросла с 0.72 до 0.88. Анализ спектрограмм показал явное снижение уровня фонового шума и улучшение читаемости речи. Результаты исследования подтверждают эффективность гибридного подхода для улучшения качества речевых данных и повышения точности систем автоматического распознавания речи в сложных акустических условиях.

Ключевые слова: улучшение речи, глубокое обучение, нейронные сети, шумоподавление, обработка речевых сигналов, нестационарный шум, речь ребенка, гибридные алгоритмы, обработка данных, казахский язык.

D. R. Rakhimova[1, 2], Zh. Duisenbekkyzy[1], O. A. Sagintayev[3], A. Turarbek[1, 2], Sh. Toleugali [2]
[1] Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2] Institute of information and computing technologies, Almaty, Kazakhstan,
[3]NARXOZ University, Almaty, Kazakhstan

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF NOISE REDUCTION ALGORITHMS IN CHILDREN'S SPEECH RECOGNITION SYSTEMS

Abstract

This article presents a hybrid noise reduction algorithm designed to improve the quality of children's speech recorded in a specific acoustic environment. The algorithm combines traditional spectral analysis techniques such as fast Fourier transform (FFT) and Wiener filter with deep learning approaches including repetitive neural networks (RNNs) and long-term short-term memory (LSTM) networks. To evaluate the effectiveness of the proposed method, an audio file of children's speech in Kazakh was compiled using a specially developed Telegram bot "Dataset Loader". The experimental part of the study showed a significant improvement in speech recognition after using the noise reduction algorithm. In particular, the word recognition error rate (WER) decreased from 32.4% to 18.7%, and the F1-score increased from 0.72 to 0.88. Spectrogram analysis showed a clear reduction in background noise and improved speech readability. The results of the study confirm the effectiveness of the hybrid approach to improve the quality of speech data and improve the accuracy of automatic speech recognition systems in difficult acoustic conditions.

Keywords: speech enhancement, deep learning, neural networks, noise reduction, speech signal processing, non-stationary noise, child's speech, hybrid algorithms, data processing, Kazakh language.

Кіріспе

Бұл зерттеу қазақ тіліндегі балалар сөйлеуіндегі шуды азайту мәселесін шешуге бағытталған. Дәстүрлі спектрлік әдістер мен терең оқыту модельдерін (RNN, LSTM) біріктіретін гибридті алгоритм ұсынылды. Эксперименттер нәтижесінде сөйлеуді тану сапасы айтарлықтай жақсарғаны анықталды (WER 32.4%-дан 18.7%-ға дейін төмендеді). Нәтижелер күрделі акустикалық ортада ASR жүйелерінің сапасын арттыруға жол ашады.

Сөйлеу – адамдардың қарым-қатынасының негізгі тәсілі. Қарым-қатынас процесін екі кезеңге бөлуге болады: сөйлеуді құру және сөйлеуді қабылдау [1]. Сөйлеуді құру адам өз ойын дыбыстарда білдірген кезде пайда болады. Сөйлеуді қабылдау-бұл басқа адам бұл дыбыстарды естіп, сөйлеушінің не айтқысы келетінін түсінеді.

Сөйлеуді автоматты түрде тану (ASR), дауыстық интерфейстер (мысалы, теру немесе деректерді енгізу үшін) және есту аппараттары сияқты сөйлеуге негізделген көптеген қосымшалар бар. Алайда, нақты жағдайда сөйлеу сапасы көбінесе фондық шу, кедергі сияқты сыртқы факторларға байланысты нашарлайды. Мұндай жағдайларда тыңдаушы сөйлеуді қабылдауда қиындықтарға тап болады, әсіресе шуға қатысты сигнал деңгейі (SNR) төмендеген кезде. Осыған байланысты сөйлеу сапасын жақсарту (SE) міндеті аудио сигналдарды өңдеу саласында өте маңызды болып табылады. SE бұрмаланған сигналдан шуды жою арқылы түсінікті және сөйлеу сапасын арттыруға бағытталған [2]. Дегенмен, шуды азайту және бастапқы сигналды қалпына келтіру процесі әлі де әдістер мен технологияларды жетілдіруді қажет ететін күрделі тапсырма болып табылады.

Сөйлеу сапасын жақсарту және шуды азайту міндеті аудио сигналдарды өңдеу саласындағы ең күрделі және өзекті мәселелердің бірі болып қала береді [3]. Соңғы ондаған жылдарда сөйлеу мен шудың өзара әрекетін талдау үшін статистикалық модельдерден бастап терең оқытуға негізделген заманауи тәсілдерге дейін әртүрлі әдістер қолданылды [4]. Дәстүрлі әдістер жоғары сигнал/шу қатынасы (SNR) мен тұрақты шу жағдайында тиімді болғанымен, төмен SNR және өзгермелі шу кезінде пайдалы сигналды ажыратуда әлсіз екенін көрсетті [5,6]. Сөйлеудің оқылуы мен шуды азайту мәселесі әлі де өзекті. Бұл әсіресе автоматты тану жүйелері үшін маңызды, себебі мұнда тек шуды жою ғана емес, пайдалы сигналды сақтау және нақты уақыт режимінде жұмыс істеу де талап етіледі.

Шуды болдырмау – пайдалы сигналды көшедегі шу, фондық сөйлеу немесе қоршаған орта дыбыстары сияқты қажетсіз шулардан бөлу мақсатында аудио сигналдарды өңдеудегі

маңызды міндет. Шуды азайту міндеті сөйлеуді тану жүйелері, медиа дыбыс сапасын жақсарту, сондай-ақ таза аудио файлдарды жасау сияқты көптеген технологиялардың орталығында тұр. Соңғы онжылдықтарда дәстүрлі сүзгілермен салыстырғанда тиімділігі дәлелденген машиналық оқыту мен терең оқытуға негізделген күрделі әдістерге назар аударылды. Төтенше оқиғаларды анықтау апаттық сигналдарды жедел әрі жоғары дәлдікпен анықтауды талап ететін маңызда тапсырма болып табылады. Заманауи терең оқыту технологиялары аудио сигналдар талдауына арналған тиімді шешімдерді алуға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде төтенше оқиғаларды анықтаудың жылдамдығы пен дәлдігін арттырады.

Шуды болдырмаудың заманауи әдістерін бірнеше санатқа бөлуге болады:

1. Дәстүрлі әдістер (мысалы, спектрлік тығыздықты сүзу немесе спектрлік азайту әдісі);

2. Статистикалық тәсілдерге негізделген әдістер (SNR ұпайы, Винер сүзгілері);

3. Терең нейрондық желілерге негізделген заманауи Алгоритмдер (RNN, CNN және басқалары).

Дыбыстық сигналдағы шу – бұл бастапқы пайдалы сигналды бұрмалайтын дыбыс толқындарының кездейсоқ тербелісі. Ғылыми әдебиеттерде пайдалы сигнал мен шудың өзара әрекеттесуі көбінесе келесі математикалық модельді қолдану арқылы сипатталады:

$$Y_n = S_n + N_n \quad (1)$$

мұндағы:

Y_n – n уақытындағы шулы сигнал,

S_n – пайдалы ақпарат болып табылатын таза сигнал,

N_n – пайдалы сигналға қосылатын Шу,

n –жазу процесінде уақыт моментін сипаттайтын уақыт индексі.

Шуды азайту немесе дыбыс сапасын жақсарту міндетінің мақсаты-таза S_n бастапқы сигналына мүмкіндігінше жақын шулы Y_n сигналын қалпына келтіруді табу, ал міндет шудың сигналды қабылдаудың соңғы сапасына әсерін азайту болып табылады [7,8].

Шуды болдырмау әдістері сапаны жақсарту және сигналды кейінгі ойнатуға дайындау мақсатында дыбыстық жазбаларды қажетсіз дыбыстық кедергілерден тазартуда маңызды рөл атқарады. Бұл тәсілдер дыбысты өңдеу процесінде фильмдер, музыка, подкасттар және басқа мазмұн түрлері сияқты әртүрлі медиа форматтарда кеңінен қолданылады. Мұндай тапсырмаларда шуды жоюдан басқа, жазудың жалпы тазалығын жақсарту қажет, бұл тек шуды сүзуді ғана емес, сонымен қатар сөйлеуді түсінікті ету үшін сигналды өзгертуді де қамтуы мүмкін.

Осы мақсаттар үшін музыкалық және дыбыстық тректерді жасау үшін қолданылатын аудио редакторлар мен араластырғыш бағдарламаларда қол жетімді арнайы құралдар бар. Танымал аудио редакторлардың бірі Audacity "Шу қақпасы" (noise gate) деп аталатын әдісті қолданады. Бұл бағдарлама жылдам Фурье түрлендіруін (FFT) орындағаннан кейін қолданылатын шу қақпасының спектрлік нұсқасын пайдаланады. Бұл әдіс пайдалы сигналға әсер етпестен төмен амплитудасы бар дыбыстық кедергілерді тиімді сүзуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Audacity дыбыстық сигналдағы артефактілер мен ұсақ бұрмалануларды жоюға көмектесетін терезені тегістеу механизмдерін қамтиды. Audacity сияқты бағдарламалар, әсіресе ескірген немесе бүлінген микрокассеталық жазбалармен жұмыс істегенде, өздерін аудио жазбаларды қалпына келтірудің тиімді құралы ретінде көрсетті [9].

Нақты уақыттағы шуды азайту міндеті қазіргі заманғы аудио сигналдарды өңдеу технологияларында ең күрделі және сұранысқа ие мәселелердің бірі болып табылады. Мұндай шуды жоюдың негізгі мақсаты - адам айтқан маңызды ақпаратқа қатысы жоқ және сөйлеуді қабылдауға кедергі келтіретін дыбыстарды бөлу. Бұл дыбыстарға фондық шу кіруі мүмкін, мысалы, көлік қозғалысының дыбыстары, бейтаныс адамдардың сөйлесулері немесе жұмыс істейтін желдеткіштер немесе бұрғылар сияқты механикалық ішкі Шу. Көбінесе шуды

болдырмау технологиялары Skype, Zoom, Discord және басқалары сияқты аудио конференцияларға арналған жүйелерде қолданылады, мұнда сырттан келгендер болған кезде сөйлеудің жоғары оқылуы маңызды. дыбыстық, мұндай жүйелер белгілі бір дыбыс деңгейінен тыс дыбыстарды блоктайтын немесе сүзетін "Шу қақпасы" принципіне негізделген тәсілдерді қолданады. Алайда, жақында мұндай жүйелердің тиімділігін арттыру үшін нақты уақыт режимінде сигналды жоғары дәлдікпен тазартуға мүмкіндік беретін Машиналық оқыту әдістері көбірек қолданыла бастады. Машиналық оқытуды сәтті қолданудың жарқын мысалдарының бірі-шуды сүзу үшін ұзақ мерзімді қысқа мерзімді жад блоктары (LSTM) және конволюциялық нейрондық желілер (CNN) бар қайталанатын нейрондық желілерді (RNN) пайдалану [10,11].

Microsoft DNS-Challenge [12] нәтижелеріне сүйене отырып, осы озық тәжірибелерді Skype және Teams қосымшаларына біріктірді. Нақты уақыттағы шуды азайту алгоритмдері агрессивті шудың (мысалы, бұрғылау, желдеткіш, сыртқы жел) жағдайында да дауыстық сигнал сапасын жақсарта алады. Бұл нәтижеге қоршаған шудың өзгеруіне икемделетін күрделі нейрондық желілік архитектуралар арқылы қол жеткізіледі. Мұндай тәсіл нақты жағдайда сөйлеуді қабылдауды едәуір жақсартады.

Осылайша, жаңа оқыту, соның ішінде LSTM және CNN, сыртқы шудың жоғары деңгейінде дауыстық қосымшалардың сапасын едәуір жақсарта отырып, нақты уақыттағы шуды болдырмаудың жаңа көкжиегін ашады. Шуды болдырмаудың негізгі міндеттерінің бірі-кейінгі танудың дәлдігін жақсарту үшін дыбыстық сигналды сөйлеуді автоматты тану жүйесіне (ASR) жібермес бұрын оны өңдеу және тазарту. Бұл тапсырма бірқатар қиындықтармен бірге жүреді, өйткені шуды жою процесінде шуды жою ғана емес, сонымен қатар тану сапасына теріс әсер етуі мүмкін сигналға жасанды бұрмалануларды енгізбеу маңызды. Мысалы, Зерттеулер [13] маскаларды қолданатын шуды азайту жүйелері кейде сөйлеуді тану нәтижесін жақсартып қоймай, керісінше нашарлатуы мүмкін екенін көрсетеді. Себебі мұндай әдістер жиі спектрлік сипаттамаларды бұрмалап, декодтау сапасына кері әсер етеді. Ал заманауи терең нейрондық желілер алдын ала өңдеу кезеңінде қолданылғанда, сөйлеу сигналын тануға дейін оның сапасын тиімді түрде жақсартуға мүмкіндік берді.

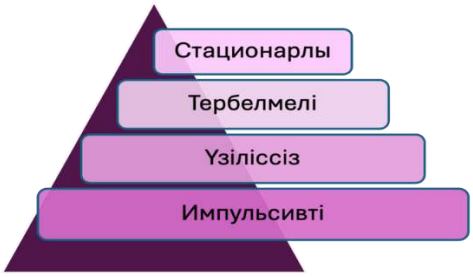
Зерттеу әдіснамасы

Дыбыстық сигналдағы шуды спектрлік сипаттамалар немесе жиілік диапазондары сияқты әртүрлі белгілер бойынша жіктеуге болады [14]. Алайда, сөйлеуді өңдеуде және қажетсіз шуды жоюға тырысқанда, шуды олардың уақыт сипаттамаларына қарай жіктеу өте маңызды [15]. 1-суретте шудың жіктелуі олардың динамикасы мен уақыттық өзгергіштігіне байланысты бірнеше санатқа бөлінеді.

Сурет 1. Шудың уақыт сипаттамалары бойынша жіктелуі

1-суретте көрсетілгендей, шудың уақыт сипаттамалары оның көздерімен және қалыптасу процестерімен тығыз байланысты. Стационарлық және тербелмелі шу әдетте табиғи және жасанды жүйелерде тұрақты және болжамды сипаттамалары бар процестерден туындайды.

Шудың бұл түрлері тұрақты немесе мезгіл-мезгіл қайталанатын құрылымға ие, бұл оларды уақыт бойынша салыстырмалы түрде тұрақты етеді. Керісінше, үзік-үзік және импульстік шу қысқа мерзімді сипаттағы және уақыттың белгілі бір нүктелерінде ғана болатын бір реттік және өткір оқиғалардан туындайды. Бұл шулар ұзақ уақыт сақталмайды және пайда болғаннан кейін бірден жоғалады. Үзіліссіз шуды белгілі бір уақыт аралығында қайталанатын импульстік шудың бір түрі ретінде қарастыруға болады, бұл ауыспалы тыныштық кезеңдерін және шудың қысқа жарылыстарын тудырады. Шудың жіктелуі оларды басудың күрделілігіне байланысты әр түрлі шу түрлерін бөліп көрсету үшін қажет. Шуды болдырмау мәселесін шешудің негізгі қиындығы - болжау мүмкін еместігі және дыбыстық сигналда болуы мүмкін Шу түрлерінің әртүрлілігі. Шу түрі алдын-ала белгілі болған кезде, шуды жою міндеті басқарылатын болады. Мысалы, стационарлық шуды салыстырмалы түрде оңай жоюға болады, өйткені оның сипаттамаларын болжауға және анықтауға болады. Ақ шу әдетте спектр бойынша біркелкі бөлінеді, бұл тыныштық аймақтарында шудың шекті амплитудасын орнатуға және оны пайдалы сигналдан дәл оқшаулауға мүмкіндік береді. Осылайша, 2-суретте көрсетілгендей шуды азайту мәселелерін шешуде күрделілік иерархиясын құруға болады, мұнда күрделі шу түрлері күрделі өңдеу әдістерін қолдануды қажет етеді, ал қарапайым және стационарлық шуды сүзу оңайырақ.



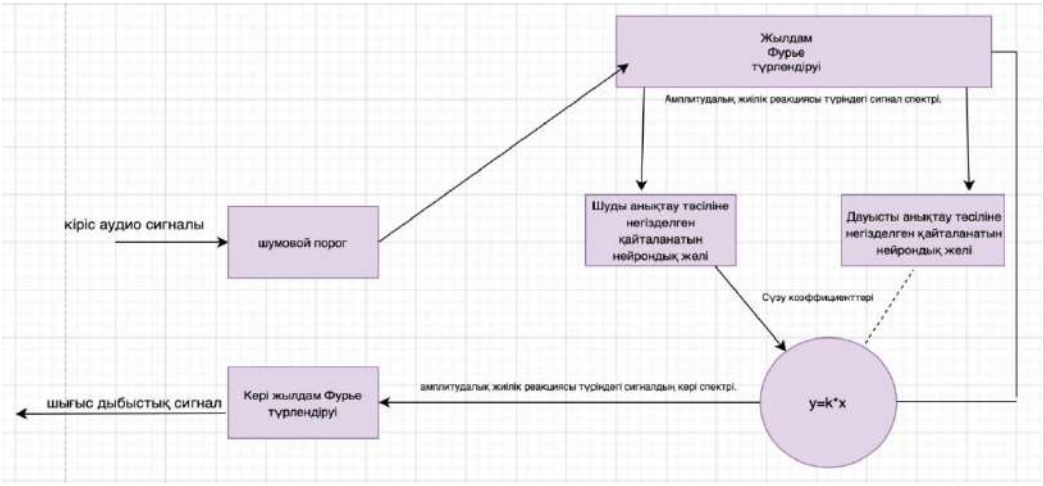
Сурет 2. Уақыт сипаттамаларына және басудың күрделілігіне байланысты шу түрлерінің иерархиясы

1-кестеде дыбыстық сигналдарда пайда болатын шудың негізгі түрлерінің жіктелуі, олардың көріну мысалдары және сәйкес басу әдістері келтірілген. Шудың әр түрі өзінің уақыттық және спектрлік сипаттамаларымен ерекшеленеді, бұл оны жою тәсілін таңдауды анықтайды [16].

Кесте 1. Шудың жіктелуі және оларды басу әдістері

Шу түрі	*Мысалдар*	*Басу әдістері*	*Өңдеу ерекшеліктері*
Стационарлы	*Ақ шу, желдеткіштің дыбысы*	*Спектрлік тығыздық бойынша сүзу (Spectral Subtraction), Винерді сүзу (Wiener Filter)*	*Болжамды спектрі бар шуды тиімді басу, жоғары SNR кезінде минималды бұрмаланулар*
Тербелмелі	*Машиналардан ауыспалы шу, дыбыс деңгейінің ауытқуы*	*Адаптивті сүзгілер (LMS алгоритмі), SNR бағалау әдістері*	*Шу деңгейінің өзгеруіне байланысты сүзгілерді динамикалық реттеу қажет*
Үзіліссіз	*Мерзімді шертулер, баспа машинкасының дыбысы*	*Уақыт терезелерімен спектрлік азайту, уақыт маскаларымен сегменттеу және терезені тегістеу*	*Артефактілерді жою және жою үшін уақытша Шу құрылымын қолдану*
Импульсивті	*Шапалақтау, заттардың құлауы, қатты дыбыстар*	*Конволюциялық нейрондық желілер (CNN), LCM блоктары бар қайталанатын нейрондық желілер (RN)*	*Қысқа мерзімді Шу жағдайында күрделі заңдылықтарды анықтау үшін терең оқыту әдістерін қолдану*

Кестеден шуды азайту әдістерінің тиімділігі шудың түрі мен сипаттамаларына тікелей байланысты деген қорытынды жасауға болады. Шудың әртүрлі түрлерінің пайда болуының уақыт сипаттамалары мен табиғатын талдау негізінде шуды болдырмаудың гибридті алгоритмі жасалды, ол нақты уақыттағы шу сипаттамаларына бейімделеді. Бұл тәсіл шудың күрделілігі мен түріне байланысты дәстүрлі есептеу әдістері мен заманауи нейрондық желілік архитектуралардың тіркесімін қолдануды қарастырады. 3-суретте ұсынылып отырған гибридті шуды азайту әдістемесінің жалпы схемасы берілген. Схема кіріс аудио сигналдан бастап, шуды анықтау, дауысты анықтау және кері түрлендіру арқылы тазартылған дыбыс сигналын алу үдерісін көрсетеді.



Сурет 3. Гибридті шуды азайту әдістемесінің схемасы

Шуды азайту процесін сипаттайтын негізгі формула келесідей:

$$Y(b,t) = k(b,t) * x(b,t) \tag{2}$$

мұндағы: $Y(b,t)$ – t уақытындағы b жиілік диапазонындағы сигналдың шығыс амплитудасы, $x(b,t)$ – t уақытындағы b жиілік диапазонындағы сигналдың кіріс амплитудасы, $k(b,t)$ – в жолағындағы сигналдың басылу немесе сақталу дәрежесін анықтайтын [0, 1] диапазонындағы сүзу коэффициенті.

Блок-схемада көрсетілген алгоритм қадамдары:

1. Шекті пайдаланып әлсіз шу шығару.
2. FFT көмегімен сигналды жиілік аймағына түрлендіру.
3. Шу мен сөйлеуді анықтау үшін нейрондық желілер арқылы спектрді талдау.
4. Шуды басу және сөйлеуді сақтау үшін сүзуді қолдану.
5. Тазартылған сигналды уақыт аймағына кері түрлендіру.
6. Тиімділікті арттыру үшін барлық кезеңдерді бір өңдеуге біріктіру.

Ұсынылған гибридтік тәсілді егжей-тегжейлі сипаттау үшін алгоритмді бірнеше дәйекті кезеңдерге бөлуге болады, олардың әрқайсысы шуды тиімді басуға және сөйлеу сапасын жақсартуға ықпал етеді:

1. Деректерді өңдеу: бірінші қадамда Шу шегі арқылы сүзілетін әлсіз шу шығады. Бұл маңызды сөйлеуге әсер етпестен төмен амплитудалық шуды жоюға мүмкіндік береді. Бұған келесі формуланы қолдану арқылы қол жеткізіледі:

$$x_{threshold} = \begin{cases} x\,(b,t), \text{если} \;\; x\,(b,t) > \theta \\ 0, \text{если} \;\; x(b,t) \;\leq \theta \end{cases} \tag{3}$$

мұндағы: θ — фон деңгейіне байланысты таңдалған шу шегі.

2. Жиілікті талдау: жиілік аймағына түрлендіру xthreshold (t) сигналын спектрлік компоненттерге бөлуге мүмкіндік беретін жылдам Фурье түрлендіруі (FFT) арқылы жүзеге асырылады:

$$X(b,t) = \mathrm{F}\{x_{threshold}(t)\} \quad (4)$$

мұндағы: F – Жылдам Фурье түрлендіру операциясы (FFT), $x(b,t)$ – Барк шкаласы бойынша 24 жолаққа бөлінген сигнал спектрі [17].

3. RNN көмегімен шуды талдау және анықтау: сигнал спектрін өңдеу және шуды анықтау үшін қайталанатын нейрондық желі (RNN) қолданылады. Модель шудың динамикалық сипаттамаларын анықтау және әр жиілік диапазоны үшін сүзгі коэффициенттерін орнату үшін мәліметтерден үйренеді:

$$k_{noise}(b,t) = RNN_{noise}(X(b,t)) \quad (5)$$

мұндағы:

RNN_{noise} – шуды анықтауға арналған қайталанатын нейрондық желі моделі

$x(b,t)$ – шуды басуға арналған сүзу коэффициенттері.

Егер $k_{noise}(b,t) \approx 1$, сигнал өзгермейді және келесі нейрондық желі қолданылады. Егер шу анықталмаса, сөйлеу компоненттерін оқшаулау үшін екінші РНС қолданылады:

$$k_{voice}(b,t) = RNN_{voice}(X(b,t)). \quad (6)$$

Қорытынды сүзу коэффициенті келесідей анықталады:

$$x(b,t) = \min(k_{noise}(b,t), k_{voice}(b,t)) \quad (7)$$

Бұл сигнал шу ретінде қате танылмаған болса, ең қатаң сүзгінің қолданылуын қамтамасыз етеді.

4. Сигналды сүзу: Келесі қадам шуды басу немесе сөйлеу сигналын сақтау үшін бұрын есептелген коэффициенттерді қолдана отырып сүзуді қолданады:

$$Y(b,t) = k(b,t) * x(b,t) \quad (8)$$

мұндағы:

$Y(b,t)$ – өңделген сигнал спектрі.

Бұл сөйлеуді сақтау және шуды жою үшін ең жақсы сүзгіні қолдануды қамтамасыз етеді.

5. Уақыт аймағына кері түрлендіру: Спектрді сүзгеннен кейін кері жылдам Фурье түрлендіруі (IFFT) арқылы жиілік аймағынан уақытша аймаққа кері түрлендіру орын алады:

$$y(b,t) = \mathrm{F}^{-1}\big(Y(b,t)\big) \quad (9)$$

мұндағы:

F^{-1} – кері Жылдам Фурье түрлендіру операциясы (IFFT)

$y(t)$ – соңғы тазартылған аудио сигнал.

Барлық кезеңдерді бір формулаға біріктірейік:

$$y(t) = \mathrm{F}^{-1}\{\min(RNN_{noise}(\mathrm{F}\{x_{threshold}(t)\}), RNN_{voice}(\mathrm{F}\{x_{threshold}(t)\})) * \mathrm{F}\{x_{threshold}(t)\}\} \quad (10)$$

мұндағы:

Ішкі бөлігі нейрондық желілер арқылы спектрді талдауға жауап береді, сыртқы Int операциясы сигналды бастапқы уақыт формасына қайтарады. Бұл әдістеме шуды тиімді

жоюды және сөйлеу сапасын жақсартуды қамтамасыз етеді, бұл сөйлеуді автоматты түрде тану жүйелерінде, әсіресе балалар сөйлеуі сияқты күрделі акустикалық ортада қолдану үшін маңызды.

Зерттеу нәтижелері

Бұл бөлімде зерттеу жағдайының сипаттамасы, экспериментті бастамас бұрын модель параметрлері, эксперименттік деректерді ұсыну, алынған нәтижелер және алынған деректерді салыстырмалы талдау берілген. Ұсынылған шуды болдырмаудың гибридті моделінің тиімділігін бағалау үшін қазақ тіліндегі балалар сөйлеуінің аудио корпусы құрылды. Деректерді жинау дауыстық хабарламаларды жазу және жүктеу үшін ыңғайлы интерфейсті қамтамасыз ететін арнайы әзірленген "Dataset Loader" Telegram-ботының көмегімен жүзеге асырылды. Аудио жазбалар сыныптар, үй жағдайлары және ойын алаңдары сияқты нақты акустикалық ортада жасалды, бұл көшедегі Шу мен қоршаған ортадағы әңгімелерден бастап механикалық дыбыстарға дейін (мысалы, тұрмыстық техниканың жұмысы) фондық шудың кең ауқымын қамтамасыз етті.

Нәтижесінде 2 жастан 8 жасқа дейінгі балалардың сөйлеу деректері бар 800-ге жуық аудиожазба жиналды. Корпустың жалпы көлемі шамамен 1000 мәтінді және шамамен 12 минуттық аудио материалды құрады. Деректер базасында 30-ға жуық баланың (17 қыз және 9 ұл) балалар аудиториясының тақырыбы мен қиындық деңгейіне сәйкес таңдалған 75 ерекше сөздер мен сөз тіркестері бар жазбалары бар. Әр жазбаның орташа ұзақтығы 3-4 секундты құрады, бұл 2 сағаттан астам аудио деректерді біріктірді. Модельді кейінгі талдау мен оқытудың жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін барлық жазбалар қолмен транскрипцияланды. Аудио жазбалар бастапқыда OGG форматында сақталады, ол деректер жүктелгеннен кейін WAV форматына түрлендіріледі, әрі қарай оқыту мен талдау үшін қолайлы. 2-кестеде жиналған аудиожазбалар туралы ақпарат, соның ішінде балалардың жасына, жынысына және әр жас тобына арналған жазбалар санына байланысты мәліметтер таратылады.

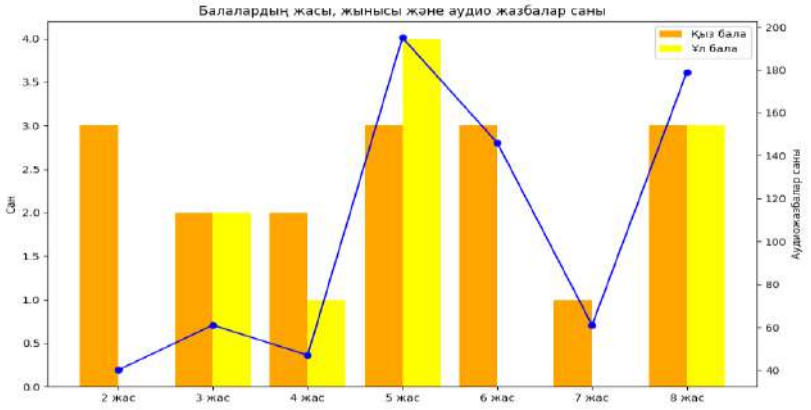
Кесте 2. Шудың жіктелуі және оларды басу әдістері

Баланың жасы	*Қыз бала*	*Ұл бала*	*Аудиожазбалар саны*
2 жас	*3*	*0*	*40*
3 жас	*2*	*2*	*61*
4 жас	*2*	*1*	*47*
5 жас	*3*	*4*	*195*
6 жас	*3*	*0*	*146*
7 жас	*1*	*0*	*61*
8 жас	*3*	*3*	*179*

Бұл деректер корпустың құрамын және оның білім беру және зерттеу мақсатында пайдалануға жарамдылығын түсінуге мүмкіндік береді. 4-суретте көрсетілген диаграмма қыздар мен ұлдар арасындағы жазбалардың санын көрсететін әр жас тобына арналған аудио жазбалардың санын көрсетеді. Деректердің бұл таралуы жасына және жынысына байланысты корпустың өкілдігін оңай бағалауға, сондай-ақ деректерді одан әрі толықтыру үшін мүмкін болатын олқылықтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, корпустың жас құрылымы мен жыныстық құрамы әр түрлі жастағы сөйлеу деректерін кең қамтуды қамтамасыз етеді, бұл оны балалардың сөйлеуін оқытуға және талдауға байланысты тапсырмалар үшін пайдалы етеді.

Гибридті шуды азайту алгоритмінің тиімділігін бағалау үшін жиналған аудио деректер екі кіші топқа бөлінді: шикі деректер және тазартылған деректер.



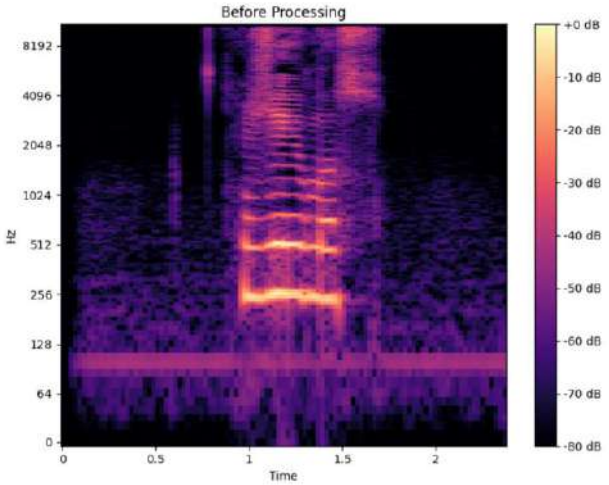
Сурет 4. Балалардың жасы, жынысы және аудио жазбалар саны

Бірінші топқа нақты акустикалық ортаны (көше шуы, әңгімелер, механикалық дыбыстар) көрсететін сақталған фондық шулары бар түпнұсқа жазбалар кірді. Екінші топқа спектрлік талдау әдістерін (Жылдам Фурье түрлендіруі (FFT), винерді сүзу) және қайталанатын нейрондық желілерге (RNN) және ұзақ мерзімді қысқа мерзімді жады желілеріне (LSTM) негізделген терең оқыту тәсілдерін біріктіретін гибридті шуды азайту алгоритмімен өңделген жазбалар кірді.

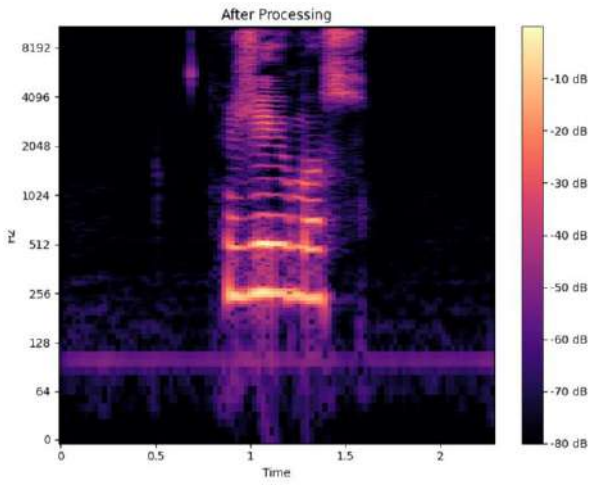
Шуды болдырмаудың сөйлеуді тану дәлдігіне әсерін анықтау үшін қайталанатын нейрондық желіге (LSTM) негізделген модель қолданылды. Модель архитектурасына мыналар кірді:

- Дыбыс сигналдарының спектрограммаларын өңдейтін кіріс қабаты;
- Сөйлеуді тану тапсырмалары үшін оңтайландырылған нейрондар саны бар екі жасырын LSTM қабаты;
- Сөйлеудің кейінгі транскрипциясы үшін болжамды таңбалар тізбегін құрайтын Шығыс қабаты.

Ұсынылған гибридті шуды азайту алгоритмінің тиімділігін көрнекі түрде көрсету үшін өңдеуден бұрын және кейін бірдей аудиожазбаның спектрограммалары жасалды. Жазба ретінде 5 жасар баланың 1 секундқа созылатын "жеміс" сөзі қолданылды. 5-суретте осы сөздің өңдеуге дейінгі спектрограммасы көрсетілген. 6-суретте осы "жеміс" сөзінің өңдеуге кейінгі спектрограммасы көрсетілген.



Сурет 5. Өңдеуден бұрын "жеміс" сөзінің спектрограммасы



Сурет 6. Өңдеуден кейін "жеміс" сөзінің спектрограммасы

Өңдеуге дейінгі және кейінгі спектрограммаларды салыстырмалы талдау гибридті алгоритмнің аудио сигналдардың сапасын жақсартудағы тиімділігін растайды. Фондық шуды жою және сөйлеу компоненттерін бөлектеу сөйлеуді тану дәлдігін жақсартуға және аудио материалдардың субъективті қабылдауын жақсартуға көмектеседі. Бұл нәтижелер сөйлеуді автоматты түрде тану мәселелерінде, әсіресе күрделі акустикалық ортада ұсынылған тәсілдің қолданылуын растайды [18].

3-кестеде екі деректер жиынтығы үшін сөйлеуді тану тиімділігін салыстырмалы талдау нәтижелері келтірілген: шикі аудио жазбалар және гибридті шуды болдырмау алгоритмін қолдана отырып алдын ала өңделген жазбалар.

Кесте 3. Шуды болдырмас бұрын және одан кейінгі сөйлеуді тану тиімділігінің салыстырмалы көрсеткіштері

Метрика	*Шикі деректер*	*Тазартылған деректер (гибридті алгоритм)*
Word Error Rate (WER)	*32.4%*	*18.7%*
F1-score	*0.72*	*0.88*
PESQ	*2.1*	*3.4*
SNRi (дБ)	*+5.2*	*+13.1*

Бағалау төрт негізгі метрика бойынша жүргізілді: Word Error Rate (WER) [19], F1-score [20], Speech Quality Perceptual Evaluation (pesq)[21] және signal-to-Noise Ratio Improvement (SNRi) [22]. Нәтижелерден көріп отырғанымыздай, деректерді алдын-ала тазарту модель көрсеткіштерін едәуір жақсартты. Сонымен, сөзді тану қателіктерінің жиілігі (WER) 32.4% - дан 18.7% - ға дейін төмендеді, бұл тану дәлдігінің жоғарылауын көрсетеді. Дәлдік пен толықтық арасындағы гармоникалық орташа мәнді көрсететін F1-score 0.72-ден 0.88-ге дейін өсті, бұл модельдің сөйлеу сегменттерін дұрыс бөлектеу қабілетінің жақсарғанын көрсетеді. Pesq сөйлеу сапасын объективті бағалау 2.1-ден 3.4-ке дейін өсті, бұл тазартылған жазбаларды қабылдаудың жақсарғанын көрсетеді. Ақырында, сигнал/шу қатынасының жақсаруы (SNRi) +5.2 дБ-ден +13.1 ДБ-ге дейін өсті, бұл сөйлеу сигналының сапасына нұқсан келтірместен фондық шуды басуда ұсынылған алгоритмнің тиімділігін растайды. Ұсынылған гибридті шуды азайту алгоритмі әр түрлі Шу жағдайында сөйлеу сапасын жақсартуға арналған. Алайда, алгоритмнің тиімділігі аудио сигналдағы шудың түрі мен сипаттамаларына байланысты екенін ескеру маңызды. Бұл тәсіл дәстүрлі спектрлік талдау әдістері мен терең оқытудың заманауи әдістерінің жиынтығын қолданады, бұл шудың белгілі бір түрлерімен күресуге мүмкіндік береді, бірақ шудың барлық түрлері үшін бірдей тиімділікке кепілдік бермейді.

1. Стационарлық шу (мысалы, ақ шу, желдеткіштің дыбысы). Шудың бұл түрлері болжамды құрылымға және салыстырмалы түрде тұрақты спектрлік сипаттамаларға ие. Оларды басу үшін спектрлік азайту әдістері мен винерді сүзу тиімді қолданылады, олар жоғары сигнал/шу қатынасында (SNR) шуды жақсы басқарады. Алгоритм сөйлеудің бұрмалануын азайту арқылы мұндай шуды тиімді түрде жоя алады.

2. *Тербелмелі шу* (мысалы, машиналардан шығатын айнымалы шу, қоршаған дыбыстың көлемінің өзгеруі). Бұл шулар динамикалық тәсіл мен бейімделу әдістерін қажет етеді. Мұндай жағдайларда SNR бағалау әдістері мен адаптивті сүзгілер қолданылады (мысалы, LMS алгоритмі). Жақсы нәтижеге қол жеткізу үшін сүзгілер шу деңгейінің өзгеруіне байланысты динамикалық түрде реттелуі керек. Алгоритм мұндай шулармен тиімді жұмыс істей алады, егер олардың сипаттамалары белгілі бір уақыт шегінде тұрақты болса.

3. *Үзіліссіз және импульсивті шу* (мысалы, шертулер, заттардың түсуі, механикалық дыбыстар). Қысқа мерзімді және өткір шуды өңдеу үшін конволюциялық нейрондық желілер (CNN) және ұзақ мерзімді қысқа мерзімді жады (LSTM) қайталанатын нейрондық желілер (RNN) сияқты нейрондық желі әдістерін қолдану арқылы күрделі өңдеу қолданылады. Бұл

әдістер кездейсоқ уақыт аралықтары болса да, мұндай шуды тануға және тиімді түрде басуға қабілетті. Алайда, мұндай әдістердің тиімділігі оқытудың дәлдігіне және нақты шуды тану үшін деректердің сапасына байланысты.

Осылайша, алгоритм шудың әртүрлі түрлерімен тиімді жұмыс істей алады, бірақ оның өнімділігі аудио сигналда болатын шудың нақты түріне байланысты болады. Нақты жағдайларда, сигналда шудың аралас түрлері болған кезде (мысалы, стационарлық және импульсивті комбинация), алгоритмнің әмбебаптығы мен бейімделуін арттыру үшін қосымша түзетулер қажет болуы мүмкін.

Дискуссия

Нәтижелер көрсеткендей, ұсынылған гибридті алгоритм сөйлеуді тану сапасын едәуір жақсартты. WER төмендеуі және F1-score өсуі нақты акустикалық ортада алгоритмнің тиімділігін дәлелдейді. PESQ және SNRi көрсеткіштері де субъективті және объективті сапаның артқанын көрсетеді. Бұл көрсеткіштер [2,4] еңбектеріндегі нәтижелермен сәйкес келеді, онда терең оқытуға негізделген тәсілдер стационарлық емес шуды тиімді басатыны дәлелденген. Сонымен қатар, 5–6 суреттегі спектрограмма анализі визуалды түрде де сөйлеу сигналдарының айқындылығын растайды. Алгоритмнің артықшылығы – нейрондық желілердің нақты уақыттағы бейімделгіштігі және әртүрлі шу түрлеріне икемделуі. Алайда, шектеуі – нейрондық модельдердің өнімділігі деректердің сапасына және оқыту көлеміне тәуелді. Шудың аралас түрлері кезінде қосымша бейімдеу қажет болуы мүмкін. Болашақта корпус көлемін арттыру, нақты уақыттағы өңдеу жылдамдығын жоғарылату және жүйені толыққанды ASR жүйесіне енгізу жоспарлануда.

Қорытынды

Бұл зерттеу дәстүрлі спектрлік талдау әдістерін (мысалы, жылдам Фурье түрлендіруі және Винер сүзгісі) қайталанатын нейрондық желілер (RNN) және ұзақ мерзімді қысқа мерзімді жады (LSTM) желілері сияқты заманауи терең оқыту тәсілдерімен біріктіретін гибридті шуды азайту алгоритмін әзірледі және сынады. Негізгі мақсат әр түрлі фондық шулармен жазылған балалардың сөйлеуін қоса, күрделі акустикалық ортада сөйлеуді автоматты түрде тану (ASR) дәлдігін арттыру болды. Эксперимент жүргізу үшін "Dataset Loader" Telegram-ботының көмегімен жиналған қазақ тіліндегі балалар сөйлеуінің аудио корпусы қалыптастырылды, бұл фондық шудың кең спектрін – көшеден механикалық Шуға дейін ескеруге мүмкіндік берді. Нәтижелер барлық негізгі көрсеткіштердің айтарлықтай жақсарғанын көрсетті: сөзді тану қателерінің (WER) жиілігі 32.4%-дан 18.7% - ға дейін төмендеді, F1-score 0.72-ден 0.88-ге дейін өсті, сөйлеу сапасын объективті бағалау (pesq) 2.1-ден 3.4-ке дейін өсті және сигнал/шу қатынасының жақсаруы (SNRi) +13.1 дБ-ге жетті. Өңдеуге дейінгі және кейінгі спектрограммаларды талдау алгоритмнің тиімділігін растады, бұл фондық шудың айқын төмендеуін және сөйлеудің оқылуын жақсартты. Бұл нәтижелер ұсынылған гибридті тәсілді нақты әлемдегі сөйлеуді тану сапасын жақсарту үшін, әсіресе балалардың сөйлеуі үшін сәтті қолдануға болатындығын көрсетеді, бұл білім беру және зерттеу мақсаттары үшін, сондай-ақ дауыстық интерфейстер мен есту аппараттарын дамыту үшін өте маңызды. Алдағы уақытта аудио корпусты кеңейту, нақты уақыттағы өңдеу жылдамдығын арттыру үшін нейрондық желілердің архитектурасын оңтайландыру және алгоритмді қазақ тіліндегі балаларға арналған ASR жүйелеріне интеграциялау сипаттағы төтенше оқиғаларды сегіз класс бойынша анықтап, хабар беру үшін қолданылады.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен (AP 19577833 гранттық жобасы) орындалды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Deller, J. R., Hansen, J. H. L., & Proakis, J. G. (2000). Discrete-Time Processing of Speech Signals. Wiley-IEEE Press.

[2] Loizou, P. C. (2013). Speech Enhancement: Theory and Practice. CRC Press.

[3] Hu, Y., & Loizou, P. C. (2007). Subjective comparison and evaluation of speech enhancement algorithms. Speech Communication, 49, 588–601.

[4] Wang, D., & Chen, J. (2018). Supervised Speech Separation Based on Deep Learning: An Overview. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 26, 1702–1726.

[5] Ephraim, Y., & Malah, D. (1985). Speech enhancement using a minimum mean-square error log-spectral amplitude estimator. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 33(2), 443–445.

[6] Kwan, C., Chu, S., Yin, J., Liu, X., Kruger, M., & Sityar, I. (2008). Enhanced speech in noisy multiple speaker environment. In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Hong Kong, 1–8 June 2008, 1640–1643.

[7] Bouchard, M., et al. (2015). Speech Enhancement using Neural Networks. In Proceedings of ICASSP. IEEE.

[8] Audacity Team. (n.d.). Missing Features - Audacity Wiki. Retrieved from https://support.audacityteam.org/troubleshooting/missing-features#audacity-wiki

[9] Lim, Y., et al. (2020). Speech Enhancement Using LSTM-Based Neural Networks for Real-Time Applications. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2010.15508

[10] Rao, Y., et al. (2020). Real-Time Noise Suppression Using Deep Convolutional Networks. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2008.00264v4

[11] Zhang, Y., et al. (2020). Deep Noise Suppression: A Study of Denoising Techniques for Speech Enhancement. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2005.13981

[12] Prodeus, A., & Didkovskyi, V. S. (2015). Оценивание априорного отношения сигнал-шум в алгоритмах шумоподавления. Системи обробки інформації: зб. наук. пр. / Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба, 29–34.

[13] Zhang, Y., Hu, X., Zhao, H., Liu, H., & Liu, X. (2022). A Comprehensive Review of Speech Enhancement Using Deep Learning. arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2208.09201

[14] Noise reduction. (n.d.). Retrieved from https://wiki.audacityteam.org/wiki/How_Audacity_Noise_Reduction_Works#algorithm

[15] Reddy, C. K. A., Gopal, V., Cutler, R., Beyrami, E., Cheng, R., Dubey, H., Matusevych, S., Aichner, R., Aazami, A., Braun, S., Rana, P., Srinivasan, S., & Gehrke, J. (2020). The INTERSPEECH 2020 Deep Noise Suppression Challenge: Datasets, Subjective Testing Framework, and Challenge Results. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2005.13981.pdf

[16] Hu, Y., Liu, Y., Lv, S., Xing, M., Zhang, S., Fu, Y., Wu, J., Zhang, B., & Xie, L. (2020). DCCRN: Deep Complex Convolution Recurrent Network for Phase-Aware Speech Enhancement. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2008.00264v4.pdf

[17] Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход: пер. с англ. / Э. С. Айфичер, Б.У Джервис. – изд. 2–е. – М.:Изд. дом Вильямс, 2004. – 992 с.

[18] Morris, A. C., Maier, V., & Green, P. (2004). From WER and RIL to MER and WIL: Improved evaluation measures for connected speech recognition. In Proceedings of the 8th International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP), 2761–2764.

[19] van Rijsbergen, C. J. (1979). Information Retrieval (2nd ed.). London: Butterworths.

[20] Топников, А. И., Нестеров, М. С., Новоселов, С. А., Приоров, А. Л. (2015). Шулы сөйлеу сигналдарының анықтығын эталондық емес бағалау. Сандық сигналдарды өңдеу, 1, 39–44.

[21] ITU-T Recommendation P.862 (2001). Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. Retrieved from https://www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200102-I

[22] Берко, Г. А., Галич, С. А., Расюк, А. О., Семенов, Е. С. (2015). IP желілері арқылы сөйлеу сапасын бағалау үшін PESQ алгоритмін қолдану. Огарев-онлайн, 11(52), 3.

References

[1] Deller, J. R., Hansen, J. H. L., & Proakis, J. G. (2000). Discrete-Time Processing of Speech Signals. Wiley-IEEE Press.

[2] Loizou, P. C. (2013). Speech Enhancement: Theory and Practice. CRC Press.

[3] Hu, Y., & Loizou, P. C. (2007). Subjective comparison and evaluation of speech enhancement algorithms. Speech Communication, 49, 588–601.

[4] Wang, D., & Chen, J. (2018). Supervised Speech Separation Based on Deep Learning: An Overview. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 26, 1702–1726.

[5] Ephraim, Y., & Malah, D. (1985). Speech enhancement using a minimum mean-square error log-spectral amplitude estimator. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 33(2), 443–445.

[6] Kwan, C., Chu, S., Yin, J., Liu, X., Kruger, M., & Sityar, I. (2008). Enhanced speech in noisy multiple speaker environment. In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Hong Kong, 1–8 June 2008, 1640–1643.

[7] Bouchard, M., et al. (2015). Speech Enhancement using Neural Networks. In Proceedings of ICASSP. IEEE.

[8] Audacity Team. (n.d.). Missing Features Audacity Wiki. Retrieved from https://support.audacityteam.org /troubleshooting/missing-features#audacity-wiki

[9] Lim, Y., et al. (2020). Speech Enhancement Using LSTM-Based Neural Networks for Real-Time Applications. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2010.15508

[10] Rao, Y., et al. (2020). Real-Time Noise Suppression Using Deep Convolutional Networks. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2008.00264v4

[11] Zhang, Y., et al. (2020). Deep Noise Suppression: A Study of Denoising Techniques for Speech Enhancement. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2005.13981

[12] Prodeus, A., & Didkovskyi, V. S. (2015). Estimating the a priori signal-to-noise ratio in noise suppression algorithms. Information Processing Systems: Scientific Journal of the Ivan Kozhedub Air Force University, 29–34.

[13] Zhang, Y., Hu, X., Zhao, H., Liu, H., & Liu, X. (2022). A Comprehensive Review of Speech Enhancement Using Deep Learning. arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2208.09201

[14] Noise reduction. (n.d.). Retrieved from https://wiki.audacityteam.org/wiki/How_Audacity_Noise_Reduction_Works#algorithm

[15] Reddy, C. K. A., Gopal, V., Cutler, R., Beyrami, E., Cheng, R., Dubey, H., Matusevych, S., Aichner, R., Aazami, A., Braun, S., Rana, P., Srinivasan, S., & Gehrke, J. (2020). The INTERSPEECH 2020 Deep Noise Suppression Challenge: Datasets, Subjective Testing Framework, and Challenge Results. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2005.13981.pdf

[16] Hu, Y., Liu, Y., Lv, S., Xing, M., Zhang, S., Fu, Y., Wu, J., Zhang, B., & Xie, L. (2020). DCCRN: Deep Complex Convolution Recurrent Network for Phase-Aware Speech Enhancement. arXiv preprint. https://arxiv.org/pdf/2008.00264v4.pdf

[17] Ajficher, Je. C. (2004) Cifrovaja obrabotka signalov: prakticheskij podhod [Digital Signal Processing: A Practical Approach]: per. s angl. / Je. C. Ajficher, B.U Dzhervis. izd. 2–e. M.: Izd. dom Vil'jams, 992.

Ifeachor, E., & Jervis, B. (2017). Digital Signal Processing: A Practical Approach (Translated Edition). Moscow: Williams Publishing. 992 pages.

[18] Morris, A. C., Maier, V., & Green, P. (2004). From WER and RIL to MER and WIL: Improved evaluation measures for connected speech recognition. In Proceedings of the 8th International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP), 2761–2764.

[19] van Rijsbergen, C. J. (1979). Information Retrieval (2nd ed.). London: Butterworths.

[20] Topnikov, A. I., Nesterov, M. S., Novoselov, S. A., & Priorov, A. L. (2015). Non-reference evaluation of intelligibility in noisy speech signals. Digital Signal Processing, 1, 39–44.

[21] ITU-T Recommendation P.862 (2001). Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. Retrieved from https://www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200102-I

[22] Berko, G. A., Galich, S. A., Rasyuk, A. O., & Semenov, E. S. (2015). Application of the PESQ algorithm to assess speech quality over IP networks. Ogarev Online, 11(52), 3.

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION

ҒТАХР 14.35.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.022

А.К. Алипова[1*], А.Р. Турганбаева[1]

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[*]*e-mail: aikosha_alipova@mail.ru*

ИНФОРМАТИКАНЫ ЦИФРЛЫҚ ОЙЫНДАРДЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ОҚЫТУДЫҢ ДАМУ КЕЗЕҢДЕРІ

Аңдатпа

Мақалда соңғы онжылдықтарда білім беру үдерісінде цифрлық ойындарды пайдалану қарқынына талдау жасалды. Білім беруде цифрлық ойындарды пайдалану 1960 жылдары жасалған алғашқы білім беру ойындарынан бастап виртуалды және толықтырылғын шындық технологияларын қолданатын заманауи интерактивті платформаларға дейінгі бірнеше негізгі кезеңдерді қамтиды. Цифрлық ойындарды оқытуда қолдану әртүрлі форматтар мен тәсілдер арқылы сипатталады. Ойындар дәстүрлі пәндерді соның ішінде информатиканы оқытумен қатар, сыни ойлауды, топтық жұмысты және XXI ғасырдың басқа да негізгі дағдыларын дамыту мақстында қолданылады. Оқушылардың үлгерімін бақылау және білім беру мазмұнын олардың жеке қажеттіліктеріне бейімдеу үшін деректер талдауын пайдалану да маңызды аспект болып табылады. Осылайша, мектеп информатикасын оқытуда цифрлық ойын ресурстарын пайдалану тәжірибесі білім беруді трансформациялаудың маңызды әлеуетін көрсетеді, бұл білімді қол жетімді, қызықты және тиімді болуына ықпал етеді. Болашақта технологиялар мен оқыту әдістерінің қарқынды дамуы күтілуде, бұл өз кезегінде ойындарды білім беру процесіне одан әрі аіріктіруге мүмкіндік береді. Мақаланың басты мақсаты - жалпы білім беруде, оның ішінде мектеп информатика пәнін оқытуда цифрлық ойындарды пайдаланудың даму кезеңдерін зерттеуге арналған. Сонымен қатар, шетелдік және отандық зерттеушілердің әр түрлі салалаларда білім беруде ойынды пайдалану тәжірибесіне байланысты жасаған зерттеулеріне талдау жүргізіп, ойын платформаларын пайдаланудың артықшылықтарын зерделеу негізінде оны оқу үдерісінде тиімді қолдану әдістемесін жетілдіру болып табылады.

Түйін сөздер: информатика, білім беру, цифрлық ойын, оқыту, геймификация.

А.К. Алипова[1], А.Р. Турганбаева[1]
[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ИГР

Аннотация

В статье анализируются темпы использования цифровых игр в образовательном процессе за последние десятилетия. Использование цифровых игр в образовании охватывает несколько ключевых этапов: от первых образовательных игр, созданных в 1960-х годах, до современных интерактивных платформ, использующих технологии виртуальной и дополненной реальности. Использование цифровых игр в образовании характеризуется многообразием форматов и подходов. Игры используются не только для обучения традиционным предметам, включая информатику, но и для развития критического мышления, умения работать в команде и других ключевых навыков XXI века. Важным аспектом также является использование анализа данных для мониторинга успеваемости

учащихся и адаптации образовательного контента к их индивидуальным потребностям. Таким образом, опыт использования цифровых игровых ресурсов в школьном обучении информатике демонстрирует значительный потенциал для трансформации образования, способствуя тому, чтобы сделать обучение доступным, интересным и эффективным. В будущем ожидается бурное развитие технологий и методов обучения, что, в свою очередь, позволит еще больше интегрировать игры в образовательный процесс. Основная цель статьи – исследовать этапы развития использования цифровых игр в общем образовании, в том числе при обучении информатике в школе. Кроме того, предстоит проанализировать исследования, проводимые зарубежными и отечественными исследователями по опыту использования игр в образовании по различным направлениям и усовершенствовать методику их эффективного использования в образовательном процессе на основе изучения преимуществ использования игровых платформ.

Ключевые слова: информатика, образование, цифровые игры, преподавание, геймификация.

A.K. Alipova[1], A.R. Turganbayeva[1]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

STAGES OF DEVELOPMENT OF COMPUTER SCIENCE TEACHING USING DIGITAL GAMES

Abstract

The article analyzes the rate of use of digital games in the educational process over the past decades. The use of digital games in education covers several key stages: from the first educational games created in the 1960s to modern interactive platforms using virtual and augmented reality technologies. The use of digital games in education is characterized by a variety of formats and approaches. Games are used not only to teach traditional subjects, including computer science, but also to develop critical thinking, teamwork and other key skills of the 21st century. An important aspect is also the use of data analysis to monitor student performance and adapt educational content to their individual needs. Thus, the experience of using digital gaming resources in school computer science teaching demonstrates significant potential for transforming education, helping to make learning accessible, interesting and effective. In the future, rapid development of technologies and teaching methods is expected, which, in turn, will further integrate games into the educational process. The main goal of the article is to study the stages of development of the use of digital games in general education, including in teaching computer science at school. In addition, it is necessary to analyze the research conducted by foreign and domestic researchers on the experience of using games in education in various areas and improve the methodology for their effective use in the educational process based on the study of the advantages of using gaming platforms.

Keywords: computer science, education, digital games, teaching, gamification.

Кіріспе

Соңғы жылдықтарда цифрлық ойындар білім беру процесінің ажырамас бөлігіне айналды. Оларды оқытуда қолдануы мұғалімдер мен оқушылар үшін жаңа көкжиектер ашады, бұл оқу үдерісін интерактивті және қызықты етуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеу олардың даму тарихын, қазіргі жағдайын және болашақ перспективаларын қарастырады. Мақсат — білім беру үдерісіндегі ойын платформаларының рөлін анықтау, олардың педагогикалық құндылығын бағалау. Болжам — ойын элементтері оқушылардың оқу тиімділігін арттырады және ынтасын күшейтеді. Осы мақалада білім берудегі цифрлық ойындардың қазіргі жағдайы мен даму перспективаларын қарастырамыз.

Тарихи контекст. Ойындарды білім беру үдерісіне ендірудің алғашқы әрекеттері 1980 жылдары оқуға арналған қарапайым компьютерлік ойындардың пайда болуымен басталды. Бұл ойындар функционалдығы шектеулі болғанымен, білім берудің жаңа бағытын бастады.

Технологияларды дамыту. Технологияның, әсіресе интернет пен мобильді құрылғылардың дамуымен цифрлық ойындар қарқынды дами бастады. Онлайн оқыту платформалары мен мобильді қосымшалар білім беру ойындарын кең аудиторияға қол жетімді ете түсті.

Психология және педагогика. Зерттеулер көрсеткендей, ойынға негізделген оқыту әдістері материалды жақсы игеруге ықпал етеді. Ойындар сыни ойлауды, шығармашылықты және

командалық дағдыларды дамытуға көмектеседі. Мұғалімдер өз сабақтарында ойын элементтерін белсенді қолдана бастады, бұл оқытудың жаңа әдістерін жасауға әкелді.

Коммерцияландыру және нарық. Білім беру ойындарына деген қызығушылықтың артуымен нарықта мамандандырылған өнімдер шығаратын компаниялар пайда бола бастады. 2020 жылы білім беру ойындары нарығының көлемі айтарлықтай мөлшерге жетті және оның одан әрі өсуі болжануда. Kahoot сияқты компаниялар!, Quizlet және басқалары оқуды қызықты ететін платформаларды ұсынады.

Сәтті жобалардың мысалдары. Білім беруде цифрлық ойындарды қолданудың көптеген сәтті мысалдары бар. Мысалы, Minecraft: Education Edition ойыны оқушыларға интерактивті ортада математиканы, тарихты және тіпті бағдарламалауды үйренуге мүмкіндік береді. Duolingo сияқты басқа жобалар тілдерді үйрену үшін ойын механикасын қолданады.

Нарықтың болашағы. Цифрлық ойындарды білім беруде қолдану болашағы бар. Виртуалды және кеңейтілген шындық технологияларының, сондай-ақ жасанды интеллекттің дамуымен білім беру ойындары барған сайын интерактивті және жекелендірілген болады. Олар дәстүрлі білім беру жүйелеріне біріктіріліп, оқытуды қол жетімді және тиімді етеді деп күтілуде.

Ойын тәжірбиесі – бұл жай ғана ойын емес, кеңістікте ойлау алу техникасы және элементтерді пайдалануа білу, бұл ойындар идеялары мен стратегияларын тактикалық қолдану, ойын мен бос уақытқа, басқа әлеуметтік кеңістіктерге бағытталған [1].

Оқыту үдерісіндегі ойын термині алғаш рет 2008 жылы пайда болды computing-те онлайн режимінде, дегенмен бейне ойын әзірлеушісі Пеллинг [2] ойлап тапты деп мәлімдейді. Бұл термин 2002 жылы өзінің тұрмыстық электроника стартапының бөлігі ретінде қолданысқа енді. Кейін бұл термин соңғы онжылдықта кеңінен қабылданды [3]. Бірқатар бейне ойын идеялары, ұғымдар мен элементтер әртүрлі салаларда дамыды. Бизнес саласында көптеген ірі кәсіпорындар геймификацияны енгізді, бірақ толық зерттелмеген шағын кәсіпорындар іске асырғандықтан даму қарқыны баяу жүрді.

Бүгінгі таңда цифрлық трансформация өсіп, өнімділікті арттырып отыр және көптеген кәсіпорындар интерактивтілік арқылы танымалдылыққа ие болып отыр. [4]. Соңғы бірнеше жылда геймификация денсаулық сақтау [5], киберқауіпсіздік және білім сияқты әртүрлі салалардағы ойынды үдерістің бір әдісі ретінде іске асырып отыр. [6-7]. Кәсіпорынның геймификациясы, ол "іске асыру" ретінде ойын тұжырымдамалары анықталады және ойын механикасы бизнес-процесстер, көбірек ұтымды жұмыс жасау үшін қызметкерлер үшін қызықты және тартымды [8] саланың бір бөлшегі, практиктер үшін де, ғылыми топтар үшін де екеуіне де қызығушылық тудыратын әрекетке айналды. Бұл ойын арқылы жұмыс істеумен қатар,салаларды дамыту үшін қызықты жұмыс процесін қалыптастырады.

Зерттеу әдіснамасы

Мақалада шетелдік әдебиеттер мен зерттеулерді саралап, цифрлық ойындардың даму кезеңдері анықталды. Деректер негізінен 1960 жылдан кейінгі тарихи кезеңдер бойынша топтастырылып, заманауи платформалар (Duolingo, Kahoot, Minecraft: Education Edition) мысал ретінде қарастырылған. Геймификация тәжірибесі мен технологиялық интеграция талданған.

Цифрлық ойындар күйзелісті жеңілдетуі мүмкін, бұл күйзеліс пен жағымсыз эмоцияларды басқару үшін күресудің пайдалы механизмі екендігі анықталды. Ойындар оған қатысушыларды күйзелістен алшақтатуға, бақылау сезімін қамтамасыз етуге және тынығуға ықпал етуге көмектеседі. Әсіресе күйзеліс деңгейін төмендетуге жақсы көмектеседі. Цифрлық ойындардың білім беруде көптеген артықшылықтары бар, математика, жаратылыстану, тіл және тарих (Сквайр) пәндерінде білімді жетілдіру бағытталған ойындар бар. Цифрлық ойындарды мәселелерді шешу, сыни тұрғыдан ойлау сияқты дағдыларды қалыптастыру мақсатында шығармашылық және топтық жұмыстарды ұйымдастыруды пайдалануға болады [9].

Соңғы жылдары геймификация көптеген білім беру мәселелерінің ерекше шешімі болып табылады. Көптеген зерттеушілер өз еңбектерінде іздену, талдау және зерттеулер арқылы оның құпиялары мен егжей-тегжейлерін ашуға тырысады. Қандай да бір түрде, бұл термин мен қолдану аясы ойыншыларды қызықтыру арқылы және олардың ағындық күйлерін тудыру күшін мойындайды [10].

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу нәтижелері цифрлық ойындардың оқушылардың сыни ойлауын, шығармашылық қабілетін, топта жұмыс істеу дағдыларын дамытатынын дәлелдейді. Сонымен қатар, олар оқытушыларға оқыту үдерісін тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында цифрлық ойындардың дамуы төрт негізгі кезеңге бөлінді:

-1960–1990 жж. – алғашқы оқу ойындарының пайда болуы (модельдеу, картаға негізделген ойындар);

-1990–2000 жж. – интернет пен желілік технологиялар кезеңі (интерактивті оқыту платформалары);

-2000–2020 жж. – геймификация және мобильді оқыту (Duolingo, Kahoot!);

-2020 жылдан кейінгі кезең – VR, AR және жасанды интеллект интеграциясы арқылы дараланған оқыту.

Зерттеу нәтижелері бойынша, оқыту ойындарының қысқаша даму эволюциясы келесі суретте келтірілген (сурет 1).

Сурет 1. Ойын тәжірбиесінің даму эволюциясы

Бірінші кезең, ерте эксперименттер (1960-1990 жж.) - алғашқы ойындар мен модельдеу: осы кезеңде білім беруде ойын элементтерін қолдана отырып эксперименттер басталды, мысалы, оқуды модельдеу. Мысалдарға экономика мен әлеуметтік ғылымдарды оқыту үшін пайдаланылған картаға негізделген ойындар мен тақталар жатады.

Екінші кезең, цифрлық технологияның өрлеуі (1990 ж.) - желілік ойындар мен платформалар: Интернеттің пайда болуымен білім беру платформалары ойын элементтерін қоса бастады. "Өркениет" сияқты ойындар тек көңіл көтеруді тоқтатты және одан әрі дамуға негіз болатын оқу мақсатында қолданыла бастады.

Үшінші кезең, геймификацияны енгізу (2000 ж.) - мобильді қосымшалар және онлайн курстар: ойын элементтері бар мобильді қосымшаларды пайдалану танымал болды. Duolingo немесе Kahoot сияқты бағдарламалар! ұпайларды, жетістіктерді және лигалар енгізу арқылы, оқу үдерісі тартымды етілді. Әлеуметтік өзара әрекеттесу: жетістіктермен бөлісу үшін

көшбасшылар тақталары мен әлеуметтік медианың пайда болуы оқушылар арасындағы өзара әрекеттесуді күшейтеді.

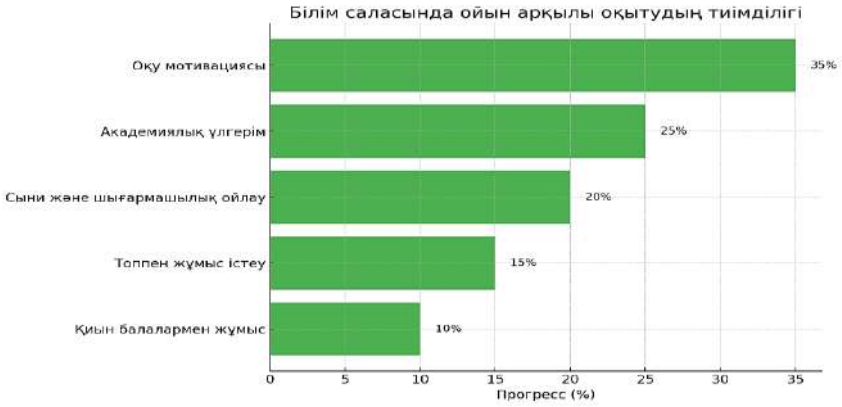
Төртінші кезең, технологияны және деректерді талдауды дамыту (2020 және одан кейінгі) - даралау: жекелендірілген білім беру жолдарын жасау үшін алгоритмдер мен жасанды интеллектті пайдалану. Оқушылардың ерекшеліктері мен қажеттіліктерін ескере отырып, геймификацияға бейімделе бастайды. VR және AR интеграциясы: иммерсивті білім беру тәжірибесін жасау үшін виртуалды және кеңейтілген шындықты пайдалану.

Цифрлық ойындардың дамуы төрт негізгі кезең арқылы сипатталады: ерте эксперименттер, технологиялық серпіліс, геймификация, жасанды интеллект пен VR/AR интеграциясы. Цифрлық ойындар мектеп информатикасын оқыту мотивациясын арттырып, оқу үдерісін жекелендіріп, тиімділігін жоғарылатады - деген болжам расталды. Себебі, ойындар сонымен қатар күйзелісті азайтуға және дағдыларды дамытуға пайдалы екені анықталды. Цифрлық ойындар оқу үдерісінің интерактивтілігі мен тартымдылығын арттырып, білім алушылардың белсенді қатысуын ынталандырады. Педагогикалық тұрғыдан алғанда, ойын элементтері оқушылардың мотивациясын күшейтіп, білімді тиімді меңгеруге ықпал етеді. Сонымен қатар, сандық ойындар күйзелісті төмендетуге көмектесіп, эмоционалдық тұрақтылықты сақтауға септігін тигізеді. Алайда, бұл саланың кемшіліктері де бар, олар: ойынға тәуелділіктің артып кетуі, агрессия, мінез-құлықтың өзгеруі, ойын мазмұнының берілетін білімге сәйкессіздігі, оқушы назарының басқа контенке жиі ауысып кеткі және т.с.с..

Білім берудегі ойын практикасының даму кезеңдерін білу неге маңызды десек: бұл тарихи контекст - ойын тәжірибесінің қалай дамығанын түсіну бұрын қандай әдістер мен тәсілдер тиімді болғанын және олардың қазіргі білім беру тәжірибесіне қалай әсер еткенін түсінуге көмектеседі. Цифрлық ойындардың болашағы технологияның дамуы және өсуі арқылы перспективалы және осы саланың танымалдығына байланысты өзгеріп отырады. Ойын әзірлеушілері мен жалпы индустрия үшін дамуды жалғастыру маңызды, себебі жаңа технологияларға бейімделу, инклюзивтілік пен репрезентативтілікті ілгерілету цифрлық ойындардың сәйкесінше дамып, толықтырылып отыруына әкеледі.

Цифрлық ойындар үлкен индустрияға және ойын-сауықтың танымал түріне айналды деп айтуға болады, бірақ олар сонымен қатар шешілуі керек бірқатар мәселелерде баршылық. Мәселен, тәуелділік сияқты мәселелер, агрессия, кибербуллинг, орынсыз мазмұн, құмар ойындар, деректерді қорғау, өкілдіктің болмауы және экономикалық ауыртпалық ойыншыларға, олардың отбасыларына және жалпы қоғамға кері әсерін тигізуі. Сондықтан, ойындарды қолдану жауапкершілігін насихаттау, қауіпсіз және сәйкес мазмұнды қамтамасыз ету, инклюзивтілік пен әртүрлілік мәдениетін дамыту және деректерді қорғауды қамтамасыз ету арқылы бұл мәселелерді шешуге болады. Ойыншыларға, ата-аналарға, тәрбиешілерге, ойын әзірлеушілерге, саясаткерлерге және саланың мүдделі тараптары үшін осы мәселелерді шешу үшін бірлесіп жұмыс істеу және цифрлық жүйеге кепілдік беру маңызды. Сонымен бірге, технология дамып келе жатқандықтан, өнеркәсіптің өзгерістерге ілесуі, ойыншыларға ең жақсы ойын тәжірибесін қамтамасыз етуі қажет. Мектеп информатикасын оқытуда ойын технологиясы мен педагогикалық әдістердің даму кезеңдері білім берудің болашағына зор ықпал етеді. Ойын элементтері оқытуды қызықты әрі нәтижелі етуге көмектеседі, әсіресе бастауыш және орта білімде. Бұл әдіс басқа зерттеулермен сәйкес келеді және сандық трансформация жағдайында маңызды. Болашақта информатика пәні бойынша инклюзивтілік пен жауапты ойын тәжірибесін қамтамасыз ету басты міндет болмақ.

Білім беру саласында мектеп информатика пәнін алып қарастырсақ, ойын арқылы оқытудың нәтижесінде келесі нақты прогрестер мен оң өзгерістерді байқауға болады. 2-ші суретте көрсетілгендей білім саласында ойын арқылы информатиканы оқытудың негізгі бағыттар бойынша ықпалын көрсететін диаграммадан ойынның тиімді екенін анық байқауға болады.



Сурет 2. Білім саласында мектеп информатика пәнін ойын арқылы оқытудың тиімділігі

Дисскусия

Мақалада білім берудегі, соның ішінде мектеп информатика пәні бойынша цифрлық ойындардың даму кезеңдері қарастырылған. Зерттеу білім беру процесін жақсарту мақсатында цифрлық ойындарды қолдану тенденцияларын, артықшылықтары мен қиындықтарын талдайды. Авторлар ойындардың оқушылардың мотивациясы мен жетістігіне ықпалын, сондай-ақ жеке бейімделуді қамтамасыз етудегі рөлін атап өтеді. Болашақта VR, AR және жасанды интеллект сияқты технологиялардың интеграциясы оқыту тиімділігін арттыра түседі.

Зерттеу жұмысында, білім берудегі ойын технологиямен және оқыту әдістеріндегі өзгерістермен бірге дамуын жалғастыруда. Бұл саланың болашағы информатика пәні бойынша оқу үдерісінің тиімділігін арттыра отырып, одан әрі оқытудағы интербелсенділікті және жекелендіруді жетілдіру болып табылады.

Ойын тәжірбиесі мектеп информатика пәнін оқуды қызықты әрі тиімді ету үшін ойын элементтері мен тетіктерді ойын емес контексте қолдану. Бастауыш сыныптарда, әсіресе информатика саласында бұл бірнеше қағидалар арқылы жүзеге асырылуы мүмкін:

Ойын тәжірбиесінің мысалдары:

А) Ұпайлар мен жетістіктер: оқушылар тапсырмаларды орындау, пікірталастарға қатысу және *белсенділік* үшін ұпай жинайды, бұл бәсекелестік элементін жасайды.

Ә) Сюжеттік желілер: оқу курстары оқушылар материалдың өтуіне қарай дамытатын сюжетті қамтуы мүмкін.

Б) Тәлімгерлер мен кейіпкерлер: оқушының нұсқаулығы баяндау элементін қосатын кейіпкерлерді құру.

С) Тапсырмалар мен миссиялар: тапсырмалар квест форматында ұсынылуы мүмкін, бұл оқуды қызықты етеді.

Ойын – ойлау, стратегиялар, ережелер, мақсаттар, өзара әрекеттесу, үдеріс барысында кездесетін жағдайларды қабылдау және талдау тәсілі. Бұл тәсіл көбінесе мәселелерді шешу, жаңа идеяларды әзірлеу және тиімді командалар құру үшін қолданылады. Ойын ойлауының негізгі элементтеріне мыналар жатады: стратегия, адаптация, ойын механикасы, кері байланыс.

Қорытынды

Қорыта айтқанда, мектеп информатика пәнін оқытудағы цифрлық ойындардың даму кезеңдері технологияның оқыту тәсілін қалай өзгерте алатынын көрсетеді. Жыл сайын көптеген мұғалімдер мен оқушылар ойын әдістерінің артықшылықтарын түсінеді, бұл осы

бағыттың одан әрі дамуына ықпал етеді. Білім беруді болашақ ұрпақ үшін қызықты әрі тиімді ету үшін зерттеуді жалғастыру және инновацияларды енгізу маңызды.

Цифрлық ойындар барлық жастағы адамдар үшін негізгі оқытуға бағытталған қарқынды дамып келе жатқан саланың бірі. Цифрлық ойындар көптеген артықшылықтарды ұсынады, мысалы, басқа ойыншылармен байланысу және ойын тәжірибесін жақсарту мүмкіндігі. Мұнда кейбір кемшіліктерді де атап кетуге болады, мәселен, ықтимал тәуелділік, психикалық ауытқулар және денсаулық мәселелері. Жалпы білім беруде пайдаланылатын цифрлық ойындарды қолдануда, оларды дамытуда ойыншылардың, ата-аналардың және саясаткерлердің артықшылықтар мен кемшіліктері туралы хабардар болуы маңызды. Яғни, ойын-сауықтың осы түрімен байланысты тәуекелдер басты назарда болуы тиіс. Оқушылардың ойын тәжірбиелері арқылы сауаттылықтарын арттырып, заман талабына сай бәсекеге қабілетті, өскелең ұрпақ етіп тәрбиелеу бүгінгі күнгі үлкен міндет болып тұр.

Цифрлық ойындар құрылғаннан бері ұзақ жолдан өтті және дамуды, кеңейтуді жалғастыруда. Цифрлық ойындардың болашағы виртуалды технологиялардың, жасанды интеллекттердің жетістіктерімен де перспективалы. Сондай-ақ неғұрлым қызықты ойын тәжірибесін ұсынуға виртуалдық және толықтырылған шындық технологиялары да кеңінен қолданылуда. Олар оқыту үдерісін бұрынғыдан да қызықты, тиімді және қолжетімді етеді. Бұл бағыттағы зерттеулер мен технологиялық инновациялар жалғасуы тиіс. Қоғам мен білім саласындағы барлық мүдделі тараптар ойынның пайдалы жақтарын қолдап, қауіптерін азайтуға күш салуы қажет.

References

[1] Werbach, K. Defining Gamification: A Process Approach. In Proceedings of the 9th International Conference on Persuasive Technology, Padua, Italy, 21–23 May 2019; pp. 266–272.

[2] Pelling, N. The (Short) Prehistory of Gamification. Available online: https://nanodome.wordpress.com/2011/08/09/the-shortprehistory-of-gamification (accessed on 12 February 2019).

[3] Zichermann, G.; Cunningham, C. Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps. Sebastopol, CA, USA, 2020; ISBN 1449397670.

[4] Westerman, G.; Bonnet, D.; McAfee, A. The Nine Elements of Digital Transformation: In-Depth Research with Executives at a Wide Range of Companies Shows How Managers Can Use Technology to Redefine Their Businesses. MIT Sloan Manag. Rev. 2014, 55, 1–6.

[5] Johnson, D.; Deterding, S.; Kuhn, K.-A.; Staneva, A.; Stoyanov, S.; Hides, L. Gamification for Health and Wellbeing: A Systematic Review of the Literature. Internet Interv. 2019, 6, 89–106.

[6] Scholefield, S.; Shepherd, L.A. Gamification Techniques for Raising Cyber Security Awareness. In Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction, Orlando, FL, USA, 26–31 July 2019; pp. 191–203.

[7] van Roy, R.; Zaman, B. Need-Supporting Gamification in Education: An Assessment of Motivational Effects over Time. 2018, 127, 283–297.

[8] Ruhi, U. Level Up Your Strategy: Towards a Descriptive Framework for Meaningful Enterprise Gamification. Technol. 2015, 5, 5–16.

[9] Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. New York: Palgrave Macmillan.

[10] Haoqun Yan , Hongfeng Zhang, Shaodan Su, Johnny F. I. Lam, Xiaoyu Wei Exploring the Online Gamified Learning Intentions of College Students: A Technology-Learning Behavior Acceptance Model – China, - 2022. - https://doi.org/10.3390/app122412966

ҒТАХР 14.29.15

10.51889/2959-5894.2025.91.3.023

Е.Ы. Бидайбеков[1], Б.Б. Қалданов[1*]

[1]Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[*]*e-mail: kenzhebekoffbaga@gmail.com*

ЭЛЕКТРОНДЫҚ ИЕРАРХИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАР НЕГІЗІНДЕ БАСТАУЫШ СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНА ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ МОДЕЛІ

Аңдатпа

Бұл мақалада білім беруді цифрландыру бастауыш сынып оқушыларына арналған информатика курсының мазмұнын ұйымдастыруда жүйелі көзқарасты талап ететіні көрсетіледі. Осы тұрғыда педагогикалық тұрғыдан негізделген, электрондық иерархиялық құрылымдарға негізделген оқыту моделін құру – өзекті міндеттердің бірі болып отыр. Зерттеу мақсаты – бастауыш сынып оқушыларының когнитивтік ерекшеліктерін ескере отырып, оқу материалын құрылымдалған, бейімделетін және көрнекі түрде ұсынуға мүмкіндік беретін авторлық оқыту моделін әзірлеу. Зерттеу барысында информатика пәнін оқытудың отандық және халықаралық тәжірибесі талданып, В.В. Гриншкун моделінің тұжырымдамалық негіздері Блум таксономиясы деңгейлерімен салыстырылды, сондай-ақ компьютерлік модельдеу мен есептеу эксперименті әдістері қолданылды. Бұдан кейін жаңадан жасалған ақпараттық интеграторда жүзеге асырылған үш деңгейлі авторлық оқыту моделі ұсынылды. Модельдің Блум таксономиясы негізінде адекваттылығын тексеру және есептеу экспериментінің нәтижелері құрылымның когнитивтік тұтастығын, педагогикалық мақсатқа сәйкестігін және бейімделгіштігін растады. Бастауыш мектепте информатиканы оқыту үдерісін оңтайландыруда электрондық иерархиялық құрылымдарды пайдаланудың тиімділігі дәлелденді. Болашақта модельді цифрлық платформалар мен жасанды интеллект негізінде дамыту перспективалары қарастырылуда.

Түйін сөздер: бастауыш мектеп; информатиканы оқыту; электрондық иерархиялық құрылымдар; цифрлық дидактика; ақпараттық интегратор; Блум таксономиясы; танымдық деңгейлер; компьютерлік модельдеу; оқытуды дараландыру.

Е.Ы. Бидайбеков[1], Б.Б. Қалданов[1]
[1]Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Қазахстан

МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ УЧАЩИХСЯ НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Аннотация

В этой статье показывает, что цифровизация образования требует системного подхода к организации содержания курса информатики для учащихся начальной школы. Актуальной задачей является создание педагогически обоснованной модели обучения с использованием электронных иерархических структур. Цель исследования – разработка авторской модели обучения информатике на основе электронных иерархических структур, обеспечивающей структурированную, адаптивную и визуализированную подачу материала с учётом когнитивных особенностей младших школьников. В исследовании использовались методы анализа отечественного и международного опыта преподавания информатики, сопоставления концептуальных основ модели В.В. Гриншкуна с уровнями таксономии Блума, а также методы компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента. Далее предложена трёхуровневая авторская модель обучения, реализованная в новом информационном интеграторе. Проведённая проверка адекватности модели на основе таксономии Блума и результаты вычислительного эксперимента подтвердили когнитивную целостность, педагогическую целесообразность и высокую адаптивность разработанной структуры. Обоснована эффективность применения электронных иерархических структур для оптимизации процесса обучения информатике в начальной школе. Рассматриваются перспективы дальнейшего развития модели с использованием цифровых платформ и искусственного интеллекта.

Ключевые слова: начальная школа; обучение информатике; электронные иерархические структуры; цифровая дидактика; информационный интегратор; таксономия Блума; когнитивные уровни; компьютерное моделирование; индивидуализация обучения.

Ye.Y. Bidaibekov[1], B.B. Kaldanov[1]
[1]Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

A MODEL FOR TEACHING INFORMATICS TO PRIMARY SCHOOL STUDENTS BASED ON ELECTRONIC HIERARCHICAL STRUCTURES

Abstract

This article shows that the digitalization of education requires a systematic approach to organizing the content of the informatics course in primary school. The relevance of the study lies in the need to develop a pedagogically grounded teaching model based on electronic hierarchical structures. The purpose of the research is to design an original instructional model that provides structured, adaptive, and visual delivery of content, taking into account the cognitive characteristics of younger learners. The study utilized methods of analyzing national and international experiences in teaching informatics, comparing the conceptual framework of V.V. Grinshkun's model with Bloom's taxonomy levels, as well as techniques of computer modeling and computational experimentation. As a result, an original three-level teaching model was proposed and implemented in a new information integrator. The validation of the model based on Bloom's taxonomy and the findings from the computational experiment confirmed the cognitive coherence, pedagogical soundness, and high adaptability of the developed structure. The study substantiates the effectiveness of applying electronic hierarchical structures to optimize informatics education in primary school. Future prospects include the development of the model into an adaptive learning system using digital platforms and artificial intelligence.

Keywords: primary school; informatics education; electronic hierarchical structures; digital didactics; information integrator; Bloom's taxonomy; cognitive levels; computer modeling; personalized learning.

Кіріспе

Білім беруді цифрландыру жағдайында бастауыш мектепте информатиканы үйретудің басты міндеттерінің бірі – оқу мазмұнын оқушылардың когнитивтік және жас ерекшеліктерін ескере отырып жүйелі ұйымдастыру. Бұл міндетті шешудегі тиімді құралдардың бірі – оқу материалын логикалық, кезең-кезеңімен және көрнекі түрде ұсынуды қамтамасыз ететін электрондық иерархиялық құрылымдар. Мұндай құрылымдарды пайдалану оқу мазмұнын автоматты түрде қалыптастыруға, ақпараттық блоктарды «*қарапайымнан күрделіге*» принципі бойынша реттеуге және ұғымдар арасындағы логикалық байланыстарды гипермәтін арқылы іске асыруға мүмкіндік береді. Бастауыш сынып оқушылары үшін оқу материалының қолжетімділігі, бірізділігі және көрнекілігі ерекше маңызды. Сандық интеграторлар арқылы жүзеге асырылатын электрондық иерархиялар оқуға деген ынтаны арттырып қана қоймай, әр оқушының қабылдау қарқыны мен стиліне бейімделген мазмұнды ұсынуға жол ашады. Осылайша, білім беру үдерісіне электрондық иерархиялық құрылымдарды кіріктіру оның тиімділігін арттыруға, оқушылардың логикалық және сыни ойлау қабілеттерін дамытуға және тұрақты цифрлық құзыреттерді қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Қазіргі заманғы білім беру кеңістігінде цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы бастауыш мектепте информатиканы оқыту әдістерін сапалы жаңартуды талап етеді. Дәстүрлі оқыту үлгілері көбінесе кіші жастағы оқушылардың жас, когнитивтік және психологиялық ерекшеліктерін толық ескере бермейді, бұл олардың цифрлық құзыреттерін қалыптастыру тиімділігін төмендетеді. Оқу материалының құрылымдалмаған, бейімделмеген түрде ұсынылуы білімнің фрагменттік меңгерілуіне әкеліп соғады және оқушылардың алгоритмдік пен логикалық ойлауын дамытуын шектейді. Білім берудің цифрлық трансформациясы жағдайында оқу мазмұнын кезең-кезеңімен визуализациялауды, қолжетімділікті және жекешелендіруді қамтамасыз ететін инновациялық тәсілдерді әзірлеу қажеттілігі туындайды. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты – электрондық иерархиялық құрылымдар негізінде бастауыш сынып оқушыларына информатиканы оқытудың педагогикалық тұрғыда

негізделген моделін жасау. Ұсынылған модель оқу материалын логикалық, құрылымдалған, бейімделгіш және көрнекі түрде жеткізуді қамтамасыз етіп, бастауыш сынып оқушылардың цифрлық және танымдық қабілеттерін қалыптастыруға бағытталған және олардың жас-психологиялық ерекшеліктеріне сай болуы тиіс. Сондай-ақ модель қазіргі цифрлық білім беру ортасына кіріктіріліп, бастауыш мектептің информатика курсының мазмұнын оңтайлы ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу жұмысы үш негізгі кезең бойынша жүргізілді, олардың әрқайсысы бастауыш мектепте информатиканы оқытуға арналған электрондық иерархиялық модельді құру және негіздеуге бағытталды. *Бірінші кезеңде* информатиканы бастауыш сыныптарда оқыту тәжірибесіне отандық және шетелдік талдау жасалды, оның нәтижелері бұрынғы зерттеуімізде жарияланған [1]. Бұл талдау аясында Қазақстан, Қытай, Англия, Финляндия, Словакия және Грекия елдеріндегі оқу бағдарламаларының ерекшеліктері қарастырылды. Зерттеу көрсеткендей, білім беру үдерісіне цифрлық технологиялар қарқынды енгізілгеніне қарамастан, оқу мазмұнын жүйелеу жеткіліксіз деңгейде қалып отыр: материалды беру фрагменттік сипатта, көрнекі және интерактивті ресурстар тапшы, ал оқыту тиімділігі көбінесе мұғалімдердің біліктілігіне тәуелді. 1-кестеде Қазақстан және шет елдердегі бастауыш сыныптарға информатиканы оқыту бағдарламаларының кейбір ерекшеліктері салыстырмалы түрде көрсетілген. Талдау нәтижелері аталған мемлекеттер бағдарламалары құрылымдалғанымен, олардың тиімді жүзеге асуы үшін мектептердің жоғары техникалық жабдықталуы және мұғалімдердің жүйелі дайындық деңгейі қажет екенін айқындады.

Кесте 1. Бастауыш мектепте информатиканы оқыту бағдарламаларының Қазақстан және шет елдердегі ерекшеліктері

Мемлекет	Оқу бағдарламасының ерекшеліктері
Қазақстан	1-сыныптан бастап «Цифрлық сауаттылық» пәні енгізілген. Онда алгоритмдік ойлау, робототехника және интернеттегі қауіпсіздік тақырыптары қамтылады. Бағдарлама практикалық тапсырмаларға бағытталған, теориялық материалы күрделі. Оқу нәтижесі ресурстардың қолжетімділігі мен мұғалімдердің біліктілігіне де тәуелді.
Қытай	Информатиканы оқыту 3-сыныптан басталады. Бағдарламада алгоритмдер, бағдарламалау және робототехника тақырыптары қамтылған. Оқыту үдерісі практикалық тәжірибеге негізделіп, жүйелі әрі құрылымдық түрде жүргізіледі. Робототехникаға ерте тарту көзделген.
Англия	Алгоритмдер мен бағдарламалауды ерте жастан оқыту қарастырылған. Бағдарлама логикалық және сыни ойлауды дамытуға бағытталған. Интернеттегі қауіпсіздік пен дербес деректерді қорғауға ерекше көңіл бөлінеді. Бағдарлама тиімділігі мұғалімдердің біліктілігіне тәуелді.
Финляндия	Бағдарламалау 1-сыныптан бастап оқытылады және математикамен ықпалдастырылады. Бұл тәсіл оқушылардың есептеуіш ойлауын, шығармашылық және зерттеушілік дағдыларын дамытуға ықпал етеді.
Грекия	Информатика бастауыш мектептің барлық сыныптарында оқытылады. Ұжымдық, жобалық және ойын технологиялары қолданылады, олар оқушылардың сыни ойлауы мен коммуникациялық дағдыларын дамытуға бағытталған. Ресурстардың жетіспеушілігі және мұғалімдерге қойылатын жоғары талаптар мәселелері бар.
Словакия	Оқу бағдарламасы сыни ойлау мен цифрлық сауаттылықты дамытуға бағытталған. Алайда мұғалімдердің біліктілігінің жеткіліксіздігі және техникалық ресурстардың тапшылығы білім беру сапасына кері әсер етеді.

Қазақстанда 2022 жылдан бастап бастауыш мектепте «Цифрлық сауаттылық» курсы енгізіліп, ол бастауыш сынып оқушыларының негізгі цифрлық құзыреттерін қалыптастыруға

бағытталған [2]. Дегенмен бұл жаңашылдықты іске асыру барысында бірқатар қиындықтар байқалады: теориялық материалдың күрделілігі, оқу ресурстарының шектеулілігі және цифрлық біліктілігі жоғары педагог кадрлардың тапшылығы. Шетелдік тәжірибеде де ұқсас түйткілдер бар – оқу бағдарламалары құрылымдалғанымен, олардың табысты жүзеге асуы үшін мектептердің материалдық-техникалық базасы мықты болып, мұғалімдер арнайы даярлықтан өтуі тиіс. Жүргізілген талдау білім беру мазмұнын ұйымдастырудың жаңа педагогикалық үлгілеріне көшудің қажеттілігін көрсетті. Атап айтқанда, мазмұнды модульдік құрылымдау, көрнекілендіру және бейімдеу принциптеріне негізделген тәсілдер өзекті болып отыр. Білім беруді цифрлық трансформациялау жағдайында оқу материалын электрондық иерархиялық құрылымдар арқылы ұсыну – логикалық білім жүйесін құру мен білім траекторияларын дербестендірудің перспективалы бағыты ретінде анықталды. 2024 жылы 218 информатика мұғалімінен құралған сауалнама жүргізілді. Сұрау нәтижелері қазіргі оқыту мазмұны мен әдістемесінде бірнеше негізгі мәселелер бар екенін көрсетті. Алынған деректерге сәйкес, дәстүрлі оқыту әдістемелерінде кемшіліктер анықталып, электрондық иерархиялық құрылымдарды білім беру үдерісіне енгізудің тиімділігі дәлелденді [1]. Аталған мәселелерді шешудің тиімді жолдарының бірі – оқу мазмұнын қалыптастыру және оқыту құралдарын ұйымдастыру үдерісінде электрондық иерархиялық құрылымдарды қолдану болып табылады. Мұндай тәсіл ақпаратты логикалық тұрғыда жүйелеп, оны кезең-кезеңмен ұсынуға мүмкіндік береді. Бұл оқу материалының күрделілігін жеңілдетіп, оны оқушылардың қабылдау деңгейіне бейімдеуге ықпал етеді. Материалды визуализациялау арқылы электрондық иерархиялар күрделі ұғымдарды қарапайым түсіндіруге және ақпаратты меңгеру процесін жылдамдатуға жағдай жасайды [3]. Мысалы, ұғымдық карталар мен интерактивті элементтерді пайдалану оқу материалын игеру уақытын қысқартып, оқу нәтижелерінің артуына себеп болады. Осы нәтижелерді ескере отырып, оқыту мазмұны мен әдістерін қайта қарап, жаңартуды қамтамасыз ететін жаңа педагогикалық модельді әзірлеу қажеттілігі негізделеді.

Екінші кезеңде электрондық иерархия қағидаттарына негізделген дайын үлгілерді талдау жүзеге асырылды. Электрондық иерархиялық модельдер білім беру ресурстарына кеңінен қол жеткізу мүмкіндігін де қамтамасыз етеді. Оған онлайн кітапханалар, мультимедиалық материалдар және интерактивті оқытуға арналған платформалар жатады, бұл әрі оқушылардың, әрі мұғалімдердің құралдар жиынтығын кеңейтеді. Сонымен қатар, мұндай тәсіл білімге қолжетімділікті арттырып, әсіресе математика мен жаратылыстану сияқты пәндер бойынша оқыту нәтижелерін жақсартуға ықпал етеді [4]. Атап айтқанда, педагогика және дидактика саласында жасалған В.В. Гриншкунның электрондық иерархиялық оқыту моделі зерттеудің әдіснамалық негізі ретінде таңдап алынды. Бұл модель біздің зерттеу мақсатымызға – бастауыш сынып информатикасының мазмұнын бірізді, логикалық және өсу бағытымен ұйымдастыруға – толық сай келгендіктен қолданылды. Гриншкун моделінің негізгі ерекшеліктері білім мазмұнын жүйелі түрде құру, логикалық ойлауды дамыту және цифрлық білім беру ортасын тиімді қалыптастыру болып табылады. Біз бұл үлгінің мазмұнын Блум таксономиясының когнитивтік деңгейлеріне сәйкес талдап, оның бастауыш мектеп оқушылары үшін қолайлылығын бағаладық. В.В. Гриншкун информатика сабақтарында білім мазмұнын иерархиялық құрылымдар түрінде ұсынудың тиімді әдістерін ұсынғанымен, бұл тәсілдердің бастауыш деңгейде қолданылуы әлі жеткілікті зерттелмеген. Бұған дейінгі зерттеулерде электрондық иерархиялық құрылымдардың бастауыш мектептегі оқу үдерісін оңтайландыруда жоғары әлеуеті бар екені көрсетілген. Ол үшін әзірленген құрылым «Ұғымдар ағашы» деп аталатын ақпараттық интегратор платформасында әзірленді. Бұл цифрлық құрал модельді интерактивті форматта құруға және оның білім беру үдерісіне сәйкестігін объективті түрде бағалауға мүмкіндік береді.

Осы ғылыми олқылықты ескере отырып, *үшінші кезеңде* авторлық үш деңгейді модель әзірлеу мақсаты негізделіп, тәжірибеде тексеру үшін компьютерлік модельдеу және есептеу эксперименті әдістемесі қолданылды. В.В. Гриншкун мен Е.Ы. Бидайбековтің пікірі бойынша [5], педагогикадағы есептеу эксперименті тек гипотезаларды эмпирикалық тексеру

ғана емес, сонымен қатар оқу модельдерінің цифрлық ортадағы әрекетін математикалық және логикалық тұрғыдан талдаудың бір түрі болып табылады. Біздің зерттеуіміз аясында бұл тәсіл жасалған модельдің Блум таксономиясының когнитивтік деңгейлеріне сәйкестігін дәлелдеуге, сондай-ақ құрылымның толықтығын, байланыстылығын және педагогикалық тұрғыдан орындығын автоматты түрде тексеруді қамтамасыз етуге мүмкіндік берді [6].

Зерттеу нәтижелері

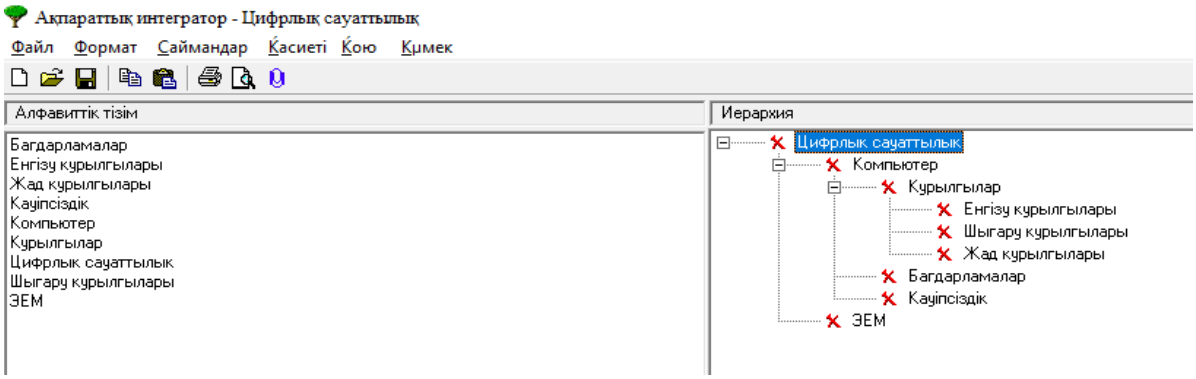
Модельді іске асыру үшін зерттеуде В.В. Гриншкунның электрондық иерархиялық оқыту моделінің тұжырымдамасы негізге алынды. Бұл модельді негізге алуымыздың себебі – оның біздің мақсатымызбен толық үйлесуі және бастауыш мектеп оқушыларына информатиканы кезең-кезеңімен, жүйелі үйретуге бағытталғандығы. Гриншкун моделінің көпдеңгейлі құрылымы (түйінді ұғымдар, қағидалар мен ережелер, практикалық тапсырмалар) және білімді визуалды-гипермәтіндік түрде беру тәсілі авторлық моделіміздің іргетасы болды. Ұғымдар мен олардың байланыстарын көрнекі түрде бейнелеу үшін зерттеу барысында «*Иерархия-2000*» деп аталатын ақпараттық интегратор қолданылды. 1-суретте «Цифрлық сауаттылық» пәні бойынша құрылымдалған ұғымдар иерархиясы мысал ретінде көрсетілген.

Сурет 1. «Цифрлық сауаттылық» пәні бойынша ұғымдар иерархиясы

Бұл иерархияда пәннің басты тақырыптары мен сол тақырыпқа енетін ұғымдар сатылы түрде беріледі. «Иерархия-2000» платформасы оқу материалын интерактивті форматта ұсынуға мүмкіндік береді, гиперсілтемелік навигация арқылы ұғымдар арасындағы байланыстар сақталады [7].

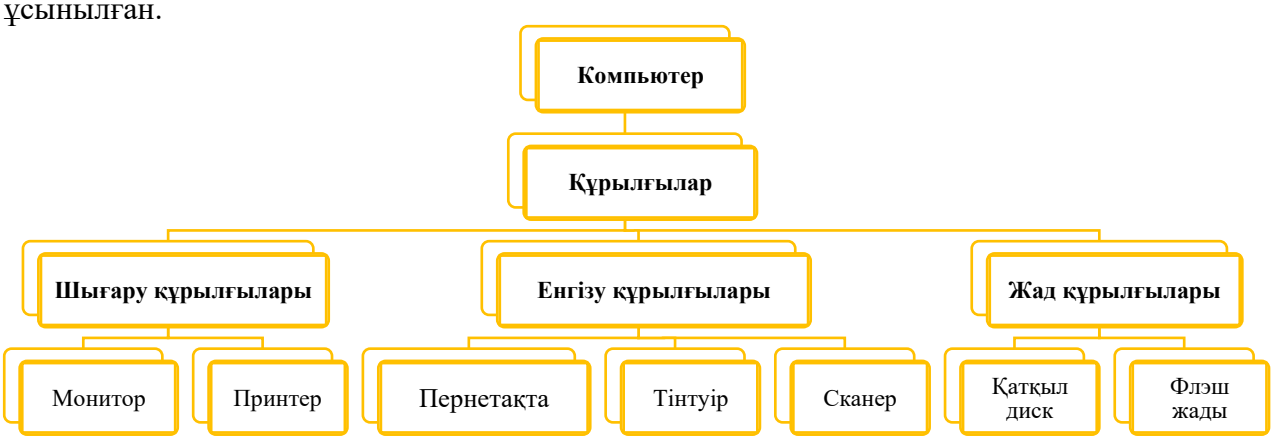
Зерттеу барысында әдіснамалық негіз ретінде алынған Гриншкун моделінің Блум таксономиясы тұрғысынан мақсатқа сәйкестігі талданды. Модель мазмұнды «қарапайымнан күрделіге» қарай ұйымдастыру арқылы оқушылардың логикалық ойлауын дамытуға және цифрлық білім беру ортасын тиімді құруға бағытталған. Оның көпдеңгейлі құрылымы (ұғымдар → ережелер → тапсырмалар), гипермәтіндік байланыстар, бейімделгіштік және пәнаралық желілік навигациясы оқу мазмұнын кезең-кезеңмен меңгеруге жағдай жасайды. Сонымен қатар, визуалды компоненттер, интерактивті және ойын элементтерін енгізу оқу үдерісін оқушыға қызықты әрі динамикалық етіп ұйымдастыруға мүмкіндік береді, бұл жас ерекшеліктеріне сай мотивация мен сын тұрғысынан ойлауды дамытуға ықпал етеді [8]. Интегратор платформасы оқу құрылымын иерархиялық ағаш түрінде визуализациялап, оқушыларға бейімделген мазмұнды ұсынуды қамтамасыз етеді (2-сурет).

Иерархиялық құрылымдар негізінен базалық ұғымдардан басталып, біртіндеп күрделене түсетін тақырыптық бөлімдерге таралады. Әрбір негізгі тақырып өз кезегінде шағын бөлімдерге бөлініп, материал оқушылардың жас ерекшеліктеріне сәйкес шағын мазмұндық бөліктерге жіктелген.



Сурет 2. «Иерархия-2000» ақпараттық интеграторы арқылы құрылған ұғымдар иерархиясы

Бұл тәсіл ақпаратты бірізділікпен және логикалық ретпен меңгеруге жағдай жасап, оқушылардың материалды кезең-кезеңімен терең түсінуіне мүмкіндік береді. Құрылған иерархиялық құрылымдар негізінде оқу материалы гипермәтін форматында интерактивті парақтар түрінде ұсынылды. Мұнда әр бөлім бойынша сілтемелер, иллюстрациялар, бейнематериалдар және практикалық тапсырмалар қамтылды, бұл оқу үдерісін қызықты да тиімді етуге септігін тигізеді. Мысалы, модель аясында «Компьютер» тақырыбы және оның «Құрылғылар» атты ішкі бөлімі үшін электрондық иерархия әзірленді. 3-суретте осы «Компьютер» бөлімі мен оның «Құрылғылар» бөлімшесіне қатысты ұғымдар иерархиясы ұсынылған.



Сурет 3. «Компьютер» бөлімі және оның «Құрылғылар» бөлімшесі бойынша ұғымдар иерархиясы

Бұл үлгіде негізгі тақырыптар (мысалы, «Компьютер») және олардың шағын тақырыптары («Енгізу құрылғылары», «Шығару құрылғылары», «Жад құрылғылары») көрнекі түрде иерархия ретінде ұйымдастырылған. Әрбір тармаққа тиісті материалдар, тапсырмалар және көрнекі элементтер қоса берілген. Мұндай құрылым оқу материалын бірізді меңгеруге, ақпаратты логикалық жүйелеуге және оқу ресурстарын оқушылардың жас ерекшеліктері мен қабылдау деңгейіне қарай бейімдеуге мүмкіндік береді [9]. Сонымен бірге, құрылымда гипермәтіндік технологиялар интеграцияланған, олар ұғымдар арасындағы логикалық байланысты сақтап, оқу үдерісінің тиімділігін арттырады. Ұсынылатын модельдің теориялық жаратымдылығын растау үшін Блум таксономиясының когнитивтік деңгейлері негізінде кешенді талдау жасалды. Бастауыш мектепте информатиканы оқыту мақсаттары Блум таксономиясының алты танымдық деңгейін қамтиды: есте сақтау, түсіну, қолдану, талдау, бағалау және жасау. 4-сурет осы деңгейлердің модельде іске асырылуын көрсететін инфографиканы қамтиды. Зерттеу барысында әрбір деңгейге сәйкес оқу тапсырмалары мен әрекеттер жүйесі әзірленді, бұл модельдің танымдық үдерістің толық спектрін қамтитынын дәлелдейді. Атап айтқанда, төменде Блум таксономиясының деңгейлері және олардың модельде көрініс табуы берілген:

1. *Есте сақтау* – негізгі терминдер мен ұғымдарды жаттау, бұрын оқылған анықтамаларды қайта жаңғырту. Модельде бұл деңгей әрбір басты ұғымды визуалды түрде көрсету және оның қысқаша түсіндірмесін беру арқылы қамтамасыз етілген.

2. *Түсіну* – оқылған материалдың мәнін өз сөзімен түсіндіру, функциялар мен үрдістерді сипаттау. Модельде бұл гиперсілтемелер мен түсіндіруші блоктар арқылы жүзеге асады: оқушы ұғымның мазмұнын қарап, оның қолданылу контекстіне өтіп, өз сөзімен пайымдай алады.

3. *Қолдану* – білімді тәжірибеде пайдалану, практикалық тапсырмаларды орындау. Модельдің үшінші деңгейінде интерактивті әрекеттер мен тапсырмалар көзделген, мысалы, графикалық редакторда қарапайым тапсырмаларды орындау немесе Scratch ортасында жеңіл алгоритм құру.

4. *Талдау* – объектілерді салыстыру, олардың айырмашылықтары мен ұқсастықтарын анықтау. Модельде өзара байланысқан ұғымдар мен объектілер арасындағы гипермәтіндік өтулер арқылы оқушыларға мысалы, компьютер мен планшетті функциялары бойынша салыстыру мүмкіндігі берілген.

5. *Бағалау* – түрлі шешімдердің маңыздылығын негіздеп, таңдау жасау, пікір білдіру. Модельде бұл деңгей оқушыларға шағын жобалар немесе таңдаулы тапсырмалар арқылы жүзеге асады, мысалы, «Қай құрылғы маңыздырақ: тінтуір ме әлде пернетақта?» деген сияқты сұрақтарға өз дәлелдерімен жауап беру.

6. *Жасау* – өз жобалары мен идеяларын ұсыну, білімді шығармашылық тұрғыда қолдану. Модель аясында оқушыларға Scratch немесе басқа қолжетімді құралдарда шағын шығармашылық жоба жасау тапсырмасы беріледі, бұл олардың игерген білімдер негізінде жаңа өнім жасауына жағдай жасайды.

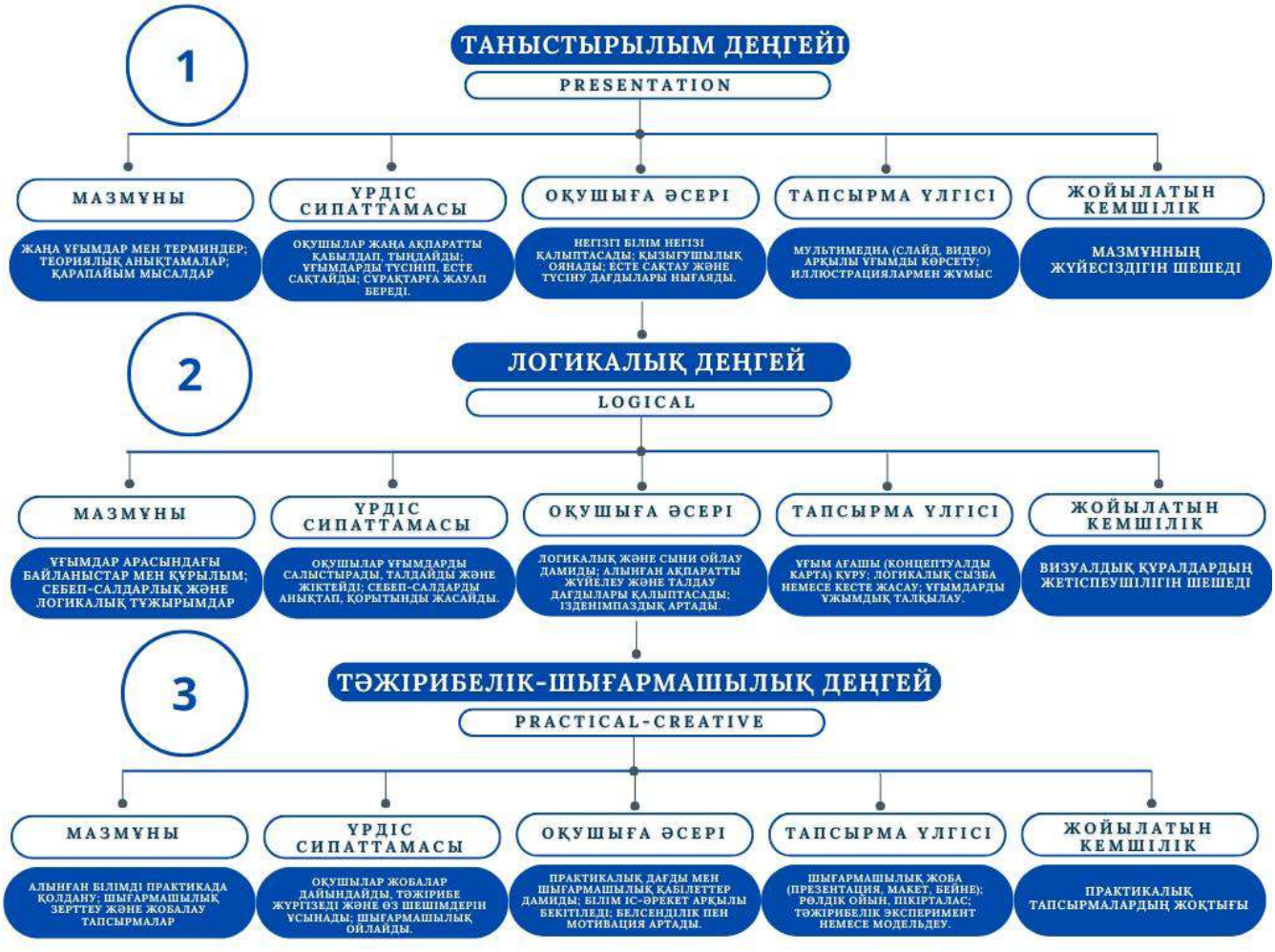
4-суреттегі инфографика әр деңгейдің нақты тапсырмалармен бекітілгенін көрнекі түрде көрсетеді.

Сурет 4. Блум таксономиясы деңгейлері негізінде В.В. Гриншкун моделінің бастауыш информатикаға сәйкестігін тексеру

Білім алушылардың танымдық дағдыларын дамытатын бұл деңгейлік жүйе арқылы ұсынылған модель бастауыш сынып оқушыларының оқу іс-әрекетін репродуктивтік деңгейден шығармашылық деңгейге дейін көтере алады. Осылайша, модель оқушылардың білімді жай ғана есіне сақтап қоймай, оны түсіну, қолдану, талдау, бағалау және жаңа өнім

жасау қабілеттерін де дәйекті түрде қалыптастыратынын көрсетті. Бұл нәтижелер модельдің педагогикалық маңыздылығы мен бастапқы информатика курсының мақсат-міндеттеріне толық сәйкестігін дәлелдейді. Жүргізілген тексерулердің нәтижесінде электрондық иерархиялық оқыту моделі Блум таксономиясындағы барлық танымдық деңгейлерді тиімді қамтитыны анықталды. Модельдің құрылымы есте сақтаудан бастап шығармашылыққа дейінгі когнитивтік әрекеттерді дәйекті түрде жүзеге асырады, бұл оның теориялық және практикалық тұрғыдан оқу мақсаттарына сай келетінін қуаттайды. Демек, бастауыш мектептің информатика курсында ұсынылған электрондық иерархиялық модельді қолдану – оқытуды жүйелі, кезеңдік және көрнекі түрде ұйымдастырудың тиімді шешімі болып табылады.

В.В. Гриншкун моделі өзінің ғылыми маңыздылығына қарамастан, қазіргі отандық зерттеулерде әлі де жеткілікті деңгейде қамтылмаған және көбінесе тек қолданбалы деңгейде, терең ғылыми рефлексиясыз пайдаланылып келеді. Осы мақалада осы олқылықтың орнын толтыруға талпыныс жасалды: модель тек әдіснамалық негіз ретінде пайдаланылып қана қоймай, оны бастауыш сыныпта информатиканы оқытудың мақсат-міндеттеріне сәйкестігі тұрғысынан жан-жақты талдауға бағытталған. Осыған орай, В.В. Гриншкунның электрондық иерархиялық моделі Қазақстанда ғана емес, шетелдік білім беру тәжірибесінде де кеңінен танылып, цифрлық білім беру практикасына белсенді түрде енгізілуге лайық деп санаймыз. *Аталған зерттеу бұл модельдің негізінде бастауыш сыныпқа арналған авторлық оқыту моделін құрып*, ғылыми тұрғыда тереңірек ұғындыру мен кеңінен таратуға өзіндік үлес қосуды мақсат етеді. 5-суретте көрсетілгендей, авторлық оқыту моделі «Ұғымдар ағашы» ақпараттық интегратор принциптері негізінде құрылған, яғни сабақ мазмұны мен тақырыптық ұғымдар логикалық ағаш құрылымында жүйеленеді.

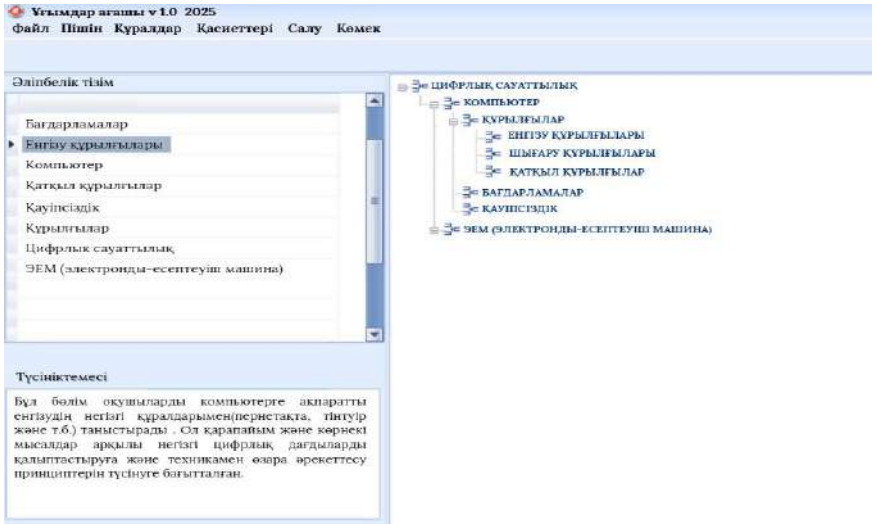


Сурет 5. Электронды иерархиялық үш деңгейлі оқыту моделі

Мысалы, информатиканы оқыту әдістемесінде берілген факт бойынша «Ұғымдар ағашы» схема-графын құрастыру тапсырмасы қарастырылған [10].

Авторлық модельдің басты ерекшелігі – оның Блум таксономиясының барлық когнитивтік деңгейлерін қамтуы және үш сатылы құрылымға негізделуі. Бірінші (таныстырылым) деңгейде оқушылар жаңа ақпаратпен танысып, оны қабылдайды; екінші (логикалық) деңгейде алынған білімді талдап, ұғымдар арасындағы байланыстарды жүйелейді; үшінші (тәжірибелік-шығармашылық) деңгейде білімдерді практикада қолдана отырып шығармашылық тапсырмаларды орындайды. Мұндай кезеңдік тәсіл Блум таксономиясының когнитивтік деңгейлеріне сәйкес келеді: оқыту төменнен жоғарыға бағытталып, «білу–түсіну–қолдану–талдау–жинақтау–бағалау» үрдісі арқылы жүйеленеді [11]. Нәтижесінде оқу үдерісінің мазмұны бірізді болып, оқушының танымдық дағдылары мен мотивациясы артады; сонымен бірге оқу мақсаттары мен бағалау критерийлері өзара байланысты қарастырылады [12]. Бұл модель оқу-білім беруде мақсаттар, мазмұн мен бағалауды үйлесімді біріктіре отырып, жоғары нәтижелілікке жетуге ықпал етеді.

«Ұғымдар ағашы» ақпараттық интеграторы В.В. Гриншкунның «Иерархия-2000» платформасы негізінде Delphi тілінде жазылып, бастауыш сынып оқушыларына бейімделген *жаңартылған интерфейспен* толықтырылды. Бұл құрал оқу мазмұнын иерархиялық құрылымда визуализациялауға, гипертекстік навигация мен ұғымаралық байланыстарды ұйымдастыруға мүмкіндік береді. *Ұғымдар ағашы иерархияның жаңартылған нұсқасы ретінде*, балалардың жас ерекшеліктерін ескеретін, визуалды тартымды және қызығушылығын оятатын интерфейспен ерекшеленеді. Интеграторда жүзеге асқан авторлық модель Гриншкун ұстанымдарын (иерархия, кезеңділік, көрнекілік) сақтай отырып, жүйелілік, модульдік және әрекеттік тәсілдермен толықтырылды. Оқу мазмұнын құру – ұғымдар иерархиясын құру модулі арқылы жүзеге асырылатынын 6-суретте көре аламыз. Оның негізіне когнитивтік навигация, автоматты тексеру және семантикалық байланыстылық қағидаттары енгізілген. Жүйе оқушылардың жас ерекшелігіне сай бейімделіп, білімді визуалды және құрылымдық түрде ұсынуға жағдай жасайды.



Сурет 6. «Ұғымдар ағашы» ақпараттық интеграторы арқылы ұғымдар иерархиясын құру модулі

2-кестеде В.В. Гриншкун моделі мен авторлық модель арасындағы негізгі айырмашылықтар салыстырмалы түрде берілген. Авторлық модель үш деңгейлі құрылымға ие (ұғымдар – байланыстар – практика), Блум таксономиясымен тікелей байланысқан, жеке оқу траекторияларын қамтамасыз етеді және «Цифрлық сауаттылық» курсына нақты бейімделген. Бұл оның бастауыш мектеп жағдайына толық сәйкес келетін тиімді оқыту құралы екенін көрсетеді.

Кесте 2. В.В. Гриншкун моделінің және бастауыш сыныпқа арналған авторлық оқыту моделінің салыстырмалы талдауы

№	Критерий	В.В. Гриншкун моделі	Авторлық модель
1	Құрылымы	Көпдеңгейлі, ұғымнан практикаға дейін	Үш деңгейлі: ұғымдар, байланыстар, практика
2	Икемділік	Гипермәтінмен толықтырылған сызықтық құрылым	Толық навигация, жекелеген оқу траекториялары
3	Көрнекілік	Ұғымдар ағашы, гипермәтін	Интерактивті сызбалар, анимациялар, гиперсілтемелер
4	Блум таксономиясы	Барлық деңгейлерді қамту әлеуеті бар	Блум таксономиясының деңгейлеріне тікелей сәйкестік
5	Техникалық іске асыру	«Иерархия-2000» интеграторы	«Ұғымдар ағашы» интеграторы
6	Бейімделгіштік	Оқушының деңгейіне қарай бейімделу	Тапсырмаларды автоматты түрде саралау
7	Қолданылуы	Әмбебап (мектеп, ЖОО, басқа пәндерге де жарамды)	Бастауыш мектепке арналған, «Цифрлық сауаттылық» курсы бойынша

7-суретте «Ұғымдар ағашы» интеграторы негізінде автоматты түрде құрастырылатын гипермедиа-бетінің үлгісі көрсетілген. Ол - оқу материалының толық визуализациясын қамтамасыз етіп, оқушыларға қолжетімді және түсінікті форматта ұсынылады. Әр парақ негізгі ұғымды, иллюстрацияларды, гиперсілтемелерді және интерактивті элементтерді қамтиды. Бұл құрылым оқушыларға оқу мазмұнында еркін бағдарланып, материалды логикалық түрде немесе жеке траектория бойынша меңгеруге мүмкіндік береді. Гипермәтіндік навигация тақырыптар арасындағы логикалық байланысты сақтап, пәнді тұтастай түсінуді қамтамасыз етеді [13]. Модель оқушылардың қарқынына сай білім алуға жағдай жасап, дербестендірілген оқытуға мүмкіндік береді [14].

Сурет 7. Бөлімдерді гипермедиа форматында ұйымдастыру үлгісі

«Ұғымдар ағашы» ақпараттық интеграторы негізінде жасалған авторлық модель бастауыш сынып оқушыларына информатиканы кезең-кезеңімен меңгертуді көздейді. Гипермедиа-беттер автоматты түрде ұғымдар иерархиясынан түзіліп, иллюстрациялар, гиперсілтемелер және интерактивті элементтермен толықтырылады. Бұл құрылым оқу мазмұнын визуализациялап, оқушылардың жеке оқу траекторияларын қамтамасыз етеді. Модель үш деңгейлі: таныстыру (ұғымдар мен анықтамалар), логикалық (байланыстар мен ережелер), тәжірибелік-шығармашылық (қолдану және жоба жасау). Ол Блум таксономиясының

когнитивтік деңгейлерімен толық үйлеседі және оқушының түсінуінен бастап шығармашылық әрекетке дейінгі дағдыларын дамытады. В.В. Гриншкун моделінің қағидаттарын сақтай отырып, авторлық нұсқа бастауыш деңгейге бейімделіп, мазмұнды интерактивті, икемді және жеке бағытталған түрде ұсынуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, цифрлық құралдармен ықпалдасуы (мысалы, Scratch) оқыту мотивациясын арттырып, жүйелі білім алуға жағдай жасайды [15-16]. Модельді енгізу барысында мұғалімдердің цифрлық құзыреттерін жетілдіру және әдістемелік қолдау қажет. Жалпы, авторлық модель бастауыш сыныпта цифрлық сауаттылықты қалыптастыруда тиімді шешім бола алады.

Дискуссия

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, оқу материалын иерархиялық құрылымдау тәсілі информатиканы оқытудың мазмұнын жүйелеуде және оқушылардың танымдық қызметін жетілдіруде қажетті әрі тиімді болып табылады. Ұсынылған иерархиялық модель бастауыш сынып оқушыларының білім алу ерекшеліктеріне сәйкес құрылып, таным қызметінің барлық деңгейлерін (еске сақтау, түсіну, қолдану, талдау, бағалау, шығармашылық) қамтиды. Модельді қолдану бастауыш сынып оқушыларының логикалық және сыни ойлауын, цифрлық сауаттылығын, сондай-ақ дербес білім алу дағдыларын қалыптастыруға ықпал етеді. Ең бастысы – электрондық ресурстарда оқу материалының оқушының ана тілінде берілуі оның түсінуін жеңілдетіп, когнитивтік жүктемені азайтады және балалардың информатиканы оқуға деген мотивациясын арттырады. Бұл әсіресе бастауыш мектепте өте маңызды фактор, өйткені оқу материалын ана тілінде қабылдау оның тиімділігін едәуір жоғарылатады [17]. Ұсынылған модель қазіргі заманғы сандық платформалармен және құралдармен тиімді ықпалдаса алады. Мысалы, Scratch, Blockly сияқты визуалды бағдарламалау орталарымен, қашықтан оқыту жүйелерімен және басқа да цифрлық ресурстармен интеграциялау мүмкіндігі қарастырылған. Мұндай интеграция мұғалімнің дидактикалық мүмкіндіктерін кеңейтеді, курс мазмұнын оқушылардың дайындық деңгейіне қарай икемді бейімдеуге және әр оқушыға жеке оқу траекториясын құруға жол ашады [18]. Демек, ұсынылған модель бастауыш сыныптағы «Цифрлық сауаттылық» курсын визуализациялау, жоспарлау және жүйелеу үшін мұғалімдерге әмбебап құрал бола алады. Оқыту мазмұнын осылайша құрылымдау сабақтардың тиімді ұйымдастырылуын қамтамасыз етіп, оқу материалын игеруді оңайлатады. Зерттеу барысында электрондық иерархиялық құрылымдар негізінде құрылған модельдің ары қарай дамытылу әлеуеті анықталды. Алдағы уақытта бұл модельді бастауыш білім беру практикасына кеңінен енгізу, сондай-ақ иерархиялық құрылымдарды жобалау және сүйемелдеу бойынша автоматтандырылған жүйелерді әзірлеу мүмкіндіктері зор. Атап айтқанда, жасанды интеллект технологияларын пайдалана отырып, модельді жетілдіру жоспарлауда. Мысалы, оқушылардың оқу жетістіктерін талдау негізінде «ұғымдар ағашы» құрылымын автоматты түрде түзетулер енгізетін бағдарламалық модуль құру – перспективалы бағыттардың бірі. Мұндай модуль оқу материалын меңгерудегі қиындықтар анықталған түйіндерге қосымша түсіндірмелер қосып немесе әлсіз меңгерілген тақырыптар бойынша қосымша жаттығулар ұсынуы мүмкін. Мұндай мүмкіндіктерді іске асыру арқылы жүйе пайдаланушылармен бірге үнемі жетіліп отыратын «үйренуші ортаға» айналады. Бұл бастауыш мектептегі информатика пәнін оқыту сапасын жақсартып қана қоймай, цифрлық дидактиканың дамуында жаңа мүмкіндіктерге жол ашады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу информатиканы бастауыш мектепте оқытуға арналған электрондық иерархиялық модельді теориялық тұрғыда негіздеуге және құрылымдауға мүмкіндік берді. Модель В.В. Гриншкун тұжырымдамасының әдіснамалық қағидаларына сүйене отырып әзірленіп, бастауыш сынып оқушыларының жас және когнитивтік ерекшеліктеріне бейімделді. Зерттеу барысында үш негізгі кезең жүзеге асырылды: отандық және шетелдік тәжірибені салыстырмалы талдау, Гриншкун моделін Блум таксономиясы призмасы арқылы

мазмұндық тұрғыда саралау, және «Ұғымдар ағашы» ақпараттық интегратор негізінде авторлық үш деңгейлі оқыту моделін құрастыру.

Алынған нәтижелер оқу материалын иерархиялық құрылымдаудың қажеттілігі мен тиімділігін нақты дәлелдеді. Ұсынылған модель танымдық қызметтің барлық деңгейлеріне сәйкес келіп, оқушылардың білім, білік және дағдыларын кезең-кезеңмен дамытуға жағдай жасайды. Электрондық иерархиялық тәсілдің енгізілуі оқушылардың логикалық және сыни ойлауын, цифрлық сауаттылығын, сонымен қатар тұрақты танымдық белсенділігін қалыптастыруда оң ықпал ететіні анықталды.

Қорыта айтқанда, сандық білім беру ортасында жүзеге асырылған үш деңгейлі бұл модель педагогикалық тұрғыдан орынды, когнитивтік жағынан толық, бейімделгіш құрылымымен ерекшеленеді. Алынған ғылыми нәтижелер бұл модельді әрі қарай *жетілдіру мен білім беру тәжірибесіне кеңінен енгізуге нақты негіз* бола алады. Осы модельдің тиімділігін тәжірибе жүзінде тексеру үшін оны келесі зерттеу кезеңінде пилоттық сынақтан өткізу жоспарлануда. Сонымен қатар, болашақта жасанды интеллект технологияларын пайдалана отырып, бұл құрылымды адаптивті оқыту жүйесіне айналдыру мүмкіндіктері де қарастырылуда. Бұл бастама бастауыш мектепте информатика пәнін жүйелі, кезеңдік және жеке бейімделген форматта меңгертудің жаңа мүмкіндіктерін ашатынына сенім мол.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Бидайбеков Е.Ы., Калданов Б.Б. Возможность и целесообразность использования электронных иерархических структур в обучении информатике в начальной школе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. — 2024. — Т. 21, № 3. — С. 275–296. DOI: 10.22363/2312-8631-2024-21-3-275-2

[2] Katyetova A. Teaching informatics in primary schools of Kazakhstan: current state, problems, and prospects // INTED2023 Proceedings. — Valencia: IATED Academy, 2023. — P. 2524–2531. https://doi.org/10.21125/inted.2023.0710

[3] Shi D., Cui W., Huang D., Zhang H., Cao N. Reverse-engineering information presentations: recovering hierarchical grouping from layouts of visual elements // Visual Intelligence. — 2023. — Vol. 1. https://doi.org/10.1007/s44267-023-00010-1

[4] Valverde-Berrocoso J., Acevedo-Borrega J., Cerezo-Pizarro M. Educational technology and student performance: a systematic review // Frontiers in Education. — 2022. — Vol. 7. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.916502

[5] Бидайбеков Е.Ы., Гриншкун В.В. Компьютерное моделирование и вычислительный эксперимент в педагогических исследованиях // Информационные технологии в образовании: материалы конференции. — М., 2000. — Ч. II. — С. 163–164

[6] Zhang T., Mao H., Liu H., Liu Y., Yu M., Wu W., Gensitskiy Y., Wei B., Guan Y. Parallel Prediction Method of Knowledge Proficiency Based on Bloom's Cognitive Theory // Mathematics. — 2023. — Vol. 11, No. 24. — Article 5002. https://doi.org/10.3390/math11245002

[7] Гриншкун В.В. Использование иерархических структур в разработке электронных средств обучения // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. — 2003. — № 1. — С. 30–41

[8] Orynbayeva L.K., Kosherbaeva A.N., Grinshkun V.V., Bidaibekov E.Y., Kosherbaeva G.N., Bissenbayeva Zh. Development of electronic resources on the formation of personal qualities of schoolchildren // Journal of Intellectual Disability – Diagnosis and Treatment. — 2020. — Vol. 8, No. 4. — P. 777–783. https://doi.org/10.6000/2292-2598.2020.08.04.21

[9] Ullah Z., Lajis A., Jamjoom M., Altalhi A.H., Saleem F. Bloom's taxonomy: A beneficial tool for learning and assessing students' competency levels in computer programming using empirical analysis // Computer Applications in Engineering Education. — 2020. — Vol. 28, No. 6. — John Wiley & Sons, Ltd

[10] Бидайбеков Е. Ы., Лапчик М. П., Нұрбекова Ж. К., Сағымбаева А. Е., Жарасова Г. С., Оспанова Н. Н., Исабаева Д. Н. Информатиканы оқыту әдістемесі: оқулық. — Алматы: 2014. — 384 б.

[11] Айтқазина Т. Б. Қазақ тілін оқытуда Блум таксономиясын қолданудың тиімділігі / International Young Scholars' Conference: материалдар жинағы. — Сулейман Демирель университеті, 2021.

[12] Bloom's taxonomy // Encyclopaedia Britannica. – URL: https://www.britannica.com/topic/Blooms-taxonomy (қол жеткізу күні: 15.05.2025).

[13] Braaksma M., Rijlaarsdam G., Janssen T. Writing hypertexts: proposed effects on writing processes and knowledge acquisition // L1-Educational Studies in Language and Literature. — 2017. — Vol. 7, No. 4. — P. 93–122. https://doi.org/10.17239/L1ESLL-2007.07.04.06

[14] Braaksma, M., Rijlaarsdam, G., Janssen, T. Writing hypertexts: proposed effects on writing processes and knowledge acquisition // L1-Educational Studies in Language and Literature. — 2017. — Vol. 7, No. 4. — Pp. 93–122. — https://doi.org/10.17239/L1ESLL-2007.07.04.06

[15] Salmerón L., Baccino T., Cañas J.J., Madrid R.I., Fajardo I. Do graphical overviews facilitate or hinder comprehension in hypertext? // Computers & Education. — 2009. — Vol. 53, No. 4. — P. 1308–1319. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.06.013

[16] Duterte J.P. Effective pedagogical strategies for digital learners // EPRA International Journal of Research & Development (IJRD). — 2024. — Vol. 9, No. 9. — P. 50–55. https://doi.org/10.36713/epra18211

[17] Бидайбеков Е.Ы., Ибашова А.Б. Состояние и перспектива развития информатики в начальных классах школ Республики Казахстан // Труды Большого Московского семинара по методике раннего обучения информатике. — Т. 3. — М.: Изд-во РГСУ, 2012. — С. 29–42

[18] Asgarov T., Badalova N. Digital Tools in Education // International Journal of Academic Value Studies (JAVStudies). — 2024. — Vol. 4, No. 12. — P. 37–42. https://doi.org/10.35429/JUP.2024.8.19.1.7

References

[1] Bidaibekov E.Y., Kaldanov B.B. (2024) Vozmozhnost' i celesoobraznost' ispol'zovanija jelektronnyh ierarhicheskih struktur v obuchenii informatike v nachal'noj shkole [Possibility and expediency of using electronic hierarchical structures in teaching informatics in primary school]. Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Serija: Informatizacija obrazovanija, Vol. 21, No. 3, 275–296. (In Russian) https://doi.org/10.22363/2312-8631-2024-21-3-275-2

[2] Katyetova A. (2023) Teaching informatics in primary schools of Kazakhstan: current state, problems, and prospects // INTED2023 Proceedings. Valencia: IATED Academy, 2524–2531. https://doi.org/10.21125/inted.2023.0710

[3] Shi D., Cui W., Huang D., Zhang H., Cao N. (2023) Reverse-engineering information presentations: recovering hierarchical grouping from layouts of visual elements // Visual Intelligence. Vol. 1. https://doi.org/10.1007/s44267-023-00010-1

[4] Valverde-Berrocoso J., Acevedo-Borrega J., Cerezo-Pizarro M. (2022) Educational technology and student performance: a systematic review // Frontiers in Education. Vol. 7. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.916502

[5] Bidaibekov E.Y., Grinshkun V.V. (2000) Komp'iuternoe modelirovanie i vychislitel'nyi eksperiment v pedagogicheskikh issledovanijakh [Computer modeling and computational experiment in pedagogical research]. Informatsionnye tekhnologii v obrazovanii: materialy konferentsii, Moscow, Part II, 163–164. (In Russian)

[6] Zhang T., Mao H., Liu H., Liu Y., Yu M., Wu W., Gensitskiy Y., Wei B., Guan Y. (2023) Parallel Prediction Method of Knowledge Proficiency Based on Bloom's Cognitive Theory // Mathematics. Vol. 11, No. 24, Article 5002. https://doi.org/10.3390/math11245002

[7] Grinshkun V.V. (2003) Ispol'zovanie ierarhicheskih struktur v razrabotke jelektronnyh sredstv obuchenija [Using hierarchical structures in the development of electronic learning tools]. Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Serija: Informatika i informatizacija obrazovanija, No. 1, 30–41. (In Russian)

[8] Orynbayeva L.K., Kosherbaeva A.N., Grinshkun V.V., Bidaibekov E.Y., Kosherbaeva G.N., Bissenbayeva Zh. (2020) Development of electronic resources on the formation of personal qualities of schoolchildren // Journal of Intellectual Disability – Diagnosis and Treatment. Vol. 8, No. 4, 777–783. https://doi.org/10.6000/2292-2598.2020.08.04.21

[9] Ullah Z., Lajis A., Jamjoom M., Altalhi A.H., Saleem F. (2020) Bloom's taxonomy: A beneficial tool for learning and assessing students' competency levels in computer programming using empirical analysis // Computer Applications in Engineering Education. Vol. 28, No. 6. John Wiley & Sons, Ltd.

[10] Bidaibekov E.Y., Lapchik M.P., Nurbekova Zh.K., Sagymbaeva A.E., Zharasova G.S., Ospanova N.N., Isabaeva D.N. (2014) Informatikany oqytu ádisemesi: oqýlyq [Methodology of teaching informatics: a textbook]. Almaty, 384 pages. (In Kazakh)

[11] Aitqazina T.B. (2021) Qazaq tilin oqytuda Bloom taksonomijasyn qoldanudyn tíimdiligi [The effectiveness of applying Bloom's taxonomy in teaching the Kazakh language]. International Young Scholars' Conference: materialdar zhinagy, Suleiman Demirel University. (In Kazakh)

[12] Bloom's taxonomy // Encyclopaedia Britannica. URL: https://www.britannica.com/topic/Blooms-taxonomy (accessed 15 May 2025).

[13] Braaksma M., Rijlaarsdam G., Janssen T. (2017) Writing hypertexts: proposed effects on writing processes and knowledge acquisition // L1-Educational Studies in Language and Literature. Vol. 7, No. 4, 93–122. https://doi.org/10.17239/L1ESLL-2007.07.04.06

[14] Braaksma M., Rijlaarsdam G., Janssen T. (2017) Writing hypertexts: proposed effects on writing processes and knowledge acquisition // L1-Educational Studies in Language and Literature. Vol. 7, No. 4, 93–122. https://doi.org/10.17239/L1ESLL-2007.07.04.06

[15] Salmerón L., Baccino T., Cañas J.J., Madrid R.I., Fajardo I. (2009) Do graphical overviews facilitate or hinder comprehension in hypertext? // Computers & Education. Vol. 53, No. 4, 1308–1319. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.06.013

[16] Duterte J.P. (2024) Effective pedagogical strategies for digital learners // EPRA International Journal of Research & Development (IJRD). Vol. 9, No. 9, 50–55. https://doi.org/10.36713/epra18211

[17] Bidaibekov E.Y., Ibashova A.B. (2012) Sostojanie i perspektiva razvitija informatiki v nachal'nyh klassah shkol Respubliki Kazakhstan [State and prospects for the development of informatics in the primary grades of schools of the Republic of Kazakhstan]. Trudy Bol'shogo Moskovskogo seminara po metodike rannego obuchenija informatike, Vol. 3, Moscow: Izd-vo RGSU, 29–42. (In Russian)

[18] Asgarov T., Badalova N. (2024) Digital Tools in Education // International Journal of Academic Value Studies (JAVStudies). Vol. 4, No. 12, 37–42. https://doi.org/10.35429/JUP.2024.8.19.1.7

ҒТАХР 29.01.07

10.51889/2959-5894.2025.91.3.024

Б.Г. Бостанов[1], Е.З. Уксикбаев[2*], К. Беркімбаев[2], Н.Ә. Шектібаев[2], А.Қ. Түреқұлова[2]

[1]Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[2]Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан
[*]*e-mail: erkebulan.uxikbayev@ayu.edu.kz*

БОЛАШАҚ МҰҒАЛІМДЕРДІҢ STEM БОЙЫНША ДАҒДЫЛАРЫН ДАМЫТУДА ПӘНАРАЛЫҚ БАЙЛАНЫСТЫҢ ЫҚПАЛЫ

Аңдатпа

Бұл зерттеуде болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын дамытуда пәнаралық байланыстың ықпалы қарастырылған. Зерттеу барысында пәнаралық байланыстардың болашақ мұғалімдердің әдістемелік құзыреттілігін арттырудағы тиімділігі талданады және пәндерді интеграциялау арқылы оқытудың шығармашылық, инновациялық тәсілдері анықталады. Сонымен қатар, пәнаралық оқытудың мұғалімдердің пәндік құзыреттіліктерін жетілдіруге әсері, оқушылармен жұмыс жасау әдістерін жақсарту жолдары мен теория мен практиканы ұштастыра отырып интеграциялық тәсілдерді қолдану мүмкіндіктері көрсетілген. Болашақ мұғалімдер STEM технологияларын қолдану арқылы пәнаралық байланысты меңгеріп, пәндерді интеграциялау тәжірибесін жетілдіреді. Бұл олардың әдістемелік құзыреттіліктерін күшейтіп, заманауи технологиялар мен инновациялық тәсілдерді қолдануға мүмкіндік береді. Зерттеу 3-4 курс физика және информатика мұғалімдері арасында жүргізіліп, сауалнама мен сұхбат нәтижелері талданған. Нәтижесінде болашақ мұғалімдердің STEM-нің маңыздылығын түсіну деңгейі әртүрлі екені анықталды.

Түйін сөздер: STEM технологиясы, білім беру, пәнаралық байланыс, оқыту әдістемесі, оқу-әдістемелік дағды.

Б.Г. Бостанов [1], Е.З. Уксикбаев [2], К. Беркімбаев[2], Н.А. Шектибаев [2], А.Қ. Түреқұлова [2]
[1]Казахский национальный женский педагогический университет, г.Алматы, Казахстан
[2]Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г.Туркестан, Казахстан

ВЛИЯНИЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТИ НА РАЗВИТИЕ STEM-НАВЫКОВ У БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ

Аннотация

В данном исследовании рассматривается влияние межпредметных связей на развитие учебно-методических навыков будущих учителей. В ходе исследования проанализирована эффективность межпредметных связей в повышении методической компетентности будущих педагогов, а также определены творческие и инновационные подходы к обучению через интеграцию предметов. Кроме того, показано, как межпредметное обучение способствует совершенствованию предметной компетентности учителей, улучшению методов работы с учащимися и возможности организации учебного процесса с применением интеграционных подходов, объединяющих теорию и практику. Будущие учителя осваивают применение межпредметных связей через использование STEM-технологий, развивают опыт интеграции различных дисциплин. Это усиливает их методическую компетентность и позволяет использовать современные технологии и инновационные методы в организации занятий. Исследование проводилось среди студентов 3–4 курсов образовательных программ по физике и информатике, результаты анкетирования и интервью были проанализированы. В итоге выявлено, что уровень понимания будущими учителями значимости STEM различается.

Ключевые слова: STEM-технология, образование, межпредметные связи, методика преподавания, учебно-методические навыки.

B.G. Bostanov[1], E.Z. Uxikbaev[2], K. Berkimbaev[2], N.A. Shektibaev[2], A.K. Turekulova[2]
[1]Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan
[2]Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan

THE IMPACT OF INTERDISCIPLINARITY ON THE DEVELOPMENT OF STEM SKILLS AMONG FUTURE TEACHERS

Abstract

This study examines the impact of interdisciplinary connections on the development of future teachers' educational and methodological skills. The research analyzes the effectiveness of interdisciplinary links in enhancing methodological competence and identifies creative and innovative teaching approaches through subject integration. In addition, it demonstrates how interdisciplinary teaching contributes to improving subject competence, enhancing methods of working with students, and enabling the effective organization of the learning process by combining theory and practice through integrative approaches. Future teachers acquire skills in applying interdisciplinary connections through the use of STEM technologies and develop experience in integrating various disciplines. This strengthens their methodological competence and provides opportunities to implement modern technologies and innovative methods in teaching. The study was conducted among 3rd- and 4th-year students of physics and informatics education programs, with the results of surveys and interviews analyzed. The findings revealed that the level of understanding of the significance of STEM among future teachers varies.

Keywords: STEM technology, education, interdisciplinary communication, teaching methods, teaching and methodological skills.

Кіріспе

Қазіргі заманда білім беру жүйесі жылдам өзгерістер мен жаңашылдықтарға толы. Осыған байланысты болашақ мұғалімдерге қойылатын талаптар да жоғарылай түсуде. Білім беру үдерісінің негізгі мақсаты – жан - жақты, құзыретті, шығармашылық қабілеті дамыған және инновациялық әдіс-тәсілдерді қолдана алатын мұғалімдерді даярлау. Бұл мақсатқа жетуде пәнаралық байланыстың маңызы зор, себебі ол оқыту процесін тек бір пәнмен шектемей, жан-жақты интеграцияланған білімді қалыптастырады.

Пәнаралық байланыс болашақ мұғалімдерге пәндерді өзара байланыстыра отырып, кең ойлау қабілетін, оқу-әдістемелік дағдыларын дамытуға ықпал етеді. Бұл тәсіл тек қана теориялық білімді емес, оны тәжірибеде қолдану дағдыларын меңгеруге мүмкіндік береді. Оқу-әдістемелік дағдыларды тиімді дамыту – білім беру процесінің негізін құрайтын маңызды факторлардың бірі. Мұғалімнің әртүрлі пәндерді интеграциялау арқылы оқыту тәсілдерін білуі, заманауи білім беру стандарттарына сәйкес әдістемелерді қолдана алуы оқушының жан-жақты дамуына ықпал етеді. Осы зерттеудің өзектілігі болашақ мұғалімдерді даярлауда пәнаралық байланысты қолдану арқылы олардың оқу-әдістемелік дағдыларын жетілдірудің тиімді жолдарын анықтауға негізделеді. Пәнаралық байланыс, яғни әртүрлі пәндер арасында өзара байланысты орнату, STEM - нің негізгі әдіснамалық қағидаларына сәйкес келеді, себебі STEM оқыту көптеген пәндерді бір арнаға тоғыстырып, олардың бірлескен шешімдерін табуды көздейді [1]. Яғни олардың екеуі де білім беру саласында интеграцияланған оқытуды дамытуға бағытталған. Пәнаралық байланыс STEM бағдарламаларында негізгі рөл атқарады, себебі STEM әртүрлі пәндерді (ғылым, технология, инженерия және математика) бір сабақта немесе жоба аясында интеграциялау арқылы оқытуға бағытталған. Мысалы, оқушылар физика мен информатика негіздеріне сүйеніп, технологиялық жобаларды жүзеге асырады немесе ғылыми әдістерді қолдана отырып инженерлік мәселелерді шешеді. Бұл оқыту процесін кешенді және жүйелі етеді. STEM білім беру пәнаралық байланысты қолдана отырып, теориялық білімді практикалық мәселелерді шешуде қолдануды насихаттайды. Оқушылар ғылыми заңдылықтарды және математикалық есептерді практикада қалай қолдануға болатынын үйренеді. Мұндай пәнаралық тәсілдер олардың ойлау қабілетін, креативтілігін және шешім қабылдау дағдыларын дамытады.

Пәнаралық байланыс STEM білім беру жүйесінде маңызды рөл атқарады, өйткені ол әртүрлі пәндерді интеграциялау арқылы білім алушыларға кешенді және практикалық дағдыларды қалыптастыруға мүмкіндік береді. STEM-нің пәнаралық оқыту әдістерімен үйлесуі болашақ мұғалімдердің пәндік құзыреттіліктерін дамытуға, оқыту сапасын арттыруға және білім беру процесін жаңғыртуға үлкен ықпал жасайды.

Информатика мен физиканы оқытуды зерттеу өте маңызды, себебі интеграцияланған ғылым, технология, инженерия мен математика (STEM) ғылымдарымен тығыз байланыста екенін көрсетеді. Физиканы және информатиканы оқыту барысында интеграцияланған STEM-ді оқыту маңыздылыққа ие, өзіндік ерекшеліктер көрсетуі мүмкін. Дегенмен де бұл болжамды толыққанды зерттеу қажет. Толық зерттеу мен зерделеу барысында ғана STEM-нің білім беру саласында ғана емес, барлық салада да маңызы мен ерекшеліктерін анықтай аламыз. Осылайша, бұл зерттеу STEM оқытуды енгізу арқылы информатикаға, физикаға деген қызығушылыққа, соның негізінде пәндік құзыреттілік дамытуды сипаттауға бағытталған [2]. Сондай-ақ STEM көбіне халықаралық зерттеулерде (TIMS, PISA) көрсеткіштері бойынша төмен бал жинау мен ғылым мен техникаға байланысты салаларда жұмысқа орналасатын болашақ мұғалімдер санының азаю мәселелерін шешеді деп күтілуде.

Президентіміз Қ.К. Тоқаевтың 2020 жылғы 1 қыркүйектегі Қазақстан халқына Жолдауында дамыған ел болу, сондай-ақ инженерлік оқытудаға көңіл бөлу керектігі айтылған [3]. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2021 жылғы «Білімді ұлт» сапалы білім беру» ұлттық жобасында сапалы білім беру мен білім алушылардың цифрлық сауаттылығын дамыту мәселесі атап өтілген [4]. Бүгінгі күні болашақ мұғалімдер техникалық мамандықтарға, айталық, робототехника, программалау, 3D модельдеу сияқты мамандықтарға ерекше қызығушылық таныта бастауда. Қызығушылық тек педагогикалық бағытта ғана емес техникалық бағытта да қарқын алуда. Соның салдарынан жаңа техникалық мамандықтар өмірге келіп, STEM білім беруге деген сұраныс артуда.

Бұл терминді алғаш рет американдық ғалым Р.Колвелл 1990 жылдары ұсынды, соның негізінде 2000 жылдардан кейін ғана STEM кең қолданысқа ие бола бастады. АҚШ, Канада, Финляндия және Қытай сияқты алпауыт елдерде STEM бағыты – білім саласының маңызды бағыттарының бірі болды. STEM білім беру бүгінгі күнде кеңінен талқыланып, қолдау тауып, қолданысқа етене енуде. Бұл тақырып төңірегінде еліміз бен шетелдің ғалымдары қызығушылық танытып, ғылыми зерттеулер жүргізуде. Айталық елімізде Алдажарова С.Н., Исаева Г.Б. [5], Бекбауова А.У., Туребаева К.Ж. [6], сондай-ақ шетелдік Martins I., Baptista, M. [7], Roehrig G. H., Dare E. A., Wieselmann J. R. [8], Bunyamin M.A. H., Talib C. A., Ahmad N. J., Ibrahim N. H., Surif, J. [9], Guan N. H., Bunyamin M. A. H., Khamis N. [10], Sulaiman F., Rosales J.J., Kyung L.J. [11], Haryadi R., Pujiastuti H. [12], Nurramadhani A. [13], және т.б өз зерттеулерін жүргізген. Бүгінгі таңда STEM білім беру жылдан жылға дамып, ғылыми тұрғыдан зерттеліп, қанатын кеңге жаюда. STEM – ғылым (S), технология (T), инженерия (E) мен математика (M) интеграциясының аббревиатурасы. STEM көптеген елдерде STEM-ді түсіну мен қазіргі өмірде қолдануға арқылы көптеген мүмкіндіктерге ие болу мақсатында насихатталуда. Бұл дегеніміз ғылым мен математика, технология және инженерия сияқты салаларды біріктіріп, бір мезгілде оқыту және оны практика жүзінде көрсету дегенге саяды. Соңғы уақытта STEM білім беру алыс-жақын шетелде ғана емес, елімізде де жоғары деңгейде даму үстінде. Оны 2016-2019 жылдарға арналған Білім мен ғылымды дамытудың мемлекеттік бағдарламасы аясында білім беру мазмұнын STEM контекстіне өту мысал бола алады. Білім берудің жаңа саясатын іс-жүзінде орындау мақсатында оқу бағдарламасы мен жоспарына математикалық модельдеуді, жаңашыл инновациялық технологияларды, ғылыми инновацияларды дамытуда STEM элементтері енгізіле бастады. Осы бағытты жандандыра түсі мақсатында 2015-2016 жылдан басталған бірінші сынып оқушыларына «Жаратылыстану» пәнін оқыту, жоғарғы сыныптардың жаратылыстану ғылымдарын (информатика, физика, химия, биология мен география) оқып, оны терең меңгеру мен түсінуге негіз болары сөзсіз. Сонымен бірге 2016-2017 оқу жылынан барлық білім беру ошақтары қолжетімді АКТ,

Интернеттің қолжетімділігімен, білім берудің сандық ресурстарымен жабдықталынды. Сонымен қатар 2019 оқу жылынан бастап жоғары сыныптарда оқытылатын жаратылыстану-математикалық пәндердің барлығы ағылшын тілінде оқытылып бастады. Пәнді ағылшын тілінде оқу дегеніміз негізгі мәліметті алғашқы дереккөзден алу алу мен әлемдік білім кеңістігіне етене жақындауға мүмкіндік береді. Білім мен ғылым саласында жасалынып атқан бұл іс-әрекеттер мен енгізіліп жатқан бұл өзгерістердің барлығы да жаһандық білім кеңістігіне емін-еркін түсуге бағытталады.

Зерттеу әдіснамасы

Болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын дамытуда пәнаралық байланыстың ықпалын зерттеу – педагогикалық дайындық процесін жетілдіруде маңызды қадамдардың бірі.

Пәнаралық оқыту мен STEM технологиялары бойынша әдебиеттер мен зерттеулерді талдау нәтижесінде педагогикалық тәжірибеге қатысты заманауи әдістемелер таңдалды.

Әдістемелік талдау бұл процесте қолданылатын тәсілдер мен әдістерді нақтылауға, олардың тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеудегі бірнеше әдістемелік тәсілдер:

Теориялық талдау әдісі. Пәнаралық байланыс пен STEM технологиялары арасындағы байланысты анықтау үшін ғылыми әдебиеттерге, оқулықтарға және зерттеулерге теориялық талдау жүргізілді. Бұл әдіс зерттеудің негізгі ұғымдарын анықтап, олардың бір-бірімен байланысын көрсетуге мүмкіндік берді.

Салыстырмалы талдау әдісі. Әр түрлі оқу бағдарламалары мен әдістемелік құралдарды салыстыру арқылы STEM технологияларын қолдану кезінде пәнаралық байланыстың қаншалықты маңызды рөл атқаратыны анықталады. Бұл әдіс пәнаралық байланысты қолдану арқылы дәстүрлі әдістермен салыстырғанда оқытудың тиімділігін анықтауға көмектеседі.

Эмпирикалық зерттеу әдісі. Болашақ мұғалімдер мен білім беру мекемелерінде STEM және пәнаралық байланысты қолдану бойынша зертханалық жұмыстар мен жобалық тапсырмалар арқылы оқыту нәтижелеріне бақылау жүргізіледі. Бұл зерттеу барысында мұғалімдердің дағдылары мен пәндік құзыреттіліктерінің қалай дамығаны зерттелді.

Эксперименттік зерттеу әдісі. Пәнаралық байланыстың болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларына ықпалын зерттеу мақсатында оқу процесінде тәжірибелік эксперименттер жүргізу. Эксперимент нәтижелері пәнаралық интеграцияның оқу үдерісіне тигізетін нақты әсерін анықтауға көмектеседі.

Сауалнама және интервью әдісі. Болашақ мұғалімдер мен оқытушыларға сауалнама жүргізіліп, олардың пәнаралық байланыс пен STEM оқыту әдістеріне қатысты көзқарастары мен тәжірибелері жиналады. Интервьюлер арқылы пән мұғалімдерінің тәжірибелері мен осы әдістемелердің болашақ мұғалімдердің білім сапасына әсері туралы мәліметтер алынады.

Зерттеу барысында пәнаралық байланыстың болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын дамытуға тікелей ықпалы байқалады. Мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын дамытуда пәнаралық байланыстың ықпалы оқу үдерісінде маңызды рөл атқарады:

Пәндерді біріктіру. Әртүрлі пәндерді оқытуда өзара байланыс құру болашақ мұғалімдерге әртүрлі білім салаларын біртұтас жүйе ретінде түсінуге мүмкіндік береді. Бұл олардың оқу үдерісіндегі жан-жақтылығын және әдістемелік дағдыларын тереңдетеді.

Шығармашылық тапсырмалар. Пәнаралық байланыстарды қолдану барысында шығармашылық тапсырмалар арқылы мұғалімдер өз пәндерін жаңа әдістермен түсіндіруге үйренеді, бұл оқу-әдістемелік дағдыларын дамытуда маңызды рөл атқарады.

Теория мен практиканы біріктіру. Пәнаралық байланыс арқылы болашақ мұғалімдер теориялық білімдерін тәжірибемен үйлестіріп, оқу-әдістемелік дағдыларын жетілдіреді. Теория мен практиканы байланыстыру олардың кәсіби құзыреттіліктерін арттырады.

Әдістемелік талдау нәтижесінде пәнаралық байланыс болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын тиімді дамытуға ықпал ететін маңызды әдістемелік құрал екендігіне көз жеткіземіз.

STEM интеграцияланған оқыту болғандықтан да, бірнеше пәндердің тұжырымдамасын біріктіре алады. Соның негізінде информатика, физика мен математика, инженерия мен технологияны меңгеру қиынға соқпайды. Осы арқылы болашақ мұғалімдердің пәндік құзыреттіліктерін қалыптастырып, пәнге деген, техникалық мамандыққа деген қызығушылығын қалыптастыра аламыз.

Зерттеу нәтижелер

Болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын дамыту үшін пәнаралық байланыстың маңызды рөл атқаратындығына шолу жасау, талдау жасау бұл зерттеуімізде негізгі басымдықты алды. Болашақ мұғалімдер алған білімін практикамен байланыстырып, алған білімін жеңіл түрде қорытып, қолдана алуға негізделген STEM білім беруді қаншалықты білетіні білу мақсатында алдымен болашақ мұғалімдерден сауалнама алынды. Сауалнамада жалпы саны 10 сұрақ STEM бойынша берілді. Іріктелінген болашақ мұғалімдерден келесі кезеңде арнайы сұхбат жүргізілді. Сұхбаттасу барысында болашақ мұғалімдер топтастырылып өткізілді, жалпы саны 3 сұрақ талқылауға берілді.

Онлайн және офлайн жүргізілген сауалнамаға 2024 жылдың қыркүйек айында информатика, физика білім беру бағдарламасының 3 және 4 курс болашақ мұғалімдеріне жүргізілді. Сауалнамаға қатысқан болашақ мұғалімдердің жалпы саны 55 болды. Болашақ мұғалімдердің 65 %-ы сұрақтарға өз еріктерімен жауап берді. Бұл дегеніміз жалпы 36 білім алушы деген сөз. Сауалнама қатысушыларға жеңіл әрі оңай, ыңғайлы түрде жүргізілді. Келесі кезең зерттеуді нақтылау мақсатында таңдалып іріктелген қатысушылармен сұхбаттасу арқылы пысықталды. Сұхбаттасуға жалпы саны 20 болашақ мұғалімдер қатысты. Жиырма болашақ мұғалімдер төртке бөлініп, әрбір бес қатысушымен сұхбат шамамен 10-15 минутқа созылды. Онлайн қатысушылар үшін желілік қосымша көмегімен бейне қоңырау арқылы да қосылушылар болды.

Қатысушылардың жауаптары өзара бір-бірімен салыстырылып, ұқсастықтары мен қайталанулары ескерілді. Осы сауалнаманың нәтижесінде болашақ мұғалімдердің көпшілігі STEM туралы білетінін STEM нені білдіретінін көрсетті.

Енді осы 10 сұрақтан құралған сауалнама бойынша талдау жүргізейік. Жүргізілген сауалнаманың алғашқы сұрағы бойынша болашақ мұғалімдердің жауабы 1-суретте көрсетілген. Алынған диаграмма бойынша болашақ мұғалімдердің барлығы STEM-нен хабары бары белгілі болды. Болашақ мұғалімдердің 98%-ы хабарының бар екенін көрсетсе, 2%-ы ғана жауап беруге қиналды.

Сурет 1. STEM білім беру бойынша сауалнама көрсеткіші

Сауалнамаға барлығы *54* болашақ мұғалім қатысты, Қорытындысында 98% студент STEM білім беруге оң көзқарас білдірді, 0% студент «Жоқ» деп жауап берді, 2% студент жауап беруге қиналған. Бұл нәтижелер болашақ мұғалімдердің басым бөлігі STEM білім беруге дайын екендігі 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. STEM білім беру бойынша сауалнама нәтижесі

Жауап	*Ия*	*Жоқ*	*Жауап беруге қиналамын*
Болашақ мұғалімдер саны	*54*	*0*	*1*
%	*98*	*0*	*2*

Алынған сауалнаманың екінші сұрағы бойынша болашақ мұғалімдердің жауабы 2-суретте көрсетілген. Алынған диаграмма бойынша болашақ мұғалімдердің 95%-ы STEM-нің аббревиатурасын білетінін көруге болады. Ал 3%-ы ғана жауап беруге қиналды.

Сурет 2. STEM аббревиатурасы бойынша сауалнама көрсеткіші

Сауалнама нәтижесінде 95% студент STEM аббревиатурасын біледі, 2% студент білмейді, 3% студент жауап беруге қиналған. Бұл нәтиже болашақ мұғалімдердің көпшілігі STEM ұғымынан хабардар екендігі 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2. Сауалнамадағы STEM аббревиатурасын білу нәтижесі

Жауап	*Ия*	*Жоқ*	*Жауап беруге қиналамын*
Болашақ мұғалімдер саны	*52*	*1*	*2*
%	*95*	*2*	*3*

Сауалнаманың үшінші сұрағы бойынша болашақ мұғалімдердің жауабы 3-суретте көрсетілген. Алынған диаграмма бойынша болашақ мұғалімдердің 31%-ы STEM білім беруді әлеуметтік желілер мен интернет арқылы білетінін көруге болады. Ал 65%-ы ата-ана, оқытушы мен достар арқылы білгенін, тек 4%-ы журналдар мен кітаптар арқылы білетінін көрсетті. Алынған нәтиже болашақ мұғалімдердің қажетті мәліметтерді бірінші орында газет, журналдардан емес, интернет желісінен алатынын көруге болады.

Сурет 3. STEM білім берудің насихатталуы бойынша сауалнама көрсеткіші

STEM туралы ақпаратты 65% студент ата-анасы, оқытушысы немесе достары арқылы алған, 31% студент ақпаратты әлеуметтік желілер мен интернеттен білген, Тек 4% студент STEM туралы мәліметті журналдар мен кітаптардан алған, Бұл нәтиже ақпараттың негізгі көзі - жақын орта мен мұғалімдер екенін көрсетеді, ал интернеттің де рөлі айтарлықтай екендігі 3-кестеде көрсетілген.

Кесте3. STEM білім берудің насихатталуы туралы ақпарат көрсеткіш нәтижесі

Жауап	*Әлеуметтік желілер мен интернет*	*Ата-ана, оқытушы мен достар*	*Журналдар мен кітаптар*
Болашақ мұғалімдер саны	*17*	*36*	*2*
%	*31*	*65*	*4*

Төртінші сұрақ бойынша болашақ мұғалімдер STEM білім беруді жан-жақты ашуға тырысты. STEM – ді аталған төрт пәннің өзара тығыз байланысы ретінде түсіндірді. Ал осы пәндерді толық меңгеріп, тиімді қолдана алса жаңа дүние жасау мүмкіндігінің де жоғары екенін алдыға тартты. Бұл дегеніміз цифрлық технология мен цифрландыру қарқынды дамыған өзгермелі әлемде бәсекеге қабілетті болу мүмкіндігі. Сондай-ақ болашақ мұғалімдер өз салалары бойынша мысал келтіруге тырысты. Айталық, физиканың механика, электромагнетизм бөлімдерінде қолдан жасаған техникаларын алдыға тартты. Ол зымыран, колидоскоп, гидравликалық кран, Герон фантаны және т.б. Ғылыми жобаларына негіз болған тақырыптары мен олардың информаика мен физикадағы қолданысын, STEM – мен байланысын айтып өтті.

Бесінші сұрақ бойынша STEM – нің мақсаты күнделікті өмірде қолдана білу деп жауап бергенмен, олардың STEM туралы түсініктері түсініксіз болды. STEM атауымен 1990 жылдан кейін ғана қолданыла бергенменде, аталған түсінік пәнаралық байланыс ретінде әлдеқашан қолданыста болған. Негізгі мақсатыда білім көкжиегін кеңейту мен теориядан практикаға өту деп қарастырылады.

Алтыншы сұрақ бойынша қатысушылардың STEM маңыздылығы туралы ойлары зерттеу салаларына байланысты әр түрлі болды. STEM атауы төрт қана ғылымды біріктіргенменде, кез келген жаңа дүниенің астарында қаншама саланың өз алдына еңбегі жатыр. Жаңа техника болсын, технология болсын онда тек инженерлердің ғана еңбегі бар деп айту ақылға сиымсыз. Оның артында инженердің де, математиктің де, әрбір жаратылыстану ғылымдарының да, IT

саласы мамандарының, техник пен дизайнерлер тұр. Кез келген жаңалық бір ғана ғылымның емес, барлық саланың жеңісі мен жемісі.

Жетінші сұрақ бойынша STEM – нің өз мамандықтарына байланысын болашақ мұғалімдердің көпшілігі жалпылама түрде түсіндірді. Физика – ол ғылым, ал ғылым STEM – нің бір бөлігі деп қарастырды. Ал болашақ мұғалімдердің өте аз бөлігі ғана өз мамандықтарымен тығыз байланыстар іздеп, оған толыққанды түсіндіруге тырысты.

Сегізінші сұрақ бойынша интеграция туралы айтқанмен, оның сипатын егжей-тегжейлі түсіндіріп бере алмады. Интеграция – субъектілерді біріктіру, олардың арасындағы байланысты дамыту, соның негізінде ынтымақтастық іс-әрекеттерді тереңдету. Ал STEM – гі интеграция оқу пәндерінің өзара байланыс негізінде, олардың бірігуін, шоғырлануын, ынтымақтасуын саналы түрде ұғыну.

Тоғызыншы сұрақ бойынша бұл пәннің қалай біріктірілгенін түсіндірудің орнына, әр пәннің маңыздылығын атап өткен. STEM технологиясы техника мен өнердің өзара қосылуы, бірігу, синтезі негізінде пайда болған. Бұл нақты ғылымдардың, олар жаратылыстану ғылымдары, математика, инженерия, технологияның негізгі принциптерін бір мезгілде зерттеуге негізделген жан-жақты оқыту түрі болып табылады.

Оныншы сұрақ бойынша болашақ мұғалімдертің ойы әр түрлі болды. Жартысына жуығы оны мектеп қабырғасынан бастау керек екендігін қолдады. Сондай-ақ өте аз бөлігі оны балабақшадан бастап қолданудың артықтығы болмайтынын алдыға тартты. Болашақ мұғалімдердің қалған бөлігі ғана оны университет қабырғасында өткізілуін қолдайтынын білдірді.

Келесі кезеңде зерттеуді нақтылау мақсатында таңдалып қатысушылармен сұхбаттасу жүргізілді. Әрбір бес қатысушымен сұхбат шамамен 10-15 минутқа созылды және сұхбат барысында қарастырылған тақырыптар бойынша болашақ мұғалімдер ой бөлісті. Қарастырылған тақырыптар:

Тақырыбы: STEM арасындағы күрделі байланыс

Ғылым, технология, инженерия мен математика арасында күрделі байланыс бар және ол байланыс техникаға келіп тіреледі. Аталған ғылымдар туралы білімдер тұтас бір жаңа техниканың жасалуына негіз болады. Аталған ғылымдар туралы алған білімдер тек теориялық тұрғыда қалмай, практикада жүзеге асатын болады. Соның негізінде білім мен ғылым өзінің айнымас бірлігін, тұтастығын көрсетеді.

Тақырыбы: S-T-E-M бөлек - бөлек ғылым ретінде

Әрбір ғылым өзінше бір жеке әлем. Бірін-бірімен салыстыру мен алмастыруға келмейтін. Аталған ғылым салалары бірікпесе де, өз саласында қарқынды даму мен түбегейлі өзгерістер жасай алады.

Ғылым – уақыт пен кеңістікте зерттей алатын нәрселердің заңы мен қағидасын, құрылым мен тәртібін түсіндіріп, бақылау мен эксперимент арқылы жүргізіліп, математиканы қолданып нақты әрі жүйелі түсінік қалыптастыратын сала.

Технология – Белгілі бір нәрсені өңдеу мақсатында жүзеге асатын іс-әрекеттердің тізбесі. Өндіру мен сақтау, бақылау мен тасымалдау турасындағы өндірістік үдерістің бір бөлігі.

Инженерия – туындаған мәселені шешу үшін ғылым мен математиканы қолдану. Инженерлер заттардың қалай жұмыс жасайтынын анықтайды және ғылыми жаңалықтардың тәжірибеде қолданылуын анықтайды.

Математика – ақиқат дүниенің арасындағы сандық қатынастары мен кеңістіктегі пішіндер туралы ғылым.

Тақырыбы: STEM оқыту технологиясы ретінде

STEM білім беру саласында ең маңызды да өзекті, қажетті технологиялардың бірі. Аталған технологияны қолдану негізінде оқушыладың, болашақ мұғалімдердің ғылым мен техникаға қазығушылығы артып, пәндік құзыреттілігі қалыптасып, тартысты таласта алдыға шығып, білімі мен тәжірибесін қатар алып, көшбасшылық сатысына шығушылар саны артуда. Бұл дегеніміз өз саласында ғана емес кез келген салада биік жетістікке жетуді білдіреді.

STEM арасындағы интеграция әр пәннің негізгі мазмұны туралы білімге де, пәнаралық процестерге де бағытталуы керек, сондықтан бұл пәндерді жай біріктіру үшін ғана емес. STEM білім беру болашақ мұғалімдерге STEM тұжырымдамалары мен дағдыларының интеграциясын нақты өмірге қатысты көп салалы жағдайларға қолдануға мүмкіндіктер дайындауы керек. STEM білім берудің нақты әрі ақылға қонымды тұжырымдамасын ұсынатын сапалы STEM болашақ мұғалімдер даярлау үшін тиімді STEM білім беру нұсқаулар әзірлеу қажеттігін көрсетеді.

Дискуссия

Зерттеу нәтижелері болашақ мұғалімдердің STEM білім беру саласында дағдыларды дамыту процесінде пәнаралық байланыстың маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Сауалнама нәтижелерінен байқалғандай, респонденттердің көпшілігі STEM ұғымынан хабардар, бұл олардың кәсіби даярлық деңгейінің жоғары екендігін және жаңа педагогикалық трендтерді меңгеруге дайын екендігін дәлелдейді. Сонымен қатар, зерттеу барысында болашақ педагогтардың білімін қалыптастыруда ақпарат көздерінің әртүрлілігі маңызды фактор ретінде анықталды: басты ақпарат көзі ретінде ата-ана, оқытушы және достар аталғанымен, интернет пен әлеуметтік желілердің де үлесі жоғары екендігі байқалады. Бұл деректер болашақ мұғалімдер үшін пәнаралық байланыстың заманауи цифрлық құралдармен ұштасуы қажеттілігін көрсетеді.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – болашақ мұғалімдердің STEM бойынша дағдыларын дамытудағы пәнаралық байланыстың маңызын айқындау. Сауалнама нәтижелері көрсеткендей, респонденттердің басым көпшілігі STEM ұғымымен таныс (95%), бұл олардың білім беру жүйесіндегі жаңа бағыттарға бейімділігін көрсетеді. Сонымен қатар, STEM туралы ақпарат көздері арасында жетекші орынды ата-ана, оқытушылар мен достардың ықпалы (65%) иеленсе, интернет пен әлеуметтік желілердің үлесі де жоғары (31%) екендігі байқалды. Бұл болашақ мұғалімдерді даярлау барысында пәнаралық байланыстың тек пәндік интеграциямен шектелмей, цифрлық технологиялармен тығыз байланыста болуы қажеттігін дәлелдейді.

Бұл зерттеу пәнаралық байланыстың болашақ мұғалімдердің STEM бойынша дағдыларын дамытудағы рөлін дәлелдейді. Алынған нәтижелер STEM білім беру саясатын жетілдірудің, оқу бағдарламаларын интеграциялаудың және жаңа педагогикалық технологияларды қолданудың қажеттілігін айқындайды. Пәнаралық байланыс болашақ педагогтардың кәсіби даярлығын жаңа деңгейге көтеріп, XXI ғасыр талаптарына сай бәсекеге қабілетті маман қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын дамытуда пәнаралық байланыстың рөлі мен маңыздылығын зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бұл әдіс педагогикалық үдерістің сапасын арттырудың тиімді жолдарының бірі болып табылады. Пәнаралық байланыс білім беруді біртұтас жүйе ретінде қарастыруға, мұғалімдердің әртүрлі пәндер арасындағы өзара байланысты түсінуіне және оны білім беру барысында тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

Пәнаралық интеграция болашақ мұғалімдердің әдістемелік құзыреттілігін дамытып, оларды шығармашылық және аналитикалық тұрғыда ойлауға баулиды. Оқыту барысында пәнаралық байланыс элементтерін қолдану мұғалімдерге білімді кешенді түрде беру, проблемаларды түрлі қырынан қарастыру, және оқушылардың ойлау қабілетін дамыту мүмкіндігін арттырады. Сонымен қатар, бұл тәсіл олардың пәндік білімдерін тереңдетіп қана қоймай, жаңа инновациялық технологиялар мен оқыту әдістемелерін игеруге де ықпал етеді.

Зерттеу барысында пәнаралық байланыс арқылы болашақ мұғалімдердің оқу-әдістемелік дағдыларын дамыту олардың кәсіби даярлығының маңызды компоненті екендігі анықталды. Бұл әдістің тиімділігі педагогтарды жан-жақты дайындау үдерісін жетілдіруде маңызды орын алады. Сондықтан, білім беру жүйесінде пәнаралық байланыстарды кеңінен қолдану болашақ мұғалімдерді даярлаудағы негізгі бағыттардың бірі ретінде қарастырылуы тиіс.

Зерттеу нәтижелері болашақ мұғалімдердің STEM – нің кіріктірілген сипаты мен пәнаралық байланыстар туралы түсінігін ілгерілетудің маңыздылығын көрсетті. STEM мұғалімдерін даярлау кезінде нұсқаулықтар мен іс-шаралар STEM туралы түсініктерін дамытуға мүмкіндік бере алуы қажет. Біріншіден, STEM туралы кіріспе ұғымдар толық түсіндірілуі керек, сондай-ақ онда қалай оқыту керектігін түсіну қажет. Болашақ мұғалімдердің STEM-де бір немесе бірнеше пәндер бойынша белгілі бір білімге ие болуы қажет, ол дегеніміз мазмұнды біліммен де, үдерістермен де, төрт негізгі пәннен әзірленген пәнаралық процестермен де байланысты. Екіншіден, STEM білім беру мақсаттары білім беру мақсаттарына сүйене отырып, болашақ мұғалімдер үшін түсінікті әрі ыңғайлы болуы тиіс. STEM білім беру бағдарламасы жаратылыстану, технология және математика пәндерінен өзгеше болуы керек, себебі ол аталған пәндер интеграциясынан тұрады. Ол болашақ мұғалімдердің STEM – нің негізгі идеялары мен интеграцияланған әр пәннің өзіндік жеке ерекшеліктерін түсіну үшін қолдануды қажет етеді.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1]Сманова Б.М. Пәнаралық байланыстарды қолдану арқылы мұғалімдердің әдістемелік құзыреттілігін дамыту. Оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті баспасы, 2019. – 190б.

[2]Аймағамбетова Қ.А. Мектепте пәнаралық байланыс негізінде болашақ мұғалімдердің әдістемелік дағдыларын қалыптастыру. Білім және ғылым, 2017. - 35-39 б.

[3]Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың Қазақстан халқына Жолдауы. 2020 жылғы 1 қыркүйек, «Жаңа жағдайдағы Қазақстан: іс-қимыл кезеңі». https://www.akorda.kz/kz/addresses/addresses_of_president/memleket-basshysy-kasym-zhomart-tokaevtyn-kazakstan-halkyna-zholdauy-2020-zhylgy-1-kyrkuiek

[4]«Білімді ұлт» сапалы білім беру» қлттық жобасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2021 жылғы 12 қазандағы №726 қаулысы. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2100000726

[5]Алдажарова С. Н., Исаева Г. Б. «Мектепте пәнаралық байланыста физиканы оқытудағы STEM білім берудің рөлі» Торайғыров университетінің ғылыми журналы. ISSN 2710-2661 №4 (2023) Павлодар 55-64 б., https://doi.org/10.48081/UIXP1689, https://www.mendeley.com/catalogue/2db452f5-6267-3139-996b-9181848e04ee/

[6]Бекбауова А.У., Туребаева К.Ж. «Оқушының пәнге құштарлығын арттыруда STEM технологиясын қолдану» Абай атындағы ҚазҰПУ-ң хабаршысы «Педагогика ғылымдары» сериясы, №4(76), 2022 ж.227-239 б., https://doi.org/10.51889/2272.2022.62.78.023, https://www.mendeley.com/catalogue/40c61cef-5f67-3f4d-ae55-e5bbef1b69a8/

[7]Martins, I., & Baptista, M. (2024). Teacher Professional Development in Integrated STEAM Education: A Study on Its Contribution to the Development of the PCK of Physics Teachers. Education Sciences, 14(2). https://doi.org/10.3390/educsci14020164, https://www.mendeley.com/catalogue/628d6523-8fc6-3148-9464-1644340820ac/

[8]Roehrig, G. H., Dare, E. A., Wieselmann, J. R., & Ring-Whalen, E. A. (2022). STEM curriculum development and implementation. In International Encyclopedia of Education: Fourth Edition (pp. 153–163). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.13056-8, https:/ /www.mendeley.com /catalogue/fc2082ba-cd45-375a-8cbe-8a19e141ae24/

[9]Bunyamin, M. A. H., Talib, C. A., Ahmad, N. J., Ibrahim, N. H., & Surif, J. (2020). Current teaching practice of physics teachers and implications for integrated STEM education. Universal Journal of Educational Research, 8(5 A), 18–28. https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081903, https://www.mendeley.com/catalogue/83fb7333-fd7e-3110-bfd0-8f2bc8981472/

[10]Guan, N. H., Bunyamin, M. A. H., & Khamis, N. (2020). Perspectives of STEM education from physics teachers' points of view: A quantitative study. Universal Journal of Educational Research, 8(11 C), 72–82. https://doi.org/10.13189/ujer.2020.082309, https://www.mendeley.com/catalogue/3b6eedb7-27ab-3cff-b929-9f5a7744dc0b/

[11]Sulaiman F., Rosales J.J. & Kyung L.J., 2023 – Sulaiman F., Rosales J.J. & Kyung L.J. The effectiveness of the integrated stem-pbl physics module on students' interest, sensemaking and effort. Journal of Baltic Science Education, 22(1): 113–129. https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.113

[12]Haryadi R. & Pujiastuti H. 2022 – Haryadi R. & Pujiastuti H. Enhancing Pre-service Physics Teachers' Higher Order Thinking Skills Through STEM-PjBL Model. International Journal of STEM Education for Sustainability, 2(2): 156–171. https://doi.org/10.53889/ijses.v2i2.38

[13]Nurramadhani A., 2020 – Nurramadhani A. Analysis of Students' STEM Literasy Based on Gender Differences in Science Learning. JHSS (Journal of humanities and social studies), 4(1). Pp. 21–25. https://doi.org/10.33751/jhss.v4i1.1903

References

[1]Smanova B.M. (2019) Panaralyq baılanystardy qoldanu arqyly mugalimderdin adistemelik quzyrettiligin damyty [Developing teachers methodological competence through the use of interdisciplinary connections]. Oqy quraly. Almaty: Qazaq unıversıteti baspasy, 190. (In Kazakh)

[2]Aımangambetova Q.A. (2017) Mektepte panaralyq baılanys negizinde bolashaq mugalimderdin adistemelik dagdylaryn qalyptastyry [Formation of methodological skills of future teachers based on interdisciplinary communication at school]. Bilim jane gylym, 35-39. (In Kazakh)

[3]Memleket basshysy Qasym-Jomart Toqaevtyń Qazaqstan halqyna Joldauy. 2020 jylǵy 1 qyrkuıek, "Jańa jaǵdaıdaǵy Qazaqstan: is-qımyl kezeni" https://www.akorda.kz/kz/addresses/addresses_of_president/memleket-basshysy-kasym-zhomart-tokaevtyn-kazakstan-halkyna-zholdauy-2020-zhylgy-1-kyrkuiek (In Kazakh)

[4]"Bilimdi ult" sapaly bilim beru" ulttyq jobasyn bekitu turaly Qazaqstan Respublıkasy Ukimetinin 2021 jylgy 12 qazandagy №726 qaulysy. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2100000726 (In Kazakh)

[5]Aldajarova S. N., Isaeva G. B. "Mektepte panaralyq baılanysta fızıkany oqytudagy STEM bilim berudin roli" ["Mektepte panaralyk baylanysta physics okytudagy STEM bilim berudin roli"]. Toraıgyrov unıversıtetinin gylymı jurnaly. ISSN 2710-2661 №4 (2023) Pavlodar 55-64 b., https://doi.org/10.48081/UIXP1689, https://www.mendeley.com/catalogue/2db452f5-6267-3139-996b-9181848e04ee/ (In Kazakh)

[6]Bekbauova A.Y., Turebaeva K.J. (2022) "Oqyshynyn pange qushtarlygyn arttyryda STEM tehnologıasyn qoldanu" ["Okushynyn pənge ққshtarlyғyn arttyruda STEM technology son of koldanu"]. Abaı atyndagy Qazupg-n habarshysy "Pedagogıka gylymdary" serıasy, №4(76), 227-237. https://doi.org/10.51889/2272.2022.62.78.023, (In Kazakh)

[7]Martıns, I.Jáne Baptısa, M. (2024). STEAM Integrasıalanǵan Bilim berýindegi muǵalimderdiń Biliktiligin Arttyrý: Onyń FIZIKA Muǵalimderiniń PKK Damýyna qosqan Úlesi týraly Zertteý. Bilim Týraly Ǵylymdar, 14 (2). https://doi.org/10.3390/educsci1402016, https://www.mendeley.com/catalogue/628d6523-8fc6-3148-9464-1644340820ac/

[8]Rerıg, Dj.H., Dare, E. A., Vızelmann, Dj. R. Jáne Rıng-Ýeılen, E. A. (2022). STEM oqý baǵdarlamalaryn ázirleý jáne engizý. Halyqaralyq Bilim Ensıklopedıasynda: Tórtinshi Basylym (153-163 better). Elzeve. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.13056-8, https://www.mendeley.com/catalogue/fc2082ba-cd45-375a-8cbe-8a19e141ae24/

[9]Býnámın, M.A. H., Talıb, K. A., Ahmad, Nú-Jersı, Ibrahım, Nú-Jersı Jáne Sýrıf, Dj. (2020). Fızıka muǵalimderiniń qazirgi pedagogıkalyq praktıkasy jáne STEM ıntegrasıalanǵan bilim berýdiń saldary. Bilim Berýdi zertteýdiń ámbebap Jýrnaly, 8 (5 A), 18-28. https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081903, https://www.mendeley.com/catalogue/83fb7333-fd7e-3110-bfd0-8f2bc8981472/

[10]Gýan, Nú-Iork, Býnámın, M.A. H. Jáne Hamıs, Nú-Iork (2020). FIZIKA muǵalimderiniń KÓZQARASY boıynsha STEM bilim berý perspektıvalary: sandyq zertteý. Bilim Berýdi zertteýdiń ámbebap Jýrnaly, 8 (11 S), 72-82., https://doi.org/10.13189/ujer.2020.082309, https://www.mendeley.com/catalogue/3b6eedb7-27ab-3cff-b929-9f5a7744dc0b/

[11]Sýlaıman F., Rozales Dj. Dj. Jáne Ken L. J., 2023 – Sýlaıman F., Rozales Dj. Dj. Jáne Ken L. J. stem-pbl ıntegrasıalanǵan fızıka modýliniń oqýshylardyń qyzyǵýshylyǵyna, sensasıalyq qabiletterine jáne kúsh-jigerine tıimdiligi. Baltyq Ǵylymyndaǵy Bilim jýrnaly, 22 (1): 113-129. https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.113

[12]Haryadi R. & Pujiastuti H. 2022 – Haryadi R. & Pujiastuti H. STEM-PjBL Modeli arqyly Fızıka Páni Muǵalimderiniń Joǵary Deńgeıli Oılaý Daǵdylaryn jetildirý. Turaqtylyq ÚSHIN STEM Bilim berýdiń halyqaralyq Jýrnaly, 2 (2): 156-171. https://doi.org/10.53889/ijses.v2i2.38

[13]Nýrramadhanı A., 2020 – Nýrramadhanı A. Jaratylystaný Ǵylymdaryn Oqytýdaǵy Genderlik Aıyrmashylyqtarǵa negizdelgen STÝDENTTERDIŃ STEM Saýattylyǵyn Taldaý. JHSS(gýmanıtarlyq Jáne áleýmettik Zertteýler Jýrnaly), 4 (1). Rr. 21-25. https://doi.org/10.33751/jhss.v4i1.1903

ҒТАХР 20.01.04

10.51889/2959-5894.2025.91.3.025

Д.С. Найманова[1*], Г.М. Ткач[1], А.З. Даутова[1], А.Е. Жаксылыков[1]

[1] Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан.
[*]*e-mail: dina_m_c@mail.ru.*

IT МАМАНДЫҒЫ СТУДЕНТТЕРІНІҢ ОҚУ ҮЛГЕРІМІ МЕН МАНСАПТЫҚ ТРАЕКТОРИЯСЫН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БОЛЖАУ МОДЕЛІ

Аңдатпа

Цифрлық білім беру технологияларының қарқынды дамуы және жоғары оқу орындарында модульдік бағдарламаларды енгізу жағдайында, академиялық деректерді терең талдауды жүзеге асыруға және студенттердің оқу үлгерімі мен мансаптық қолдауын арттыруға бағытталған, болжамды модельдерді қалыптастыруға қабілетті, интеллектуалды жүйелерге қажеттілік артып отыр. Бұл зерттеу IT мамандығы студенттерінің академиялық үлгерімі мен мансаптық траекториясын болжаудың факторлық талдау әдісіне негізделген интеллектуалды моделін жасауға арналған. Модель кіріс деректер ретінде модульдік білім беру бағдарламаларының негізгі пәндеріндегі бағаларды пайдаланады. «Теориялық дайындық» және «Тәжірибелік дайындық» екі басым компонент ретінде түсіндірілетін жасырын фактор құрылымын анықтау үшін негізгі компоненттік талдау (PCA) пайдаланылды. Алынған факторлық бағалау мансаптық нәтижелерді жіктеудегі жоғары дәлдік көрсеткіштерін көрсететін логистикалық регрессия модельде, мүмкіндіктер ретінде пайдаланылады (ROC-AUC ≈ 0,95). Бұл бинарлы болжамды (сәттілік/сәтсіздік) орындауға ғана емес, сонымен қатар білім беру модульдерінің студенттің мансаптық траекториясына қосқан үлесін сандық бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері ұсынылған модельдің академиялық деректердегі жасырын тәуелділіктерді анықтауға, даму траекторияларына сәйкес студенттерді профильдеуге және мұғалімдер мен оқу жоспарының үйлестірушілеріне түсіндіруге болатын ұсыныстар беруге қабілетті, білім беруді талдау құралы ретінде қолдану мүмкіндігін растайды. Ұсынылған тәсілді масштабтауға және оқытуды басқару жүйелеріне (LMS), сандық мансаптық бағдарлау платформаларына және студенттердің құзыреттілігін арттыруға қолдау көрсету жүйелеріне біріктіруге болады.

Түйін сөздер: болжамды аналитика, академиялық жетістікті болжау, мансап траекториялары, факторлық талдау, негізгі компоненттерді талдау, машиналық оқыту, IT білім беру.

Д.С. Найманова[1], Г.М. Ткач[1], А.З. Даутова[1], А.Е. Жаксылыков[1]

[1] Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ И КАРЬЕРНОЙ ТРАЕКТОРИИ СТУДЕНТОВ IT СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Аннотация

В связи с быстрым развитием цифровых образовательных технологий и внедрением модульных программ в высших учебных заведениях растет потребность в интеллектуальных системах, способных проводить глубокий анализ академических данных и генерировать прогностические модели, направленные на повышение успеваемости студентов и поддержку карьерного роста. Целью данного исследования является разработка интеллектуальной модели на основе факторного анализа для прогнозирования академической успеваемости и карьерной траектории студентов, изучающих ИТ. В качестве входных данных модель использует оценки по основным предметам модульных образовательных программ. Для выявления латентной факторной структуры использовался анализ главных компонент, при этом «Теоретическая подготовка» и «Практическая подготовка» интерпретировались как два доминирующих компонента. Полученные факторные баллы используются в качестве вероятностей в модели логистической регрессии, которая показывает высокую точность классификации результатов карьеры (ROC-AUC ≈ 0,95). Это позволяет не только сделать бинарный прогноз (успех/неудача), но и количественно оценить вклад образовательных модулей в карьерную траекторию студента. Результаты исследования подтверждают потенциал предлагаемой модели как инструмента образовательного анализа, способного выявлять скрытые зависимости в академических

данных, профилировать учащихся в соответствии с траекториями развития и предоставлять интерпретируемые рекомендации учителям и координаторам учебных программ. Предлагаемый подход можно масштабировать и интегрировать в системы управления обучением (LMS), цифровые платформы профориентации и системы поддержки развития компетенций учащихся.

Ключевые слова: прогностическая аналитика, прогнозирование академических достижений, карьерные траектории, факторный анализ, метод главных компонент, машинное обучение, ИТ-образование.

D. Naimanova[1], G. Tkach[1], A. Dautova[1], A. Zhaxylykov [1]
[1] Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

MODEL OF INTELLIGENT FORECASTING OF ACADEMIC PERFORMANCE AND CAREER TRAJECTORY OF STUDENTS OF THE IT SPECIALTY

Abstract

In the context of the rapid development of digital educational technologies and the introduction of modular programs in higher education institutions, there is a growing need for intelligent systems capable of performing in-depth analysis of academic data and generating predictive models aimed at improving students' academic performance and career support. This study is designed to develop an intelligent model based on the factor analysis method for predicting the academic performance and career trajectory of students studying in the IT specialty. The model uses grades in the main subjects of modular educational programs as input data. Principal component analysis was used to identify a latent factor structure, which is interpreted as two dominant components: "Theoretical preparation" and "Practical preparation". The obtained factor scores are used as features in a logistic regression model, which shows high accuracy in classifying career outcomes (ROC-AUC ≈ 0.95). This allows not only to perform binary predictions (success/failure), but also to quantitatively assess the contribution of educational modules to a student's career trajectory. The results of the study confirm the potential of the proposed model as an educational analysis tool capable of identifying hidden dependencies in academic data, profiling students according to their developmental trajectories, and providing interpretable recommendations to teachers and curriculum coordinators. The proposed approach can be scaled and integrated into learning management systems (LMS), digital career guidance platforms, and student competency support systems.

Keywords: predictive analytics, academic achievement prediction, career trajectories, factor analysis, principal components analysis, machine learning, IT education.

Кіріспе

Жоғары білім берудегі, әсіресе ақпараттық технологиялар саласындағы заманауи тенденциялар оқу процесінде қалыптастырылатын білім беру деректерінің көлемінің күрт өсуімен қатар жүреді. Білім беру үдерісін цифрландыру және модульдік білім беру бағдарламаларына көшу жағдайында деректерді талдауға, сонымен қатар студенттердің оқу тиімділігі мен кәсіби дамуын арттыруға бағытталған интерпретацияланатын болжамды қамтамасыз етуге қабілетті автоматтандырылған жүйелер қажет.

Білім беру аналитикасының ең өзекті міндеттері:

- оқу үлгерімін болжау;
- білім беру траекториясына әсер ететін жасырын факторларды анықтау;
- түлектердің мансаптық нәтижелерін болжау.

Бұл мәселелерді шешу күрделі білім беру құрылымдарымен қоса, деректерді іздеу, машиналық оқыту және статистикалық модельдеу әдістерін біртұтас аналитикалық жүйеге біріктіруді талап етеді.

Білім берудегі деректер аналитикасында кеңінен танылған әдістердің ішінде факторлық талдау, атап айтқанда, өзара байланысты академиялық көрсеткіштерді жоғары интерпретацияланатын ықшам ұғымдарға біріктіруге мүмкіндік беретін негізгі компоненттік талдау әдісі ерекше орын алады. Бұл әсіресе модульдік бағдарламаларды талдау контекстінде құнды, мұнда бірнеше өзара байланысты пәндер арқылы бір құзыреттілік қалыптасады.

Осындай жасырын факторларды және олардың болжамдық модельдерін анықтау студенттің білім алуын қолдау үшін интеллектуалды жүйелерді әзірлеуге негіз бола алады.

Зерттеудің мақсаты – деректерді талдау әдістеріне сүйене отырып, IT мамандығы студенттерінің оқу үлгерімі мен мансаптық траекториясын интеллектуалды болжау моделін жасау. Ұсынылаған модель интеллектуалды құралдар арқылы білім беру бағдарламалары, академиялық белсенділік және студенттердің мансаптық дамуы арасында көпір құруға болатындығын көрсетеді. Бұл – білім беру жүйелерінің жаңа буындарын қалыптастыруға жол ашады, және деректер тек цифрлық ізге ғана емес, жеке тұлға мен құзыреттіліктің дамуын интеллектуалды қолдауға негіз болады.

Зерттеудің міндеттері:

1) студенттердің өз қалауы бойынша оқуға бейімділіктерінің негізгі параметрлерін анықтау;

2) факторлық талдау әдістерін қолдана отырып, негізгі айнымалыларды (факторларды) анықтау;

3) модульдік оқыту бағдарламаларынан, оқу жоспарларынан, құзыреттіліктерден алынған мәліметтерді студенттердің үлгерім көрсеткіштерімен және мансап траекторияларымен байланыстыратын интеллектуалды болжау моделін әзірлеу.

Техникалық мамандықтар студенттеріне арналған заманауи білім беру бағдарламалары тез өзгеретін технологиялар жағдайында жұмыс істей алатын жоғары білікті мамандарды даярлауды қамтамасыз етуге бағытталады. Білім берудің негізгі элементтерінің бірі – білімнің тар салаларын терең зерттеуге бағытталған арнайы курстар. Арнайы курстардың сәттілігін бағалаудың тиімді әдістерінің бірі факторлық талдау болып табылады. Бұл әдіс әртүрлі айнымалылар арасындағы жасырын тәуелділіктерді анықтауға мүмкіндік береді, бұл студенттердің оқу процесінде жетістікке жетуіне әсер ететін факторларды жақсы түсінуге көмектеседі. Факторлық талдау – бақыланатын айнымалыларға әсер ететін жасырын факторларды анықтауға арналған көп өлшемді статистикалық талдау әдісі.

Осы бағыттағы зерттеушілер өз еңбектерінде көп өлшемді әдістерді, соның ішінде факторлық талдауды және олардың білім беру жүйесінде қолданылуын егжей-тегжейлі қарастырады және оларды білім беру курстары мен бағдарламаларының сапасын жақсарту үшін қолдануда [1],[2]. Сондай-ақ көптеген оқу орындары, студенттердің қорытынды бағаларына әсер етуі мүмкін ықтимал факторларды анықтау үшін деректерді талдау әдістерін қолдану арқылы қол жеткізуге болады деп қарастырады [3]. Сонымен қатар, студенттердің демографиясы, алдыңғы бағалары және сабақтағы үлгерімі, әлеуметтік факторлар және онлайн оқыту да студенттердің үлгерімін болжау үшін ең көп таралған және кеңінен қолданылатын факторлар болып табылады [4]. Білім беру деректерін интеллектуалды талдауды қолдану мүмкіндіктері - студенттердің оқуды тастап кету деңгейін төмендету, ресурстарды бөлу және жоғары оқу орындары үшін шешім қабылдау процестеріне көмектесу үшін студенттердің үлгерімін болжауда пайдалы болуы мүмкін [6]. Шетелдік зерттеулер аралас деректер мен көп сызықтық регрессия үшін факторлық талдау әдістерін қолдана отырып, орта мектеп оқушыларының оқу үлгеріміне әртүрлі факторлардың әсерін зерттеген. Бұл зерттеуде, түпкілікті академиялық нәтижені дәл болжауға және тиімді білім беру стратегияларын жасауға мүмкіндік беретін төрт негізгі фактор анықталды: алдыңғы оқу үлгерімі, академиялық кешігу, әлеуметтік-экономикалық жағдай және сыныптағы орта [7].

Факторлық талдаудың теориялық негіздері мен әдістемесіне арналған еңбектерге сәйкес, кез келген статистикалық әдісті түсінудің негізгі деңгейі оның математикалық аппараты мен есептеу алгоритмдері болып табылады. Сонымен, [8] оқулығында факторлық модельдерді құру және бағалау принциптерін аша отырып, көп өлшемді талдаудың аксиоматикалық негіздері дәйекті түрде берілген. Көп айнымалы статистика бойынша классикалық оқулық [9] факторды шығару, масштабты ротация және жүктемелерді түсіндіру әдістерін егжей-тегжейлі қарастырады, бұл оқырманға тек есептеу техникасын ғана емес, сонымен қатар алынған факторлардың семантикалық интерпретациясын меңгеруге мүмкіндік береді.

Білім беру зерттеулерін факторлық талдауды қолдану тұрғысынан қарастыратын болсақ, әдебиеттердің басым бөлігі - білім беру процестері туралы мәліметтерді талдаудың көп нұсқалы әдістерін нақты пайдалануға арналған. Мысалы, факторлық талдауды пайдалана отырып, оқу үлгерімі мен студенттердің белсенділігінің негізгі детерминанттарын қалай анықтауға болатыны сипатталған [10]. Білім беру бағдарламаларының тиімділігін бағалауға ұқсас практикалық қызығушылықты танытқан авторлар [11], әртүрлі оқыту үлгілерін салыстырмалы бағалау үшін факторлық талдауды пайдалануды көрсетеді. Кейбір әдеби шолулар [11] факторлық модельдердің мектептер мен университеттердің эмпирикалық модельдері негізінде қалай құрастырылатынын көрсетеді, білім беру курстарын жақсарту бойынша ұсыныстарды әзірлеуге көмектеседі. Басқа зерттеушілер [12],[13] оқулығында бұл тәсілдерді педагогикалық статистика контекстінде жүйелейді, және білім беру бағдарламаларының тиімділік факторларын анықтаудың практикалық мысалдарын көрсетеді. Ақырында, [14] күрделі білім беру көрсеткіштерін талдаудағы факторлық талдау рөлін атап көрсете отырып, математикалық әдістердің кең ауқымын нақты педагогикалық міндеттермен байланыстырады.

Сонымен қатар, AI Sana бастамасы сияқты инновациялық ұлттық бағдарламалар да білім беру тәжірибесіне деректерді талдаудың заманауи әдістерін біріктіруге ықпал етеді, студенттердің оқу үлгерімі мен мансап траекториясын болжауда болжамды талдау алгоритмдерін қолданудың жаңа мүмкіндіктерін ашады. Халықаралық және Қазақстандық зерттеушілердің тәжірибесі негізгі компоненттік әдісі және корреляциялық-регрессиялық талдау сияқты талдау әдістерін қолдану – студенттердің академиялық үлгерімі мен мансаптық траекторияларын болжаудың тиімді құралы болып табылады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл күрделі көпөлшемді деректерді түсіндіруді жеңілдетіп қана қоймайды, сонымен қатар білім беру шешімдерін қолдаудың бейімделетін жүйелерін дамытуға мүмкіндік береді, бұл әсіресе IT саласының қарқынды дамуы жағдайында маңызды.

Осылайша, әдебиеттерге шолу, ұсынылған болжау моделінің өзектілігі мен практикалық маңыздылығын растайды, бұл зерттеу әдістерін таңдауды негіздейді және IT саласындағы білім беру процесінің одан әрі дамуын ынталандырады. Және де, халықаралық тәжірибе мен ұлттық зерттеулерге сүйеніп, білім беру процестерін талдау мен болжаудың кешенді тәсілін көрсете отырып, ұсынылған модельді әзірлеу үшін берік теориялық база болып табылады.

Зерттеу әдіснамасы

Модельді әзірлеуде IT-бағыттағы студенттердің пәндер бойынша бағалары - бастапқы белгілер ретінде алынады, содан кейін факторлық белгіге ротацияланады және осы факторларды мансаптық траекторияның болжамды моделінде қолданылады.

Деректерді интеллектуалды талдаудың құралы ретінде, факторлық талдаудың негізгі мақсаты - айнымалылар санын деректердегі ең маңызды вариацияны түсіндіретін бірнеше факторларға біріктіру арқылы азайту болып табылады. Бұл негізгі аспектілерге назар аудару арқылы талдауды жеңілдетуге мүмкіндік береді. Осылайша, факторлық талдаудың мақсаты – бірнеше бақыланатын айнымалылар арасындағы байланыстарды түсіндіретін жасырын факторларды анықтау, мүмкіндігінше көп ақпаратты сақтай отырып, айнымалылар санын азайту. Факторлық талдау процесі әдетте бірнеше кезеңдерден тұрады:

А) деректерді дайындау: бастапқы деректердің сипаттамасы, алдын-ала талдау және статистикалық сипаттама, деректерді нормаландыру, әрі қарай факторлық талдау үшін қажетті деректерді жинақтау;

Ә) факторлық талдау:

1. Факторлық талдаудың жалпы қабылданған негізгі принциптері мен кезеңдерін қарастыру: деректердің жарамдылығын бағалау, модельдерің сәйкестігін тексеру, факторды анықтау, факторларды ротациялау.

2. Зерттеуде факторлық талдауды қолдану нәтижелерін қарастыру: жасырын факторларды анықтау, факторлық жүктемені талдау, болжалды модельдеуге интеграция.

Зерттеу нәтижелері

А) Бастапқы деректер және дайындық. Зерттеу аясында IT-мамандықтар студенттерінің академиялық көрсеткіштері негізінде алынған бастапқы деректер пайдаланылады. Деректер – бұл әр жол жеке студентке сәйкес келетін сандық матрица, ал бағандар – білім беру бағдарламасының негізгі пәндері бойынша сандық бағалау (мысалы, «Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері», «Есептеу құралдарын модельдеу», «Мәліметтер базасын басқару жүйелері», «Мобильді қосымшаларды әзірлеу») және қорытынды «Жалпы үлгерім». Осылайша, бақылаулар теориялық және практикалық дайындықты қамтиды, бұл білім беру процесінің жан-жақты көрінісін қалыптастыруға мүмкіндік береді.

1) Бастапқы деректердің сипаттамасы. Зерттеу IT мамандықтарының бакалавриат студенттерінен жиналған мәліметтерге негізделген. Бастапқы ақпарат ретінде: академиялық мәліметтер (бағалау, сабаққа қатысу), мансаптық ұмтылыстар (мамандық бойынша жұмыс істеу ниеті, ғылыми қызметпен айналысу ниеті және т.б.) пайдаланылды. Деректерді өңдеу үшін факторлық талдау қолданылды (негізгі компоненттік әдісі және корреляциялық - регрессиялық әдіс), бұл 20-дан астам айнымалыны 4 негізгі факторға дейін төмендетуге мүмкіндік берді. Әрі қарай қорытынды академиялық үлгерімді болжаудың сызықтық моделі құрылды және мүмкін болатын мансаптық траекториялар анықталды.

Техникалық мамандықтар студенттерінің кәсіби дамуына әсер ететін арнайы курстарды игерудің сәттілігін бағалау үшін факторлық талдауды қалай қолдануға болатынын мысалмен қарастырайық. Мысалы, бізде білім беру бағдарламасы аясында 4 арнайы курстан өтетін 10 студенттен тұратын топ бойынша деректер бар делік. Келесі курстар мен параметрлерді талдайық (1-кесте):

- алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері (бағалау);
- есептеу құралдарын модельдеу (бағалау);
- мәліметтер базасын басқару жүйелері (бағалау);
- мобильді қосымшаларды әзірлеу (бағалау);
- жалпы үлгерім (барлық курстар бойынша орташа баға).

Кесте 1. Студенттер мен курстар бойынша бастапқы деректер

Студент	*Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері*	*Есептеу құралдарын модельдеу*	*Мәліметтер базасын басқару жүйелері*	*Мобильді қосымшаларды әзірлеу*	*Жалпы үлгерім*
Студент 1	*8*	*7*	*9*	*8*	*8*
Студент 2	*6*	*6*	*7*	*6*	*6.25*
Студент 3	*9*	*8*	*9*	*9*	*8.75*
Студент 4	*7*	*6*	*8*	*7*	*7*
Студент 5	*7*	*7*	*8*	*7*	*7*
Студент 6	*8*	*7*	*9*	*8*	*8*
Студент 7	*5*	*5*	*6*	*5*	*5*
Студент 8	*9*	*8*	*9*	*9*	*8.75*
Студент 9	*8*	*8*	*8*	*8*	*8*
Студент 10	*6*	*6*	*7*	*6*	*6.25*

2) Алдын ала талдау және статистикалық сипаттама. Бастапқы кезеңде бастапқы деректерге егжей-тегжейлі статистикалық талдау жүргізіледі:

- әр көрсеткіш үшін орташа мәнді (μ) есептеу, бұл бағалаудың таралуының орталық тенденциясын бағалауға мүмкіндік береді;
- деректердің дисперсиясын анықтау үшін қажетті стандартты ауытқуды (σ) бағалау.
- пәндер арасындағы қатынастардың бар-жоғын бастапқы тексеру үшін корреляциялық матрицаны талдау. Бұл факторлық талдау әдістерін қолданудың маңызды алғышарты болып

табылады, өйткені айнымалылар арасында жоғары корреляцияның болуы олардың бірнеше жасырын факторларға жинақталуына кепілдік береді.

3) Деректерді нормаландыру. Факторлық талдауды қолданар алдында деректерді біркелкі масштабқа келтіру үшін нормаландыру керек. Ол үшін z-бағалауды қолданамыз.

z -бағалауды есептеу формуласы:

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

мұндағы X – бақыланатын мән, μ – орташа, σ – стандартты ауытқу.

Бұл қадам масштабтағы айырмашылықтардың әсерін жоюға мүмкіндік береді және деректердің біркелкі таралуын қамтамасыз етеді, бұл жасырын факторларды кейіннен бөліп көрсету үшін өте маңызды. Факторлық талдау, атап айтқанда негізгі компоненттік әдісі, айнымалылардың масштабына тікелей байланысты. Сондықтан алдын ала барлық деректерді нөлдік орташа және бірлік стандартты ауытқуға әкеледі. Нормаландыруды практикалық енгізу Python кітапханаларын пайдалану арқылы оңай жүзеге асырылады (мысалы, sklearn модуліндегі StandardScaler көмегімен.preprocessing), бұл машиналық оқыту әдістерін аналитикалық жүйеге біріктіруді жеңілдетеді:

```
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
scaler = StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(df)
```

4) Әрі қарай талдау үшін деректерді дайындау. Деректерді нормаландырғаннан кейін келесі қадамдар мыналарды қамтиды:

- Кайзер-Мейер-Олкин критерийі (KMO) және Бартлетт тесті сияқты іріктеу сәйкестігін анықтайтын тесттерді қолдана отырып, факторлық талдау үшін модельдің жарамдылығын тексеру. KMO-ның 0,6-дан асатын мәндері және Бартлетт тестінің статистикалық маңызды нәтижелері негізгі компоненттік әдісті қолдану үшін деректерді құрылымдаудың дұрыстығына қосымша валидация ретінде қызмет етеді;

- Әрбір нормаланған айнымалы негізгі компоненттік әдісімен жасырын факторларды анықтауға жарамды жеке өлшем болып табылатын белгілер матрицасын қалыптастырады.

Бұл шаралар кешені интеллектуалды талдау алгоритмдерін қолдану үшін деректерді дайындаудың жоғары ғылыми қатаңдығы мен дұрыстығын қамтамасыз етеді. Нәтижесінде алынған дайындалған іріктеме – факторлық талдау жүргізудің әрі қарайғы кезеңінің және болжамды модель құрудың негізі болып табылады, бұл осы схеманы білім беру шешімдерін қабылдауды қолдау жүйелеріне біріктіруге мүмкіндік береді.

Ә) Факторлық талдау – бақыланатын айнымалылардың жоғары өлшемді кеңістігін бастапқы деректердің дисперсиясының көп бөлігін түсіндіретін жасырын факторлардың шектеулі санына дейін төмендетуге мүмкіндік беретін көп өлшемді статистикалық талдаудың негізгі әдісі. Біздің зерттеуімізде бұл әдіс студенттердің академиялық көрсеткіштері арасындағы жасырын қатынастарды анықтау үшін қолданылады, бұл теориялық және практикалық дайындықтың оқытудың қорытынды нәтижелері мен мансаптық даму перспективаларына әсерін түсіндіруге мүмкіндік береді.

Факторлық талдаудың негізгі компоненттеріне мыналар жатады:

- *Бақыланатын айнымалылар:* бұл өлшенетін және талданатын айнымалылар. Мысалы, студенттердің бағалары, орындалған тапсырмалар саны, сабаққа қатысуы, тест нәтижелері.

- *Факторлар:* бұл тікелей өлшеуге болмайтын, бірақ бақыланатын айнымалылар арасындағы корреляцияны түсіндіретін жасырын айнымалылар (факторлар). Мысалы, «жалпы оқу үлгерімі» немесе «оқушы белсенділігі» факторы.

- *Факторлық жүктемелер*: бұл әр айнымалының белгілі бір фактормен қаншалықты күшті байланысты екенін көрсететін коэффициенттер. Жүктеме неғұрлым көп болса, соғұрлым бұл айнымалы факторға әсер етеді.

- *Факторлық бағалау*: бұл әрбір элементтің (мысалы, әрбір курс немесе студент) әрбір факторға қаншалықты қатысты екенін көрсететін мәндер.

1. Алдымен, факторлық талдаудың жалпы қабылданған негізгі принциптері мен кезеңдеріне тоқаталамыз. Факторлық талдауды қолдану бірқатар дәйекті қадамдарды орындауды қамтиды:

1) Корреляциялық матрицаны бағалау: бастапқыда нормаланған айнымалылардың барлық жұптары арасындағы корреляция матрицасы есептеледі. Жеткілікті жоғары айнымалы корреляциялардың болуы (яғни шекті мәннен жоғары корреляциялық коэффициенттер) әдісті қолданудың қажетті шарты болып табылады. 2-кестеден көретініміздей, жоғары өзара корреляция факторлық талдауды қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

Кесте 2. Айнымалылардың корреляциялық матрицасы

Айнымалылар	*Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері*	*Есептеу құралдарын модельдеу*	*Мәліметтер базасын басқару жүйелері*	*Мобильді қосымшаларды әзірлеу*
Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері	*1.00*	*0.82*	*0.78*	*0.89*
Есептеу құралдарын модельдеу	*0.82*	*1.00*	*0.85*	*0.76*
Мәліметтер базасын басқару жүйелері	*0.78*	*0.85*	*1.00*	*0.80*
Мобильді қосымшаларды әзірлеу	*0.89*	*0.76*	*0.80*	*1.00*

2) Модельнің сәйкестігін тексеру: бастапқы деректердің факторлық талдауға жарамдылығын растау үшін екі статистикалық критерий қолданылады (3-кесте):

- Кайзер-Мейер-Олкин критерийі (KMO): 0.6-дан асатын мәндер деректердің жеткілікті когеренттілігін көрсетеді;
- Бартлетт тесті: төмен p-мәні (әдетте $p < 0.05$) корреляция матрицасы жасырын факторларды оқшаулауға негізделген бірлік матрицасынан айтарлықтай ерекшеленетінін көрсетеді.

Кесте 3. KMO сынағының және Бартлетт тесті нәтижелері

Әдіс	*Мәні*	*Интерпретация*
KMO	*0.71*	*Деректер факторлық талдауға жарамды.*
Бартлетт тесті (p-мәні)	*0.0008*	*Корреляциялық матрица бірлік емес (маңызды)*

Бұл шаралар негізгі компоненттік әдісті қолдануға деректерді дайындаудың стандартты тәжірибесі болып табылады.

3) Факторларды анықтау: бұл кезеңде жасырын айнымалыларды алу алгоритмдері қолданылады. Негізгі әдіс ретінде дисперсияны түсіндіруді барынша арттыратын бастапқы айнымалылардың сызықтық комбинацияларын анықтауға мүмкіндік беретін негізгі компоненттік әдісі қолданылады. Негізгі ойларға мыналар жатады (төменде 4 кестеде қарастырылған):

- меншікті мәндер (Eigenvalues): меншікті мәні 1-ден асатын факторлар дәстүрлі түрде Кайзер критерийі бойынша маңызды болып саналады;
- Scree plot (Scree Plot): графиктегі «жазықтыққа» жеткенге дейін маңызды факторлардың санын көзбен анықтауға мүмкіндік беретін бағалаудың графикалық әдісі.

Кесте 4. Факторлардың меншікті мәндері және түсіндірілген дисперсиясы

Фактор	*Өзіндік мәні (Eigenvalue)*	*Түсіндірілген дисперсия (%)*	*Кумулятивті дисперсия (%)*
1	*2.46*	*61.5%*	*61.5%*
2	*1.07*	*26.8%*	*88.3%*
3	*0.34*	*–*	*–*
4	*0.13*	*–*	*–*

Ескерту! Кайзер критерийі бойынша тек алғашқы екі фактор маңызды.

Бұл қадамдар айнымалылар санын азайтуға мүмкіндік береді, тек деректердің өзгергіштігін мүмкіндігінше түсіндіретін факторларды қалдырады, бұл кейінгі регрессиялық модельдеу үшін маңызды. Нәтижесінде, бірінші және екінші компоненттер жиынтық дисперсияның 88% - дан астамын түсіндіреді, бұл екі факторлы модельдің жеткіліктілігін растайды.

4) Факторлардың ротациясы: факторларды бастапқы нормаландырғаннан кейін факторларға айнымалы жүктемелерді түсіндіруді жеңілдету үшін ротация ұсынылады.

- ортогональды ротация (мысалы, Varimax): факторлардың тәуелсіздігін болжайды және жоғары және төмен жүктеме мәндерінің арасындағы айырмашылықты барынша арттыруға тырысады, бұл интерпретацияны аналитик үшін ашық етеді;

- айналмалы ротация: факторлар арасындағы қатынастардың бар болуы туралы болжам болған жағдайларда қолданылады.

Ротация нақты құрылымды құруға мүмкіндік береді, мұнда әр айнымалы негізінен факторлардың біріне ықпал етеді, бұл шешімдерді қолдау жүйелерінде қолдану тұрғысынан одан әрі түсіндіруді жеңілдетеді (5-кесте).

Кесте 5. Ортогоналды ротацияның кілттік факторлық жұмыс (Varimax)

Айнымалылар	*Фактор 1 (Теория)*	*Фактор 2 (Практика)*
Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері	*0.28*	***0.86***
Есептеу құралдарын модельдеу	***0.82***	*0.33*
Мәліметтер базасын басқару жүйелері	***0.76***	*0.41*
Мобильді қосымшаларды әзірлеу	*0.37*	***0.83***

Ескерту! Айнымалылар мен сәйкес факторлар арасындағы басым қатынастар қою шрифтпен белгіленген.

2. Келесі ретте, зерттеуде факторлық талдауды қолдану нәтижелерін қарастырамыз (6-кесте). Бұл жерде, теориялық және практикалық дайындықты бағалау контекстінде студенттің іс-әрекетін талдауға факторлық талдауды қолдану сипатталған. Іске асырудың негізгі сәттеріне тоқталайық.

1) *Жасырын факторларды анықтау*: арнайы курстар бойынша бағалар туралы деректер (мысалы, «Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері», «Есептеу құралдарын модельдеу», «Мәліметтер базасын басқару жүйелері», «Мобильді қосымшаларды әзірлеу») екі негізгі факторға дейін төмендейді:

- *1-фактор (Теориялық дайындық). «*Есептеу құралдарын модельдеу» және «Мәліметтер базасын басқару жүйелері» сияқты жоғары теориялық жүктемесі бар пәндерді сипаттайды;

- *2-фактор (Тәжірибелік дайындық).* «Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері» және «Мобильді қосымшаларды әзірлеу» бойынша практикалық дағдылардың деңгейін көрсетеді.

2) *Факторлық жүктемені талдау* зерттеу барысында, жасырын факторларды негізгі компоненттік әдіс арқылы бөліп алғаннан кейін, факторлық жүктемелерді талдауға көшеміз, яғни әрбір бастапқы айнымалының таңдалған компоненттерге әсер ету дәрежесін сипаттайтын коэффициенттерге. Бұл әрбір айнымалының белгілі бір жасырын фактордың қалыптасуына қаншалықты күшті ықпал ететінін бағалауға мүмкіндік береді.

Мысалы, студенттердің алған бағалары туралы деректерді талдау кезінде келесі бақылаулар алынды:

- «Есептеу құралдарын модельдеу» және «Мәліметтер базасын басқару жүйелері» пәндерімен байланысты айнымалылар 1-фактор бойынша жоғары жүктеме коэффициенттерін көрсетті. Бұл осы факторды әрі қарай кәсіби дамуға қажетті іргелі қағидаларды терең түсіну деңгейін көрсететін «Теориялық дайындық» деп сенімді түрде түсіндіруге мүмкіндік береді.

- Сол сияқты «Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері» және «Мобильді қосымшаларды әзірлеу» пәндері 2-фактор жүктемесі бойынша басым болды. Коэффициенттердің жоғары мәндері бұл жасырын фактор негізінен практикалық дағдылармен анықталатынын көрсетеді, бұл оны «Тәжірибелік дайындық» деп түсіндіруге мүмкіндік береді.

Кесте 6. Оқушыларды факторлық бағалау (мысал)

Студент	*Фактор 1 (Теориялық дайындық)*	*Фактор 2 (Тәжірибелік дайындық)*
Студент 1	*0.72*	*0.81*
Студент 2	*0.12*	*0.24*
Студент 3	*0.93*	*0.95*
...	*...*	*...*
Студент 10	*0.18*	*0.31*

Ескерту! Кейін бұл бағалаулар болжамды модельде кіріс мүмкіндіктері ретінде пайдаланылады.

Жүктемелердің жоғары мәндері айнымалылардың статистикалық маңыздылығын көрсетіп қана қоймайды, сонымен қатар алынған жасырын факторларды оқу процесінің педагогикалық аспектілерімен салыстыруға аналитикалық мүмкіндік береді. Осылайша, факторлық жүктеме коэффициенттері бастапқы бағалау деректері мен олардың функционалдық топтары арасындағы түсіндірілетін байланыс қызметін атқарады, бұл осы жұмыста ұсынылған оқу үлгерімі мен мансап траекториясының болжамды модельдерінің дәлдігін айтарлықтай жақсартады.

3) Болжалды модельдеуге интеграция: біздің зерттеуімізде алынған фактор бағалаулары студенттердің оқу үлгерімін ғана емес, сонымен қатар олардың мансаптық дамуының бинарлық нәтижесін де болжауға қабілетті регрессия модельсін құру үшін болжамды модельдеуге біріктірілді. Негізгі компонент әдісін қолдану нәтижесінде анықталған жасырын айнымалыларды пайдалана отырып, оқу процесінің іргелі аспектілерін көрсететін жаңа мүмкіндіктер қалыптастырылды: «Теориялық дайындық» және «Тәжірибелік дайындық». Бұл мүмкіндіктер кейін машиналық оқыту модельсіне кіріс ретінде пайдалануға болады.

Қарастырылған факторлардың интерпретациясын берейік. Негізгі компоненттер әдісін қолдану мағыналы екі өлшемді анықтауға мүмкіндік берді – *теориялық және практикалық дайындық*, олар оқу жоспарлары тұрғысынан білім беру нәтижелерінің әртүрлі түрлеріне сәйкес келеді:

1-фактор (Теориялық дайындық) – іргелі пәндер арқылы қалыптасатын *когнитивті құзыреттіліктерді* көрсетеді (мысалы, «Есептеу құралдарын модельдеу» және «Мәліметтер базасын басқару жүйелері »);

2-фактор (Тәжірибелік дайындық) – бағдарламалау және жобалау қызметі («Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері» және «Мобильді қосымшаларды әзірлеу») курстары арқылы қалыптасатын *қолданбалы дағдыларды* білдіреді.

Бұл жеке академиялық бағалаудың артында жасырылған білім беру ортасында *құрылымдық маңызды компоненттердің* болуы туралы гипотезаны қолдайды. Осылайша, модель тек болжау үшін ғана емес, сонымен қатар *жеке модульдердің тиімділігін* және олардың студенттің білім беру траекториясына қосқан үлесін талдау үшін де қолданыла алады.

Кәсіби дамудың табысты болуын болжау. Факторлық талдау нәтижелерін пайдалана отырып, студенттердің кәсіби дамуының табыстылығын болжауға көмектесетін

интеллектуалды моделді құруға болады. Ол студенттердің кәсіби дамуына әсер ететін арнайы курстарды меңгерудің табыстылығы екі негізгі факторға байланысты екенін көрсетті:

1. Теориялық дайындық (Есептеу құралдарын модельдеу, Мәліметтер базасын басқару жүйелері) – дисперсияның 60% түсіндіреді.

2. Практикалық дайындық (Алгоритмдеу және бағдарламалау негіздері, Мобильді қосымшаларды әзірлеу) – дисперсияның 40% түсіндіреді.

Бұл тәсіл білім беру процесінің қай аспектілері студенттердің кәсіби дамуы үшін маңызды екенін және студенттердің инженерлік салалардағы жетістіктерін арттыру үшін оқу бағдарламаларын қалай жақсартуға болатынын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Дискуссия

Алынған нәтижелер деректердің интеллектуалдық талдау әдістері академиялық үлгерімді де, IT мамандықтары студенттерінің мансаптық траекториясын да болжауда практикалық құндылыққа ие екенін көрсетті. Ең жоғары сапа көрсеткіштері базалық пәндер бойынша бағаларды, жобалық әрекет индикаторларын және оқу орталарындағы мінез-құлыққа қатысты цифрлық іздерді (қатысу, LMS-тегі белсенділік, тапсырмаларды уақытылы тапсыру ырғағы) қамтитын көпкомпонентті белгілер жиынтығын қолданғанда байқалды. Ансамбльдік және градиенттік әдістер бейсызық тәуелділіктер мен белгілер өзара әрекеттесуін ұстау арқылы сызықтық модельдерден тұрақты түрде озады. Міндетті қысқа мерзімді академиялық нәтижелер және ұзақ мерзімді мансаптық оқиғаларға бөлу деректердің ақпараттылығының айырмасын айқындады: ерте кезеңдегі болжамдар дәлірек емес, бірақ интервенциялық құндылығы жоғары; мансаптық модельдер «концепт дрейфіне» сезімтал, сондықтан тұрақты қайта оқыту мен мониторингті талап етеді. Модельдердің түсіндірмелілігі енгізу үшін шешуші мәнге ие. Post-hoc атрибуция әдістері фундаменталды пәндер, практикаға бағытталған жобалар және оқу белсенділігінің тұрақтылығы сияқты факторлардың үлесін ашып көрсетеді. Ықтималдықтардың калибрленуі де маңызды, өйткені ол басқарушылық қателіктер қаупін азайтады. Әдістемелік тәуекелдерге жалпы әдістік ығысу (common-method bias), мақсатты айнымалының ағып кетуі (data leakage), жоғалған мәндер мен сынып теңгерімсіздігі жатады; оларды басқарудың ашық рәсімдері және көрші когорттарда/серіктес ЖОО-ларда сыртқы валидация қажет. Тәжірибелік салдарлар: студенттерге дербестендірілген ұсыныстар беру, мансаптық орталықтардың тәжірибеден өту бағдарламаларын бейімдеуі, оқу жоспарларын түзету. Этикалық тұрғыдан деректерді минимизациялау және деперсонализациялау, әділеттілік пен ашықтықты қамтамасыз ету міндетті.

Қорытынды

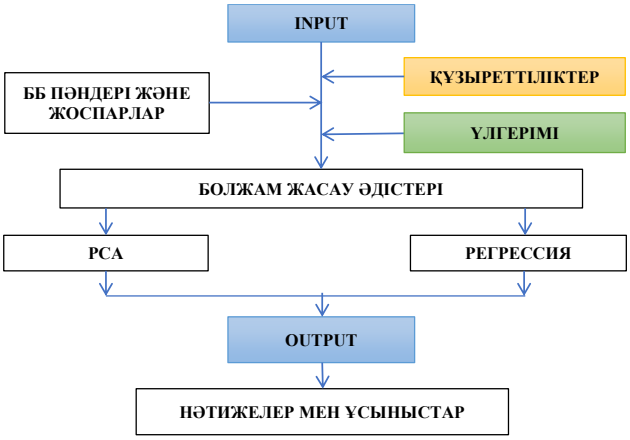
Сонымен, зерттеу нәтжилерін қорытындылай келе, талдауды жеңілдету, жасырын факторларды анықтау, оқу процесін оңтайландыру, бағалаудың дәлдігін арттыру сияқты факторлық талдау әдістерін қолданудың артықшылықтарына назар аударамыз. Талдауды жеңілдету арқылы үлкен көлемді деректер бірнеше мағыналы факторларға түрленеді, ал бұл өз кезегінде, түсіндіру мен шешім қабылдауды жеңілдетеді.

Жоғарыда келтірілген дәйектер мен дәлеледемелер – деректерді талдау әдістеріне сүйене отырып, IT мамандығы бойынша оқитын студенттердің оқу үлгерімі мен мансаптық траекториясын интеллектуалды болжау моделін жасауға негіз болды (1-сурет).

Болжаудың бұл интеллектуалды моделін құру кезінде студенттердің оқу жетістіктеріне әсер ететін негізгі құзыреттерді (білім, білік және дағдыларды) бөліп көрсете отырып, «6В06102 - Ақпараттық жүйелер» білім беру бағдарламасының пәндері қарастырылды.

Негізгі нәтижелерді келесідей қорытындылауға болады:

Біріншіден, негізгі пәндер бойынша академиялық үлгерім деректерін мансаптық табыс ықтималдығымен байланыстыратын интеллектуалды модель әзірленді. Бұл ретте пәндер модульдік білім беру бағдарламаларының құрылымына сәйкес келетін студенттердің теориялық және практикалық дайындығы үшін прокси-көрсеткіштер болып табылады.



Сурет 1. Интеллектуалды болжау моделі

Екіншіден, факторлық талдау қолданылды, бұл бастапқы белгілер кеңістігінің өлшемін қысқартуға және «Теориялық дайындық» және «Практикалық дайындық» деп түсіндірілетін екі басым жасырын факторды анықтауға мүмкіндік берді. Бұл модельдің математикалық тұрақтылығын да, нәтижелердің педагогикалық интерпретациясын да қамтамасыз етті.

Алғыс

Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінен бөлінетін жобаны гранттық қаржыландыру №AP23489805 шеңберінде орындалды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Трусова, А. Ю. Анализ данных. Многомерные статистические методы: учебное пособие. Самара: Самарский университет, 2023. 92 с. https://e.lanbook.com/book/406649 (на рус.)

[2] Romero, C. Handbook of Educational Data Mining. Chapman & Hall / CRC Press, 2010. P. 80. https://www.academia.edu/62066517/Handbook_of_educational_data_mining (in Eng.)

[3] Injadat, M., Moubayed, A., Nassif, A., Shami, A. Systematic ensemble model selection approach for educational data mining. Knowledge-Based Systems, 200 (2020), 105992. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105992 (in Eng.)

[4] Murnawan, M., Lestari, S., Samihardjo, R., & Dewi, D. Sustainable Educational Data Mining Studies: Identifying Key Factors and Techniques for Predicting Student Academic Performance. Journal of Applied Data Sciences, 5(3), 2024, pp. 1325–1342. https://doi.org/10.47738/jads.v5i3.347 (in Eng.)

[5] Ефремкова, Т. И. Математические методы и компьютерные технологии в науке и образовании: учебное пособие. Ставрополь: Логос, 2020. 299 с. https://search.rsl.ru/ru/record/01010363745 (на рус.)

[6] Белоножко, П. П., Карпенко, А. П., Храмов, Д. А. Анализ образовательных данных: направления и перспективы применения. Интернет-журнал «Науковедение», 9(4), 2017, 1–21. http://naukovedenie.ru/PDF/15TVN417.pdf (на рус.)

[7] Гласс, Дж., Стэнли, Дж.; пер. с англ. Л. И. Хайрусовой; общ. ред. Ю. П. Адлера; послесл. Ю. П. Адлера и А. Н. Ковалева. Статист.методы в педагогике и психологии. Москва: Прогресс, 1976. 494 с.

[8] Новиков, Д. А. Статистические методы в педагогических исследованиях (типовые случаи). М.: МЗ-Пресс, 2004. 67 с. https://www.researchgate.net/publication/274390588_Novikov_DA_Statisticeskie_metody_v_pedagogiceskih_issledovaniah_tipovye_slucai_M_MZ-Press_2004_--_67_s (на рус.).

[9] Ngulube, P. Improving the quality of reporting findings using computer data analysis applications in educational research in context. Heliyon, 9(9), 2023, e19683. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19683

[10] Осипова, С. И., Бутакова, С. М., Дулинец, Т. Г., Шаипова, Т. Б. Математические методы в педагогических исследованиях: учеб. пособие. Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2012. 265 с. ISBN 978-5-7638-2506-0. https://rucont.ru/efd/211803

[11] Лукичёва, П. Н., Дятлова, А. В. Методы многомерного статистического анализа данных в социологии. Литрес, 2023. 238 с. https://www.litres.ru/book/a-v-dyatlov/metody-mnogomernogo-statisticheskogo-analiza-dannyh-v-sociolog-70238842/ (на рус.)

[12] Dziuban, C. D., & Shirkey, E. C. When is a correlation matrix appropriate for factor analysis? Some decision rules. Psychological Bulletin, 81(6), 1974, pp. 358–361. https://doi.org/10.1037/h0036316 (in Eng.).

[13] Spector, P. E., & Brannick, M. T. Common Method Issues: An Introduction to the Feature Topic in Organizational Research Methods. Organizational Research Methods, 13(3), 2010, pp. 403–406. https://doi.org/10.1177/1094428110366303

[14] Кузьмина, Н.В., Жаринова, Е.Н.; Российская академия образования; Ленинградский государственный университет им. А. С. Пушкина и др. Методы исследования образовательных систем: монография. Санкт-Петербург: НУ «Центр стратегических исследований», 2018. 162 с. https://search.rsl.ru/ru/record/01009904991

References

[1] Trusova, A. Ju. (2023). Analiz dannykh. Mnogomernye statisticheskie metody: uchebnoe posobie [Data Analysis. Multivariate Statistical Methods: A Textbook]. Samara: Samarskij universitet. 92 p. https://e.lanbook.com/book/406649 (In Russian)

[2] Romero, C. Handbook of Educational Data Mining. Chapman & Hall/CRC Press, 2010. (In English)

[3] Injadat, M., A. Moubayed, A. Nassif, and A. Shami. "Systematic Ensemble Model Selection Approach for Educational Data Mining." Knowledge-Based Systems 200 (2020): 105992. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105992 (In English)

[4] Murnawan, M., S. Lestari, R. Samihardjo, and D. Dewi. "Sustainable Educational Data Mining Studies: Identifying Key Factors and Techniques for Predicting Student Academic Performance." Journal of Applied Data Sciences 5, no. 3 (2024): 1325–1342. https://doi.org/10.47738/jads.v5i3.347 (In English)

[5] Efremkova, T. I. (2020). Matematicheskie metody i komp'yuternye tekhnologii v nauke i obrazovanii: uchebnoe posobie [Mathematical Methods and Computer Technologies in Science and Education: A Textbook]. Stavropol: Logos. 299 p. https://search.rsl.ru/ru/record/01010363745 (In Russian)

[6] Belonozhko, P.P., Karpenko A. P., and Khramov D. A.. (2017). "Analiz obrazovatel'nykh dannykh: napravleniya i perspektivy primeneniya" [Educational Data Analysis: Directions and Prospects of Application]. Internet-zhurnal «Naukovedenie» 9(4): 1–21. http://naukovedenie.ru/PDF/15TVN417.pdf

[7] Glass, Dzh., and Dzh. Stenli. (1976). Statisticheskie metody v pedagogike i psikhologii [Statistical Methods in Pedagogy and Psychology]. Moscow: Progress. 494 p. (In Russian)

[8] Novikov, D. A. (2004). Statisticheskie metody v pedagogicheskikh issledovaniyakh (tipovye sluchai) [Statistical Methods in Pedagogical Research (Typical Cases)]. Moscow: MZ-Press. 67 p. https://www.researchgate.net/publication/274390588_Novikov_DA_Statisticeskie_metody_v_pedagogiceskih_issledovaniah_tipovye_slucai_M_MZ-Press_2004_--_67_s (In Russian)

[9] Ngulube, P. "Improving the Quality of Reporting Findings Using Computer Data Analysis Applications in Educational Research in Context." Heliyon 9, no. 9 (2023): e19683. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19683 (In English)

[10] Osipova, S. I., S. M. Butakova, T. G. Dulinets, and T. B. Shaipova. (2012). Matematicheskie metody v pedagogicheskikh issledovaniyakh: ucheb. posobie [Mathematical Methods in Pedagogical Research: A Textbook]. Krasnoyarsk: Sibirskij federal'nyj universitet. 265. ISBN 978-5-7638-2506-0. https://rucont.ru/efd/211803 (In Russian)

[11] Lukicheva, P. N., and A. V. Dyatlova. (2023). Metody mnogomernogo statisticheskogo analiza dannykh v sotsiologii [Multivariate Statistical Data Analysis Methods in Sociology]. Litres. 238. https://www.litres.ru/book/a-v-dyatlov/metody-mnogomernogo-statisticheskogo-analiza-dannyh-v-sociolog-70238842/ (In Russian)

[12] Dziuban, C. D., and E. C. Shirkey. "When Is a Correlation Matrix Appropriate for Factor Analysis? Some Decision Rules." Psychological Bulletin 81, no. 6 (1974): 358–361. https://doi.org/10.1037/h0036316

[13] Spector, P. E., and M. T. Brannick. "Common Method Issues: An Introduction to the Feature Topic in Organizational Research Methods." Organizational Research Methods 13, no. 3 (2010): 403–406. https://doi.org/10.1177/1094428110366303 (In English)

[14] Kuz'mina, N. V., and E. N. Zharinova. (2018). Metody issledovaniya obrazovatel'nykh sistem: monografiya [Methods of Research of Educational Systems: A Monograph]. Saint Petersburg: NU "Tsentr strategicheskikh issledovanij". 162. https://search.rsl.ru/ru/record/01009904991 (In Russian)

ҒТАХР 20.01.04

10.51889/2959-5894.2025.91.3.026

Н. Н. Оспанова[1*], Р. С. Куанышева[1], А.Қ. Каирбаева[1],
Н. К. Токжигитова[1], С.Д. Байжуманов[1]

[1]КеАҚ «Торайғыров университет», Павлодар қ., Қазақстан
[*]*e-mail: nazira_n@mail.ru*

АКТ САЛАСЫНДАҒЫ ФОРМАЛДЫ ЕМЕС БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫНА ҚАТЫСУШЫЛАРДЫҢ МОТИВАЦИЯЛЫҚ ФАКТОРЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Бұл мақалада ақпараттық коммуникациялық технологиялар саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларына қатысушылардың мотивациялық факторларын зерттеу ұсынылады. Негізгі міндеттерге формальды емес білім беруде, әсіресе ақпараттық коммуникациялық технологиялар саласында мотивацияның ерекшеліктерін анықтау, мотивациялық ішкі және сыртқы факторларды жіктеу, формальды емес білім беруді таңдауға тұлғалық қасиеттердің әсерін талдау, білім беру ұйымдарында білім алушылардың мотивациясын арттыру бойынша ұсыныстарды әзірлеу жатады. Зерттеу әдістемесі студенттердің жеке кабинеттері арқылы сауалнамаларды пайдалана отырып, бірінші және екінші курс студенттеріне сауалнама жүргізуге және қойылған сұрақтарға жауаптарды кейіннен талдауға негізделеді. Жабық және ашық сұрақтарды қамтитын арнайы сауалнама құрастырылды. Қатысушылар арасында онлайн сауалнама жүргізу нәтижесінде ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларының тиімділігін арттыруға ықпал ететін мотивациялық факторлар мен тұлғалық ерекшеліктері анықталды. Алынған мәліметтер формальды емес оқытуға қызығушылықты және ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласындағы білім сапасын арттыру үшін формальды емес білім беру бағдарламаларының келешегін көрсетеді.

Түйін сөздер: формальды емес білім беру бағдарламалары, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар, оқу мотивациясы, мотивациялық факторлар.

Н. Н. Оспанова[1], Р. С. Куанышева[1], А.Қ. Каирбаева[1], Н. К. Токжигитова[1], С.Д. Байжуманов[1]
[1]НАО «Торайғыров университет», г. Павлодар, Қазахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ МОТИВАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ УЧАСТНИКОВ НЕФОРМАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В ОБЛАСТИ ИКТ

Аннотация

В данной статье представлены мотивационные факторы участников программ неформального образования в области информационно-коммуникационных технологий. Основные задачи включают выявление особенностей мотивации в неформальном образовании, особенно в области информационно-коммуникационных технологий, классификацию мотивационных внутренних и внешних факторов, анализ влияния личностных качеств на выбор неформального образования и разработку рекомендаций для образовательных организаций по повышению мотивации студентов. Методология исследования основана на проведении опроса студентов первого и второго курсов с использованием анкетирования через личные кабинеты студентов и последующем анализе ответов на поставленные вопросы. В рамках опроса была разработана специальная анкета с закрытыми и открытыми вопросами. В результате проведения онлайн-опроса среди участников были выявлены мотивационные факторы и личностные качества, способствующие повышению эффективности программ неформального образования в области информационно-коммуникационных технологий. Полученные данные свидетельствуют об интересе к неформальному обучению и перспективах программ неформального образования для повышения качества образования в сфере информационно-коммуникационных технологий.

Ключевые слова: неформальные образовательные программы, информационно-коммуникационные технологий, мотивация обучения, мотивационные факторы.

N. N. Ospanova[1], R. S. Kuanysheva[1], A.K. Kairbayeva[1], N. K. Tokzhigitova[1], S.D. Baizhumanov[1]
[1]KeAQ "Toraigyrov University", Pavlodar, Kazakhstan

RESEARCH OF MOTIVATION FACTORS OF PARTICIPANTS IN INFORMAL EDUCATIONAL PROGRAMS IN THE FIELD OF ICT

Abstract

In this article, the motivational factors of the participants of non-formal education programs in the field of information and communication technologies are presented. The main tasks include identifying the features of motivation in non-formal education, especially in the field of information and communication technologies, classification of motivational internal and external factors, analysis of the influence of personal qualities on the choice of non-formal education in the field and development of recommendations for educational organizations to increase student motivation. The research methodology is based on conducting a survey of first- and second-year students using questionnaires through the students' personal offices and subsequent analysis of the answers to the questions. As part of the survey, a special questionnaire was developed with questions, including closed and open questions. As a result of conducting an online survey among the participants, motivational factors and personal qualities were revealed, which contribute to increasing the effectiveness of non-formal education programs in the field of information and communication technologies. The obtained data indicate interest in non-formal education and the prospects of non-formal education programs to improve the quality of education in the field of information and communication technologies.

Keywords: non-formal educational programs, information and communication technologies, training motivation, motivational factor.

Кіріспе

Қазақстан Республикасында формальды емес білім берудегі мотивацияны зерттеу ерекше маңызға ие, өйткені еліміздің нормативтік-құқықтық актілері азаматтарға ақпараттық қоғамда табысты бейімделу үшін қажетті кәсіби құзыреттіліктерді өмір бойы меңгеруге және жаңартуға мүмкіндік беретін үздіксіз білім беру тұжырымдамасын бекітеді [1]. Формальды емес білім берудің мақсаты - белгілі бір білім беру қажеттілігін қанағаттандыру, мысалы, жұмыстан тыс уақытта ашық ашық онлайн курстарды пайдалану. Формальды білім беру тек мемлекеттік стандарттарға негізделген, ал формальды емес білім беру бағдарламаларының ауқымы кең. Білім беру мекемесі немесе жеке мұғалім адамдарды қалай және нені оқыту керектігін өзі шеше алады [2]. Тиісінше, сертификаттау ұзақтығы, әдістері және оқу орны әртүрлі болуы мүмкін. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (АКТ) саласындағы формальды білім беру арнайы пәндерді оқу кезінде жүзеге асырылуы мүмкін, оның аясында студенттер соңғы АКТ жабдықтарымен жұмыс істеуге және оны оқу іс-әрекетінде пайдалануға мүмкіндік алады [3]. Формальды емес білім беру студенттердің мектептен тыс іс-әрекетінде – олимпиадалар мен ғылыми-тәжірибелік конференцияларға қатысу, оқуы ерікті және негізгі оқу процесіне тәуелсіз жүзеге асырылатын электрондық білім беру курстары шеңберінде жүзеге асырылуы мүмкін [4].

Ішкі мотивация адамның жеке қызығушылығына, оның қалауына негізделген және басқалардың мақұлдауынан аз тәуелді. Білім алушы белсенді позицияға ие болып, қиындықтарды жеңеді. Ішкі мотивацияға ықпал ететін үздіксіз оқу үдерісі мен АКТ саласындағы тұлғаның қанағаттануымен байланысты факторлар [5]: қызығушылық пен танымдық қызығушылық, жаңа фактілерді меңгеруге, білімге, іс-әрекет әдістеріне, құбылыстардың мәніне енуге және процестен ләззат алуға ұмтылу. Ішінен уәжделген адам қызығушылық негізінде немесе процестен алған ләззат негізінде әрекет етеді. Бұл өзін-өзі жетілдіруге ұмтылу, оқу нәтижесінде дамуға, адамның кейбір қасиеттері мен қабілеттерін дамытуға ұмтылу.

АКТ саласында үздіксіз оқытудың сыртқы мотивациясына ықпал ете алатын кейбір факторларды бөліп көрсетуге болады [6]: білім алушының жұмысын бағалау, практикалық бағыттылық пен жұмысқа сұраныс, оқу нәтижесіне қанағаттану. АКТ саласында формальды емес білім беруді таңдауда тұлғалық қасиеттер маңызды рөл атқарады. Бұл таңдауға әсер

ететін жеке факторларға жеке жаңашылдық пен АКТ технологияларын пайдалануға деген көзқарас жатады. Жоғары инновациялы адамдар жаңа идеялар туралы ақпаратты белсенді іздеушілер болып табылады және, әдетте, оң көзқарас пен технологияларды қабылдау ниетін дамытады. Цифрлық формальды емес оқытуға оң көзқарас оны меңгеруге ішкі мотивацияны ынталандыруы мүмкін. Формальды емес білім беру білім алушының тұлғалық даму ерекшеліктеріне, олардың әлеуеті мен жеке қажеттіліктеріне негізделген жеке білім беру стратегияларын таңдайды. Осылайша, жеке ерекшеліктерін ескере отырып, білім алушылардың жеке қызығушылықтары мен мүмкіндіктеріне сәйкес келетін білім беру бағыттарын құруға мүмкіндік береді. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар қарқынды дамып жатқан қазіргі заманда мамандарды даярлауда және олардың бәсекеге қабілеттілігін сақтауда формальды емес білім беру басты рөл атқарады. Дегенмен, АКТ саласындағы әртүрлі онлайн курстардың, вебинарлардың және шеберлік сыныптарының танымалдылығының артуына қарамастан, қатысушылардың оқуға деген мотивациясы және оның спецификалық ерекшеліктері әлі де жеткілікті зерттелмеген.

Зерттеудің мақсаты – адамдарды АКТ саласындағы формальды емес білім беруге итермелейтін негізгі мотивациялық факторларды анықтау және талдау.

Мақсатқа жету үшін келесі зерттеу міндеттері қойылды:

- формальды емес білім беруде, әсіресе АКТ саласында мотивацияның ерекшеліктерін анықтау;
- мотивациялық ішкі және сыртқы факторлардың жіктелуі;
- АКТ бойынша формальды емес білім беруді таңдауға тұлғалық қасиеттердің әсерін талдау;
- студенттердің ынтасын арттыру үшін білім беру ұйымдарына ұсыныстар әзірлеу.

Негізгі зерттеу сұрақтары:

АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларын таңдау кезінде қатысушылар үшін қандай факторлар маңыздырақ?

АКТ мамандықтарын оқыту процесінде ішкі және сыртқы мотивацияның рөлі қандай?

АКТ-да формальды емес білім берудің нақты форматтарын таңдауға тұлғаның ерекшеліктері қалай әсер етеді?

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу барысында АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларында қатысушылардың мотивациялық факторлары зерттелді, оларға әсер ететін ішкі және сыртқы мотивация талданды. Зерттеу тақырыбы бойынша нормативті-құқықтық құжаттамасы, ғылыми-педагогикалықғ оқу және ідістемелік әдебиеттер қарастырылып, қазіргі заманғы мотивациялық факторлар зерттелді. Тыңдаушылардың уәждемесін арттыру бойынша білім беру провайдерлері үшін ұсынымдар әзірленіп, оның педагогикалық эксперимент нәтижелері қорытындыланып, өңдеу жұмыстары жүргізілді. Әлеуметтік сауалнама респондеттердің жеке кабинеттері арқылы жүзеге асырылды. «АКТ саласында формальды емес білім беру бағдарламаларына қатысушылардың мотивациялық факторларын зерртеу» сауалнамасы Торайгыров университетінің (Павлодар қ., Қазақстан) энергетика, сәулет және құрылыс, жаратылыстану ғылымдары, инженерия, ауыл шаруашылығы ғылымдары, гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар, экономика және құқық, «Computer Science» факультеттерінде жүргізілді. Бұл зерттеуге бірінші және екінші курс 146 студенті қатысты. Респонденттер сауалнамаға студенттің жеке кабинеті арқылы (https://tou.edu.kz/student_cabinet/) өткізілді. Жас аралығы 17 жастан 19 жасқа дейін. Соңғы үш жылда формальды емес білім беру шеңберінде кемінде бір курстан немесе тренингтен өту тәжірибесі бар қатысушылар.

Сауалнама 7 сұрақтан тұрады. Алынған нәтижелерді талдап көрейік. Сауалнама зерттеу мақсаттары мен міндеттеріне сәйкес келесідей құрылды:

1. АКТ саласында формальды емес білім беру бағдарламаларына (курстар, тренингтер, шеберлік сыныптары, вебинарлар және т. б.) қаншалықты жиі қатысатыңызды білу;

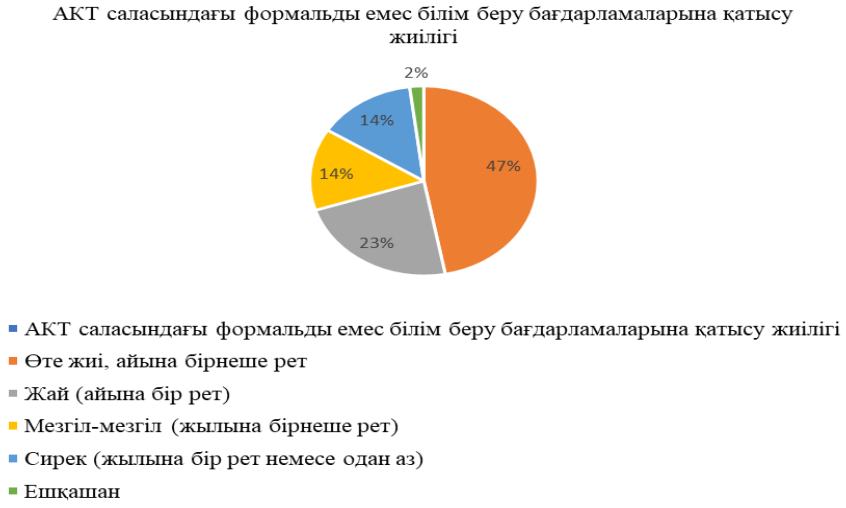
2. АКТ саласында формальды емес білімге қатысудың негізгі себептерін анықтау;
3. АКТ саласындағы әдеттегі формальды емес білім беру бағдарламаларын туралы білу;
4. АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларында элементтердің маңыздылығын анықтау;
5. АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларында қолданылған тәсілдерін анықтау;
6. АКТ саласында формальды емес білім беру үшін ең перспективалы инновациялық тәсілдерін анықтау;
7. Өмірде немесе жұмыста сәтті қолданатын формальды емес білім арқылы алынған нақты білім немесе дағдыларын анықтау.

Респонденттердің сауалнама жауаптарының талдауының нәтижелері бойынша графикалық көрінісі диаграммаларды құру үшін Julius.AI *(https://julius.ai/chat)* жасанды интеллект (AI) ресурсы пайдаланылды және төменгі суреттерде көрсетілді.

Зерттеу нәтижелері

Саулнамаға Торайғыров университетінің (Павлодар қ., Қазақстан) энергетика, сәулет және құрылыс, жаратылыстану ғылымдары, инженерия, ауыл шаруашылығы ғылымдары, гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар, экономика және құқық, «Computer Science» факультеттерінде жүргізілді. Бұл зерттеуге бірінші және екінші курста оқитын 146 студент қатысты. Олар студенттің жеке кабинеті (https://tou.edu.kz/student_cabinet/) арқылы онлайн түрінде сауалнама сұрақтарына жауап берді.

АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларына (курстар, тренингтер, вебинарлар және т.б.) қатысу жиілігі бойынша сауалнама нәтижесі 1-ші суретке келтірілді.



Сурет 1. АКТ саласындағы білім беру бағдарламаларына қатысу жиілігі

Қатысушылардың АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларына (курстар, тренингтер, шеберлік сыныптары, вебинарлар және т.б.) жиі қатысатындары анықталды. АКТ саласындағы формальды емес білім беруге қатысудың негізгі себептері туралы пікірлері бойынша сауалнама нәтижесі 2-суретте көрсетілді.

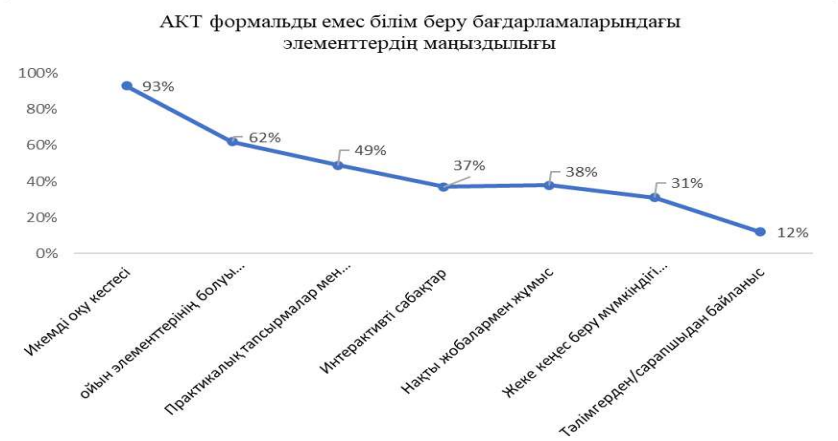
АКТ саласындағы формальды емес білім беруге қатысудың ең басты себеп – белгілі бір тақырыпқа немесе хоббиге қызығушылық, кейін жеке қасиеттер/құзыреттерді және жеке өсу/өзін-өзі дамыту. АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламалары туралы негізгі ақпаратты алудың мәліметтері 3-ші суретте бейнеленді.

Сурет 2. АКТ саласындағы формальды емес білім беруге қатысудың негізгі себептері

Студенттердің әдетте АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламалары туралы негізгі ақпарат көзі әлеуметтік медиа, кейін білім беру платформаларының сайттары және жарнама анықталды.

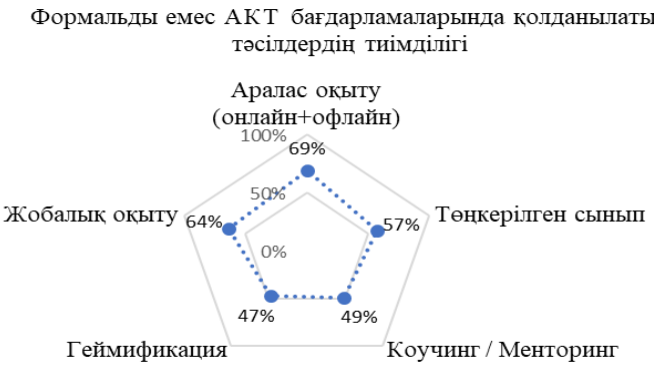
Сурет 3. АКТ-дағы формальды емес білім беру бағдарламалары туралы ақпарат көзі

АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларындағы элементтер үшін маңыздылығы бойынша сауалнама қорытындысы 4-ші суретте көрсетіледі.



Сурет 4. АКТ-дағы формальды емес білім беру бағдарламаларындағы элементтердің маңыздылығы

АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларында ең икемді элементтер ішінде респонденттерге маңыздысы икемді оқу кестесі екені белгіленеді. Формальды емес АКТ білім беру бағдарламаларында қолданылатын ең тиімді тәсілдерге таңдау жасағаны туралы саулнама қорытындысы 5-ші суретте көрсетілді.



Сурет 5. Формальды емес АКТ бағдарламаларында қолданылатын тәсілдердің тиімділігі

Қатысушылардың формальды емес АКТ білім беру бағдарламаларында қолданылған ең тиімді тәсіл ретінде аралас оқыту басым болып шықты. АКТ саласындағы формальды емес білім беру үшін ең перспективалы инновациялық тәсілдерге көзқарастары бойынша сауалнама нәтижесі 6-шы суретте көрсетілді.

Сурет 6. АКТ саласындағы формальды емес білім берудегі перспективалы тәсілдер

Респонденттердің пікірінше, инновациялық тәсілдердің АКТ саласында формальды емес білім беру үшін ең перспективалы – иммерсивті оқыту (VR/AR), коучинг/менторинг, жекелендірілген, геймификация мен жобалық оқыту болып анықталды.

Сіз өмірде немесе жұмыста сәтті қолданатын формальды емес білімнің арқасында қандай нақты білім немесе дағдыларға ие болдыңыз? Сауалнаманың бұл ашық сұрағында «жаңа білім алынды», «бар білім жетілдірілді, тәжірибелік дағдылар алынды», «өздік оқу кестені жоспарлау арқылы нәтижесінде курсты аяқтау туралы сертификат алынды», «біліктілікті арттыру мақсатында қосымша білім, білік және дағдыларға ие болды» деген жауаптар басым болды.

Дискуссия

АКТ саласындағы формальды емес білім беру бағдарламаларын таңдау кезінде қатысушылар үшін маңызды факторларға бағдарламаның мазмұны, мұғалімдердің біліктілігі,

құны мен қолжетімділігі, оң пікірлер, жұмысқа орналасу мүмкіндіктері жатады. Оның ішінде баға-сапаның арақатынасы, сондай-ақ оқыту форматының ыңғайлылығы (онлайн, офлайн, гибридті) [7]. Сондай-ақ, түлектердің жетістігі және білім беру платформасының немесе компанияның беделі. Артықшылығы - жұмыс, тағылымдамадан өту немесе портфолио үшін жобаларды табуға көмектің болуы.

АКТ мамандықтарын меңгеру процесінде ішкі және сыртқы мотивация негізгі рөл атқарады. Ішкі мотивация жеке қызығушылықтан, технологияға құштарлықтан, өзін-өзі дамытуға және күрделі мәселелерді шешуге ұмтылудан туындайды [8]. Іштей ынталы студенттер үлкен ынтамен оқиды, қызығушылық танытады және материалды тереңірек зерттейді, бұл білім мен дағдыларды жақсы меңгеруге ықпал етеді. Сыртқы мотивация жоғары ақы төленетін жұмысқа орналасуға, өз мәртебесін көтеруге немесе нарық талаптарына сай болуға ұмтылу сияқты сыртқы факторларға байланысты. Сыртқы мотивация оқуды бастауға күшті ынталандыру болуы мүмкін, бірақ қызығушылықты сақтау және ұзақ мерзімді нәтижелерге жету үшін оны ішкі мотивациямен біріктіру керек.

Адамның жеке ерекшеліктері оның формальды емес АКТ білім беру форматтарын таңдаудағы қалауына айтарлықтай әсер етеді [9, 10]. Интроверттер жиі қажетсіз әлеуметтік қысымсыз өз қарқынымен оқу мүмкіндігі бар онлайн форматтарды қалайды. Олар материалды терең, тәуелсіз зерттеуді және асинхронды өзара әрекеттесуді бағалайды. Экстраверттер, керісінше, офлайн форматтарға, топтық жобаларға және интерактивті сабақтарға ұмтылады, мұнда идеялармен алмасуға, топта жұмыс істеуге және әлеуметтік шеңберін кеңейтуге мүмкіндік бар. Өзін-өзі тәртіпке келтіру және ұйымдастырушылық деңгейі жоғары адамдар тәуелсіз курстар мен MOOCs (Massive Open Online Courses) сәтті меңгере алады. Кері байланыс пен құрылымдық тәсілді бағалайтындар тәлімгерлері бар курстарды, жеке консультацияларды және нақты құрылымдалған бағдарламасын таңдайды.

Қорытынды

Студенттердің формальды емес АКТ білім беру бағдарламаларына мотивациясын арттыру үшін білім беру ұйымдары тәжірибеге бағытталған тәсілдерге, оқытуды жекелендіруге және қолдау көрсететін қоғамдастық құруға назар аударуы керек:

-бірден нақты нәтиже беретін бағдарламаларды жасаңыз. Теория практикамен тығыз - байланысты болуы керек;

-мамандар нақты өмірде кездесетін тапсырмалар мен мәселелерді пайдаланыңыз. Бұл қызығушылықты арттырады және білімнің тәжірибеде қалай қолданылатынын түсінуге көмектеседі;

-қызығушылықтар мен мансаптық мақсаттарға байланысты тақырыптар мен модульдерді таңдау мүмкіндігін беріңіз;

-әртүрлі оқыту форматтарын ұсыныңыз: қысқа қарқынды курстар, ұзақ курстар, материалдарға тәулік бойы қолжетімділікпен асинхронды оқыту. Бұл студенттерге өз бетінше оқуға мүмкіндік береді;

-тәлімгер ретінде тәжірибелі сала мамандарын тартыңыз. Жеке консультациялар мен мамандардың кері байланысы ең күшті ынталандырушы факторлардың бірі болып табылады;

-студенттер сұрақтар қоя алатын, жетістіктерімен бөлісетін және бір-біріне көмектесетін коммуникациялық платформаларды (Discord, Slack, форумдар) жасаңыз. Бірлескен мәселелерді шешу және командалық жобалар әлеуметтік байланыстарды нығайтады және арттырады.

Зерттеу АКТ саласындағы формалды емес білім беру бағдарламаларына қатысушылардың түрлі мотивациялық факторлары тиімді әсер ететінін көрсетті. Осылайша, формальды емес білім беру арқылы мен веб-қосымшаларды жасау және жұмыс тапсырмаларын басқару үшін белсенді қолданатын бағдарламалау және жобаларды басқару дағдыларын алдым деп көптеген IT құралдарын пайдаланушылары жауап берді.

Алғыс

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант AP23485289 «Формальды емес оқытуды дамытудың және қолжетімді білім беруді қамтамасыз етудің тиімді құралы тұрғысынан жаппай ашық онлайн курстар платформасын әзірлеу әдіснамасы»).

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Ospanova N., Akanova A., Kuanysheva R., Kairbayeva A., Tokzhigitova N. Integration of non-formal education through Moocs into the educational process of a higher education institution // International Journal of Innovative Research and Scientific Studies. 2025. № 8(5), P. 524-535. https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i5.8763

[2] Енсебай Г., Демченко А.С. МООК в высшем образовании Казахстана // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Педагогика и психология». 2024. №18(1-2), С. 8-15. https://doi.org/10.25688/2076-9121.2024.18.1-2.08

[3] Yelubay Y., Dzhussubaliyeva D., Moldagali B., Suleimenova A., Akimbekova S. Developing future teachers' digital competence via massive open online courses (MOOCs) // Journal of Social Studies Education Research, 2022, №2, pp. 170-195.

[4] Akhmetova D.R., Kopzhasarova U.I., Devereaux C. The effectiveness of MOOCs in ESP for technical students: A Kazakhstan case study // XLinguae, 2023. №2, pp. 3–15. https://doi.org/10.18355/XL.2023.16.02.01

[5] Alimova S.Z., Ospanova Z.Z. Non-formal Education on the Coursera Platform: a Regional University Experience // Yasawi University Bulletin, 2024. №134, pp. 325-334. DOI:10.47526/2024-4/2664-0686.124

[6] Кульгильдинова Д.С., Сарсембаева А.А. Неформальное образование в констексте современных трендов // Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Педагогические науки. 2024. №2. С. 36-48.

[7] Сираева М.Н. Роль неформального образования в проектировании гуманитарной образовательной среды регионального вуза // Гуманитарные науки. 2021. № 2 (54), С. 21-32.

[8] Лызь А., Лызь Н. Новая педагогика высшей школы: непрерывное образование, цифровая среда, человек обучающийся. Litres, 2024.

[9] Ильина И.Е., Бортникова Т.Г. Обучение студентов основам lifelong learning с помощью информационно коммуникационных технологий // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2022. №85, С.148-153.

[10] Гущина Э.В., Кот Т.В., Ракутина Е.В. Формальное, неформальное и информальное образование как составляющие системы непрерывного образования педагогов // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 81-1, С. 34-36.

References

[1] Ospanova N., Akanova A., Kuanysheva R., Kairbayeva A., Tokzhigitova N. (2025) Integration of non-formal education through Moocs into the educational process of a higher education institution. International Journal of Innovative Research and Scientific Studies, №8(5), 524-535. https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i5.8763

[2] Ensebai G., Demchenko A. (2024) MOOK v vysshem obrazovanii Kazahstana [MOOC in Higher Education in Kazakhstan]. Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Serija «Pedagogika i psihologija». №18(1-2), 8-15. https://doi.org/10.25688/2076-9121.2024.18.1-2.08 (In Russian)

[3] Yelubay Y., Dzhussubaliyeva D., Moldagali B., Suleimenova A., Akimbekova S. (2022) Developing future teachers' digital competence via massive open online courses (MOOCs), Journal of Social Studies Education Research, №2, pp. 170–195. 2022.

[4] Akhmetova D.R., Kopzhasarova U., Devereaux I. (2023) The effectiveness of MOOCs in ESP for technical students: A Kazakhstan case study // XLinguae, №2, 3-15. 2023. https://doi.org/10.18355/XL.2023.16.02.01

[5] Alimova, S. Z. Ospanova, Z. Z. (2024). Non-formal Education on the Coursera Platform: a Regional University Experience, Yasawi University Bulletin, №. 134, 325-334. DOI:10.47526/2024-4/2664-0686.124

[6] Kulgildinova D.S., Sarsembaeva A.A. (2024) Sarsembaeva A.A. Neformal'noe obrazovanie v konstekste sovremennyh trendov [Informal education in the context of modern trends]. Vestnik KazNPU imeni Abaja. Serija: Pedagogicheskie nauki. 2. 36-48. (In Russian)

[7] Siraeva M. N. (2021). Rol' neformal'nogo obrazovanija v proektirovanii gumanitarnoj obrazovatel'noj sredy regional'nogo vuza [The role of non-formal education in the design of the humanitarian educational environment of the regional university] // Humanitarian sciences. №2 (54). 21-32. (In Russian)

[8] Lyz A., Lyz N. (2024) Novaja pedagogika vysshej shkoly: nepreryvnoe obrazovanie, cifrovaja sreda, chelovek obuchajushhijsja [New high school pedagogy: continuous education, digital environment, human learner]. Litres. (In Russian)

[9] Ilyina I.E., Bortnikova T.G. (2022) Obuchenie studentov osnovam lifelong learning s pomoshh'ju informacionno kommunikacionnyh tehnologij [Education of students is the basis of lifelong learning with the help of information and communication technologies] //Voprosy modern science and practice. University im. VI Vernadskogo. №85. 148-153. (In Russian)

[10] Gushchina E.V., Kot T.V., Rakutina E.V. (2023) Formal'noe, neformal'noe i informal'noe obrazovanie kak sostavljajushhie sistemy nepreryvnogo obrazovanija pedagogov [Formal, non-formal and informal education as components of the continuous education system of teachers] // Problems of modern pedagogical education. № 81-1. 34-36. (In Russian)

IRSTI 14.35.07

10.51889/2959-5894.2025.91.3.027

I. Salgozha[1*], Sh. Turashova[1], A. Amangeldin[1], B. Babakhan[1], Zh. Bitibayeva[1]

[1]Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
[*]*e-mail: indi_s@mail.ru*

INTEGRATION OF INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES INTO EDUCATION AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION IN KAZAKHSTAN

Abstract

In modern education, the Internet of Things (IoT) technologies are considered a promising tool for creating adaptive and intelligent learning environments. However, current research in this field mainly focuses on the development of smart classrooms, automated attendance control, and campus security. Most studies emphasize technical aspects or limited implementation cases, which do not provide a comprehensive understanding of IoT's potential in education. The aim of the article is to examine the experience of integrating IoT technologies into educational processes in different countries, analyze successful practices and approaches, and identify the potential of IoT for improving the quality of education. The study includes a comparative analysis of international practices as well as a survey conducted among lecturers and students of Abai Kazakh National Pedagogical University. Based on the collected data, practical recommendations for the creation of intelligent learning spaces are proposed, including automation, monitoring, and personalized learning.

Keywords: IoT technologies in education, smart classroom, personalization of learning, digitalization of education, intelligent learning environment, monitoring of academic performance, automation of processes, management of educational resources.

И.Т. Сәлғожа[1*], Ш.П. Тұрашова[1], А.А. Амангелдин[1], Б. Бабахан[1], Ж. Битибаева[1]
[1]Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН БІЛІМ БЕРУГЕ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ҚАЗАҚСТАНДА ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аңдатпа

Қазіргі білім беруде Заттар интернеті (IoT) технологиялары бейімделген және зияткерлік оқу орталарын құрудың болашағы зор құралы ретінде қарастырылады. Алайда осы саладағы зерттеулер негізінен ақылды сыныптарды әзірлеуге, қатысуды автоматтандырылған бақылауға және кампустағы қауіпсіздікті қамтамасыз етуге бағытталған. Олардың көпшілігі техникалық аспектілерге немесе шектеулі енгізу жағдайларына назар аударады, бұл IoT-тің білім берудегі мүмкіндіктерін тұтас түсінуге мүмкіндік бермейді. Мақаланың мақсаты – әртүрлі елдердің білім беру үдерістеріне IoT технологияларын енгізу тәжірибесін зерделеу, табысты тәжірибелер мен тәсілдерді талдау, сондай-ақ білім сапасын арттырудағы IoT әлеуетін айқындау. Жұмыста халықаралық тәжірибелерге салыстырмалы талдау жасалып, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің оқытушылары мен студенттері арасында сауалнама жүргізілді. Алынған деректер негізінде интеллектуалды оқу кеңістіктерін құруға арналған практикалық ұсынымдар берілді, оған автоматтандыру, мониторинг және оқытуды жекелендіру кіреді.

Түйін сөздер: IoT-білім берудегі технологиялар, ақылды сынып, оқытуды жекелендіру, білім беруді цифрландыру, зияткерлік оқу ортасы, үлгерім мониторингі, процестерді автоматтандыру, білім беру ресурстарын басқару.

И.Т. Салгожа[1], Ш.П. Турашова[1], А.А. Амангелдин[1], Б. Бабахан[1], Ж. Битибаева[1]
[1]Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
г. Алматы, Казахстан

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЗАХСТАНЕ

Аннотация

В современном образовании технологии Интернета вещей (IoT) рассматриваются как перспективный инструмент для создания адаптивных и интеллектуальных учебных сред. Однако исследования в данной области в основном направлены на разработку «умных» классов, автоматизированный контроль посещаемости и обеспечение безопасности на кампусе. Большинство из них сосредоточено на технических аспектах или ограниченных условиях внедрения, что не позволяет получить целостное представление о возможностях применения IoT в образовании. Цель статьи – изучить опыт внедрения технологий IoT в образовательные процессы различных стран, проанализировать успешные практики и подходы, а также определить потенциал IoT в повышении качества образования. В работе проведен сравнительный анализ международного опыта и организован опрос среди преподавателей и студентов Казахского национального педагогического университета имени Абая. На основе полученных данных представлены практические рекомендации по созданию интеллектуальных учебных пространств, включающие автоматизацию, мониторинг и персонализацию обучения.

Ключевые слова: IoT-технологии в образовании, умный класс, персонализация обучения, цифровизация образования, интеллектуальная учебная среда, мониторинг успеваемости, автоматизация процессов, управление образовательными ресурсами.

Introduction

The Internet of Things (IoT) plays a key role in the digital transformation of various fields, including education. The introduction of IoT technologies into the educational process is becoming necessary to meet the requirements of the modern economy, which requires graduates to have not only basic knowledge, but also digital literacy, skills in working with innovative technologies and adaptability to changing conditions.

One of the reasons for the relevance of the topic is the increasing need for personalization of the educational process. Traditional teaching methods often do not take into account the individual characteristics of students, their level of education and preferred style of perception of information. IoT provides opportunities for adaptive learning, so that educational programs can be individually customized for each student. For example, the use of smart devices and sensors allows us to collect data on students' activity, success, and learning difficulties, which gives teachers the opportunity to adjust the educational process in a timely manner.

In addition, IoT technologies contribute to the creation of smart classrooms and campuses, which increases the comfort and efficiency of learning. Smart whiteboards, automated control of lighting, temperature and noise levels in classrooms not only improve the conditions for classes, but also save resources of educational institutions. Issues of sustainable development, including energy conservation, are becoming particularly relevant in the context of global environmental challenges, and IoT contributes to their solution.

Another aspect of relevance is the need to integrate IoT into STEAM education. Educational programs in science, technology, engineering, and mathematics require practical knowledge and skills to work with modern devices. Using IoT in laboratory classes allows students to master working with sensors, microcontrollers and other devices, developing their technical competencies. This is especially important for training specialists in the fields of engineering, computer science and robotics.

The introduction of IoT in education also contributes to the development of an interdisciplinary approach. IoT brings together technologies from different fields such as computer science, mathematics, physics and biology, giving students the opportunity to master knowledge at the

intersection of sciences. This approach meets modern requirements for learning, focused on solving complex problems.

The introduction of Internet of Things (IoT) technologies into the educational sphere of Kazakhstan is a strategic priority and part of state policy, which is emphasized in the National Project «Technological Breakthrough through Digitalization, Science and Innovation» for 2021-2025 [1]. Support for IoT technologies is also enshrined in the Concept of Digital Transformation for 2023-2029 [2] and in the Law of the Republic of Kazakhstan dated May 21, 2024 № 86-VIII, which create the legal basis for the modernization of educational infrastructure [3].

However, Kazakhstan faces a number of challenges on its way to «smart schools and universities.» The main ones are the insufficient training of teachers to work with IoT, the lack of necessary technical infrastructure and the high costs of implementing these technologies. Solving these issues requires an integrated approach and the study of successful international experience.

The purpose of this article is to study the experience of implementing IoT in educational processes in different countries, analyze successful practices and identify the potential of IoT to improve the quality of education and create innovative learning environments.

As a result of the research, practical recommendations have been developed for creating intelligent learning spaces based on IoT, which include:

- creating smart classrooms with automated management of resources such as lighting, temperature, and humidity;
- automation of student performance and attendance monitoring systems;
- personalization of the educational process based on data analysis;
- ensuring safety and optimizing the use of the learning space.

The implementation of these measures contributes to improving the quality of education, expanding access to digital resources and training specialists in demand on the labor market.

The Internet of Things (IoT) is the concept of a network of objects equipped with technologies to interact with each other over the Internet. This technology turns ordinary objects into part of a single system that collects and analyzes data using sensors [4]. In education, IoT is a powerful tool for improving the quality of education, creating an intelligent environment, and improving the digital literacy of future professionals.

Smart education is the effective and purposeful use of ICT (information and communication technologies) to achieve educational results. The main focus is on the personalization of learning and the development of digital competencies of students [5].

Nevertheless, the introduction of IoT is associated with certain risks, in particular, cybersecurity and data privacy issues [6]. Possible threats include leakage of personal data of students and teachers, unauthorized access to educational resources, and attacks on IoT devices. Therefore, when implementing IoT, it is necessary to ensure a high level of information protection and prevent potential threats.

International experience confirms that IoT is a powerful tool for modernizing education. The integration of IoT into educational processes brings significant benefits. For example, in China, the use of an IoT-based voice assistant in higher education demonstrates how sensor devices and wireless networks help monitor the learning environment (temperature, humidity, light). Such a system provides convenience in managing learning conditions and allows teachers and students to easily interact with devices, which increases the comfort and effectiveness of learning. This highlights the importance of creating an interactive educational environment, which also promotes the development of independence and time management among students [7].

In India, IoT technologies are actively used to automate educational processes. For example, the Saveetha School of Engineering uses systems for classroom management, monitoring student attendance, and analyzing student activity through sensors and mobile applications. Smart learning spaces are also being created, where IoT devices provide lighting and climate control, which increases student comfort and engagement. These approaches make the educational environment more modern

and effective, contributing to the transformation of educational processes and improving the quality of education in the country [8].

In the United States, Internet of Things (IoT) technologies are being actively introduced into educational institutions to create smart classrooms and effectively manage campuses. IoT systems allow you to monitor environmental parameters such as temperature, light and humidity, which creates comfortable conditions for the learning process. Automation of campus management, including regulation of lighting and heating, helps to reduce energy consumption and increase energy efficiency. IoT is also used to manage educational resources, which optimizes the distribution of equipment and materials. An important aspect is the personalization of learning: data on student behavior helps to adapt the learning process and create customized curricula, which increases student engagement. Thus, the introduction of IoT in the educational sphere of the United States contributes to improving the interaction between teachers and students and increases the overall effectiveness of the educational process [9]. One of the leading universities actively implementing IoT solutions are Carnegie Mellon University (USA, Pennsylvania, Pittsburgh) and Arizona State University (USA, Arizona, Tempe).

As part of various projects, Carnegie Mellon University (USA) actively uses IoT to optimize the learning environment and improve educational processes. For example, classroom conditions (temperature, light conditions) are monitored through IoT systems, which helps to improve comfort for students and teachers. In addition, the university implements systems for automating educational processes and managing educational resources. IoT projects integrate sensor devices and real-time data to create a personalized educational experience, allowing learning to be tailored to the needs of each student. This highlights the importance of integrating modern technologies into the educational process and promotes the training of specialists who are able to work effectively with such innovations. Thus, IoT is being used to create «smart classrooms and campuses», which has an impact on improving the quality of education and managing the learning environment [10], [11].

Carnegie Mellon University (CMU) has developed an IoT system for monitoring and controlling equipment in scientific laboratories. Sensors installed on spectrometers, centrifuges, and microscopes collect data on their use, transmitting it to the central control system. This makes it possible to optimize the availability of equipment, prevent overloading and minimize downtime, which is especially important for research laboratories with limited equipment resources. CMU is one of the leading universities in the field of robotics, artificial intelligence and IoT, which makes it a center for innovative solutions in education.

At Arizona State University (ASU), IoT technologies are actively used to ensure the safety of students and create a comfortable educational environment. The University has implemented a system of sensors and cameras that collect real-time data on temperature, noise level, air quality and congestion. This data is analyzed to quickly identify potential threats such as overcrowding, ventilation problems, or congestion on campus roads. ASU is also known for its innovations in digital education and the integration of IoT into the campus infrastructure.

The experience of these universities demonstrates the versatility of IoT in education, ensuring not only the rational use of equipment and resources, but also increasing the level of comfort and safety of students. These examples can serve as a model for the implementation of similar solutions at universities in other countries, including Kazakhstan, as part of the development of the «smart campus» concept and the digitalization of the educational environment.

Bangladesh is exploring the impact of IoT on various sectors of the economy, including education. IoT technologies have demonstrated their potential in the context of the COVID-19 pandemic, contributing to the optimization of educational processes and helping to overcome the difficulties associated with remote learning and limited access to educational resources. They allowed for effective interaction between teachers and students, even at a distance [12].

In some countries, such as China, medical education programs using IoT technologies are actively developing, which also highlights the diversity of applications of these technologies in different fields.

Japan is actively implementing Internet of Things (IoT) technologies in the educational process, striving to modernize the learning system and increase the level of digital literacy of students. One of the key projects aimed at the digital transformation of education is the GIGA School government program, which has been implementing IoT and smart technologies in schools in the country since 2019 (Japan Times, 2021). As part of the GIGA School, each student receives a personal device (tablet or laptop) connected to a cloud-based learning management system. This provides access to digital resources and allows you to personalize the learning process (Trade.gov, 2023). Schools are equipped with smart boards, lighting and temperature sensors, as well as automated control systems that create comfortable learning conditions. For example, in the city of Kawachinagano, IoT solutions for classroom monitoring were introduced, which made it possible to increase the convenience of the educational process (Panduit, 2023). Thanks to high-speed Internet and cloud technologies, Japanese schools are integrating IoT into learning management systems (LMS), allowing teachers to monitor student performance in real time (MEXT, 2020). The GIGA School uses artificial intelligence (AI) technologies to analyze student learning data. This allows you to adapt training materials and identify knowledge gaps by offering personalized recommendations.

Robots are also being developed in Japanese schools to help with learning and interaction with students. Activity sensors are also used to analyze student behavior and identify problem areas in the educational process (Japan Times, 2021). The GIGA School program has already demonstrated high efficiency:

- improving students' digital skills;
- increasing learning flexibility through distance learning technologies;
- creating smart classrooms that adapt to the individual needs of students;
- resource savings through IoT control of lighting, ventilation, and educational materials.

The Japanese experience shows that the integration of IoT into education contributes to the formation of a digital educational environment, increases student engagement and makes the learning process more interactive.

IoT can enhance the effectiveness of college and university education by making students feel more at ease and involved, improving exam results and providing opportunities for professional growth. Teachers also benefit from IoT technology as they can find resources for lectures, send online assessments with automatic corrections, and have online meetings with parents.

The research [13] examines the experience of implementing IoT in education in Italy. The study is based on the example of the Italian Engineering Institute of Higher Education, where an IoT educational laboratory was developed to train students in accordance with the requirements of Industry 4.0. The main focus is on teaching students how to work with IoT infrastructure, analyze sensor data and integrate it into cyber-physical systems. In the course of their experiment, key areas of IoT use in the educational process were implemented, including:

- the development and deployment of IoT infrastructure,
- the integration of cyber-physical systems (CPS),
- the use of cloud technologies for data processing,
- the use of a hybrid learning approach, including theoretical online courses and practical work with IoT devices.

An analysis of the results showed that the students who completed this program demonstrated a higher level of practical skills in working with IoT, which is confirmed by an assessment of their competencies based on Bloom's taxonomy. The introduction of a hybrid learning system has helped to increase student engagement and improve learning. The data obtained indicate that the integration of IoT into the educational process contributes to the development of students' professional skills necessary to work in the context of Industry 4.0.

This experience confirms that educational programs that include IoT labs and a digital environment can significantly improve the quality of training specialists in technical areas and adapt students to the modern challenges of digital transformation.

Research shows that Internet of Things (IoT) technologies are becoming increasingly in demand in education around the world. Many works emphasize that IoT contributes to improving the effectiveness of learning and improving interaction between all participants in the educational process. According to Baniki et al. (2017), IoT technology has transformed traditional educational systems into more adaptive and responsive to dynamic change, enabling students to learn quickly and effectively through problem solving, personal management, and video and game learning approaches [14]. However, teachers need to integrate these new teaching and learning methods into their practice, encouraging collaboration, active learning, and closer communication between teachers and students.

The use of IoT in education brings many advantages. Students can instantly interact with learning materials and receive feedback, which contributes to a deeper understanding of the material. Teachers can monitor students' progress in real time, which allows them to identify problems in a timely manner and provide the necessary support. The data collected through the IoT helps course developers adapt curricula and create new materials that meet the needs of students. Despite the many advantages of implementing IoT in educational institutions, there are a number of problems and challenges. Integrating different technologies and ensuring their compatibility can be challenging tasks for educational institutions. Protecting students' and teachers' personal information from cyber threats is an important issue that requires attention. The need to train teachers and administrative staff to use new technologies can become a significant barrier to the successful implementation of IoT.

Thus, the potential of IoT in education is huge, but its implementation requires in-depth research and an integrated approach that takes into account both the advantages of the technology and the problems that arise during its implementation. Further research will allow us to develop optimal strategies to achieve maximum effect.

Research methodology

For this review, publications from the Scopus and Web of Science databases for the period from 2016 to 2025 were used. The search was conducted using the keywords: «*Internet of Things in education», «smart classrooms», «IoT for learning environment»*. The review includes works in English, Russian and Kazakh, which allowed taking into account both the international and local context.

The criteria for the selection of publications were:

- practical application of IoT technologies in an educational environment;
- research related to the impact of IoT on the educational process and its results;
- papers describing the challenges and limitations of implementing IoT in education.

Articles that focus solely on the technical aspects of IoT without reference to the educational environment are excluded.

The analysis of the publications allowed us to systematize knowledge about the use of IoT in education and identify three key areas of research:

- the technical basis of IoT in an educational environment (description of IoT infrastructure);
- the pedagogical basis (effectiveness of IoT in education): the study of the impact of IoT on student motivation, learning quality, and collaboration between students and teachers;
- and related challenges and obstacles to widespread adoption, such as lack of funding, cybersecurity issues, and resistance to change on the part of teachers.

Despite certain difficulties with access to some sources of information, the conducted research, based on an analysis of available publications, allowed us to identify key areas and trends in the introduction of IoT into the educational system of Kazakhstan, to gain a more complete understanding of the specifics of their implementation.

Results of the study

The analysis of the publications confirms that the topic of the introduction of the Internet of Things in education is relevant to the global community. Rich international experience is a fundamental basis for their successful integration into Kazakhstani educational institutions. In the context of the digital

transformation of education, their introduction into the educational environment is becoming particularly important.

Kazakhstani universities are actively involved in this work, one of them is the Department of Informatics and Informatization of Education at KazNPU Abai, where a scientific project is being successfully implemented, the purpose of which is not only to introduce IoT into the educational process and create a «smart classroom», but also to train a new generation of specialists capable of working in the created intellectual educational environment. use these technologies in the field of education and teach them to schoolchildren. In order to determine the need for the introduction of IoT into the system of training future teachers, the creation of a smart educational environment equipped with smart equipment, its potential advantages over the traditional learning environment and the requirements for its functionality, this study examined and analyzed the above-mentioned work of scientists and the results of implemented practices in this area, as well as conducted a survey among 216 respondents (students of the specialty «Informatics», «Informatics and robotics» and «Information systems in education», as well as faculty of the department). In order to identify the most in-demand functions of the «smart educational environment» and form appropriate requirements for its functionality, respondents were asked 10 questions (Table 1) concerning key aspects of the educational environment equipped with smart devices and related equipment. The data obtained will optimize the functionality of the created environment, increasing its convenience and efficiency, in accordance with the actual user requirements.

Table 1. Questions on the identification of key aspects of the functionality of the intellectual educational environment and the results of the survey on them

№	Questions	No	I don't know	Yes
1	The presence of automation systems for regulating the microclimate and lighting in the classroom improves comfort and increases productivity	4 (2%)	22 (10%)	190 (88%)
2	The technological equipment of the educational environment contributes to the academic performance of students	26 (12%)	17 (8%)	173 (80%)
Evaluate whether the following intelligent features of the environment are important:				
3	The possibility of remote access to educational materials and equipment in the classroom	22 (10%)	43 (20%)	151 (70%)
4	The convenience of managing a smart educational environment	-	54 (25%)	162 (75%)
5	Ensuring the security and confidentiality of students' personal data used in a smart educational environment, including academic performance	4 (2%)	52 (24%)	160 (74%)
6	An intelligent assistant (based on AI) that helps students find the information they need and answer questions.	10 (4.5%)	12 (5.5%)	194 (90%)
7	The presence of an adaptive learning system that adjusts the complexity of tasks to the student's level of knowledge.	2 (1%)	15 (7%)	199 (92%)
8	Automated attendance monitoring system	22 (10%)	17 (8%)	177 (82%)
9	The system of automatic accounting of current academic performance	30 (14%)	7 (3%)	179 (83%)
10	The function of recording lectures and automatically saving them to cloud storage	17 (8%)	130 (60%)	69 (32%)

In this questionnaire, the Likert scale 3 was used (1-«no», 2-«I don't know», 3-«yes»). Teachers and students evaluated her in accordance with their real ideas and expectations, which turned out to be similar in many ways.

The survey results provided a more complete picture of the needs and expectations of various user groups and highlighted the main requirements for its functionality:

- combining computers, an interactive panel, audio and video systems, touch tables and other classroom equipment into a single system (with sensors for light, temperature, motion, etc.) used in a «smart home»;
- integration of the above-mentioned technical devices and classroom equipment with other university information systems and popular educational platforms (LMS, Microsoft Teams, etc.) to optimize the learning process;
- combining interactive equipment (interactive panels, surveys, tests, and other classroom tools) into a single system to involve students in the learning process and ensure active interaction between the subjects of the educational process;
- automation of routine classroom-specific processes: automatic monitoring of student attendance, automatic task verification, and automatic control of technical equipment (just like in a smart home);
- personalization of learning: adaptation of educational materials and teaching methods to the individual needs of each student;
- automating the recording and storage of lectures to view them again and create a knowledge base;
- automating the processes of collecting and analyzing data on attendance, class performance, and student preferences to optimize the learning process;
- ensuring user-friendliness: a simple and intuitive interface for managing all classroom systems that were taken into account when creating a Smart Classroom at KazNPU Abai.

The integration of the Internet of Things into education and the creation of an innovative educational environment based on them opens up unique opportunities for innovation and improvement of the quality of education. However, the realization of these opportunities is fraught with certain difficulties that must be taken into account.

The initial costs of creating an IoT infrastructure can be substantial, but they are a prerequisite for obtaining long-term benefits, such as improving the effectiveness of the educational process, providing conditions for personalized learning, and improving interaction between teachers and students in an intelligent learning environment.

At the same time, the introduction of IoT in education entails new challenges related to cybersecurity. Among the most common risks are:

- the possibility of leakage of personal data of students and teachers;
- unauthorized access to educational resources;
- attacks on IoT devices used in the educational process;
- the possibility of using IoT devices for surveillance or manipulation;
- distribution of malicious software. Connected devices can be used to spread viruses within the institution's network;
- privacy violation: Data collection and analysis by IoT devices may be misused or made available to third parties.

To minimize cyber threats, it is necessary to apply an integrated approach that includes the following measures:

- implementation of modern data encryption protocols to protect information;
- using multi-factor authentication and access monitoring systems;
- regular software updates of IoT devices to eliminate vulnerabilities;
- conducting regular security audits and implementing training programs for staff and students on cybersecurity.

Along with the above, for the successful implementation and effective use of Internet of Things technologies in the educational process, it is necessary to ensure the availability of competent personnel. In this regard, it is proposed to implement the following measures:

- development and implementation of new academic disciplines dedicated to IoT and digital technologies in educational programs for future teachers;
- organization of seminars and advanced training courses for teachers and technical staff on working with IoT devices, setting up infrastructure and ensuring security;
- creation of competence centers and laboratories equipped with IoT devices for the study and application of IoT in education;
- developing partnerships with technology companies to share experiences and knowledge.

These measures will ensure a high level of professionalism among the staff of educational institutions and guarantee the effective use of IoT in the educational process.

Discussion

The data obtained during the survey clearly indicates a high demand for the modernization of the educational process in Kazakhstan using IoT technologies. The overwhelming majority of respondents (over 90%) support the introduction of adaptive learning systems and intelligent assistants, which indicates the urgent need to personalize education and move away from the traditional «one for all» model. The request to create an interactive and automated environment where routine tasks such as monitoring attendance and academic performance are performed automatically is fully consistent with global trends. The successful experience of the United States in creating «smart campuses» and the Japanese GIGA School program for equipping schools with intelligent technologies confirms that Kazakhstan's expectations are in line with global educational practices.

Thus, the study not only confirms the relevance of IoT implementation, but also opens up prospects for further work. The key areas for future research should be:

- development of comprehensive cybersecurity measures to protect data in the educational environment.
- creation of new pedagogical techniques that effectively use the technological potential of «smart classrooms».
- assessment of economic efficiency and development of scalable models for the widespread adoption of iot in educational institutions of the country.

Conclusion

The integration of Internet of Things technologies into the educational process opens up a wide range of opportunities to improve the quality and effectiveness of learning. IoT promotes the creation of smart classrooms, the introduction of personalized learning methods, as well as the optimization of educational resources. These innovations meet the requirements of digital transformation and contribute to the training of specialists with in-demand digital skills.

However, the introduction of IoT into the educational environment involves a number of challenges, such as significant financial costs, cybersecurity risks, and the need to train qualified personnel. To overcome them, it is important to apply an integrated approach, including attracting grant funding, developing interdisciplinary cooperation and implementing pilot projects. Successful examples of international practice demonstrate that IoT integration can significantly improve educational processes and management of educational institutions.

The recommendations proposed in the article can be used to develop strategies for implementing IoT in educational institutions. They will help to minimize challenges and use the potential of technology to create a modern educational environment. Thus, IoT is becoming an important tool for the formation of competitive specialists and ensuring the sustainable development of the education system.

Acknowledgements

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant № AP23490844).

Список использованных источников

[1]Национальный проект "Технологический рывок за счет цифровизации, науки и инноваций" на 2021–2025 годы URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000727/history (дата обращения: 04.08.2025)

[2] Концепция цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023 - 2029 годы (утверждена Постановлением Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 269) URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000269 (дата обращения: 04.08.2025)

[3] Закон Республики Казахстан от 21 мая 2024 года № 86-VIII "О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам связи, цифровизации, улучшения инвестиционного климата и исключения излишней законодательной регламентации" [Электронный ресурс]. – Доступ из справочно-правовой системы «Әділет». – Режим доступа: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2400000086/info, свободный. – (дата обращения: 04.08.2025)

[4] Папуловская Н. В. (2022). Основы интернета вещей: учебно-методическое пособие // М-во науки и высшего образования РФ. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, - 104 с.

[5] Kadir A.D. Smart education framework. (2021). Smart Learning Environments. – Т. 8, № 1.https://doi.org/10.1186/s40561-021-00170-x

[6] Кирсанова К.Д. (2023). Исследование технологии интернета вещей (IoT) и ее применения в различных областях // Современные научные исследования и инновации. № 6 [Электронный ресурс]. URL: https://web.snauka.ru/issues/2023/06/100402 (дата обращения: 2.09.2025)

[7] Wang Y., Ma L. (2024). Application of IoT Android voice assistant based on sensor networks in higher education network mode. Measurement: Sensors. https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101091

[8] Siva Sh., Anantha K., Ravikiran K., Sreedevi E., Vijendra D., Tholkapiyan M. (2024). A Detailed Study on Applications of IoT in Higher Education System // NeuroQuantology. PAGE 279-292| https://doi.org/10.14704/NQ.2022.20.12.NQ77025

[9] Biswal A.K., Avtaran D., Sharma V., Grover V., Mishra S., Alkhayyat A. (2023). Transformative Metamorphosis in Context to IoT in Education 4.0. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things. https://doi.org/10.4108/eetiot.4636

[10] Sultana N., Tamanna M. (2022). Evaluating the Potential and Challenges of IoT in Education and Other Sectors during the COVID-19 Pandemic: The Case of Bangladesh. Technology in Society, 68, 101857. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101857

[11] Ahaidous K., Tabaa M., Hachimi H. (2023). Towards IoT-Big Data architecture for future education. Procedia Computer Science, 220, 348–355. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.045

[12] Aristovnik A., Kerzic D., Tomazevic N. and Umek L. (2016). Determining Factors of Students' Perceived Usefulness of E-Learning in Higher Education. International Association for Development of the Information Society. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED571462.pdf (дата обращения: 05.08.2025)

[13] Awouda A., Traini E., Asranov M. et al. (2024). Bloom's IoT Taxonomy towards an effective Industry 4.0 education: Case study on Open-source IoT laboratory. Educ Inf Technol 29, 15043–15065 https://doi.org/10.1007/s10639-024-12468-7

[14] Logica B., Emil B., Florentina E. (2017). The Impact Of Internet-Of-Things In Higher Education. Scientific Bulletin - Economic Sciences, University of Pitesti, vol. 16(1), pages 53-59. http://economic.upit.ro/repec/pdf/2017_1_6.pdf (дата обращения: 05.08.2025)

References

[1] Nacional'nyj proekt "Tehnologicheskij ryvok za schet cifrovizacii, nauki i innovacij" na 2021–2025 gody. [National project "Technological breakthrough through digitalization, science and innovation"] URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000727/history (date of request: 2.09.2025). (In Russian)

[2] Koncepcija cifrovoj transformacii, razvitija otrasli informacionno-kommunikacionnyh tehnologij i kiberbezopasnosti na 2023 - 2029 gody [Concept of digital transformation, development of the information and communication technology industry and cybersecurity for 2023-2029] (utverzhdena Postanovleniem

Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 28 marta 2023 goda № 269). https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000269 (date of request: 04.08.2025). (In Russian)

*[3] Zakon Respubliki Kazahstan ot 21 maja 2024 goda № 86-VIII "O vnesenii izmenenij i dopolnenij v nekotorye zakonodatel'nye akty Respubliki Kazahstan po voprosam svjazi, cifrovizacii, uluchshenija investicionnogo klimata i iskljuchenija izlishnej zakonodatel'noj reglamentacii" [Jelektronnyj resurs]. – Dostup iz spravochno-pravovoj sistemy «Ədilet». – Rezhim dostupa: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2400000086/info, svobodnyj. – (*date of request: *04.08.*2025*). (In Russian)*

[4] Papulovskaja N. V. (2022). Osnovy interneta veshhej : uchebno-metodicheskoe posobie // M-vo nauki i vysshego obrazovanija RF.— Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, - 104 s. (In Russian)

[5] Kadir A.D. Smart education framework. (2021). Smart Learning Environments. – T. 8, № 1.https://doi.org/10.1186/s40561-021-00170-x

*[6] Kirsanova K.D. (2023). Issledovanie tehnologii interneta veshhej (IoT) i ee primenenija v razlichnyh oblastjah // Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii. № 6 [Jelektronnyj resurs]. URL: https://web.snauka.ru/issues/2023/06/100402 (*date of request: *04.08.*2025*). (In Russian)*

[7] Wang Y., Ma L. (2024). Application of IoT Android voice assistant based on sensor networks in higher education network mode. Measurement: Sensors. https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101091

[8] Siva Sh., Anantha K., Ravikiran K., Sreedevi E., Vijendra D., Tholkapiyan M. (2024). A Detailed Study on Applications of IoT in Higher Education System // NeuroQuantology. PAGE 279-292| https://doi.org/10.14704/NQ.2022.20.12.NQ77025

[9] Biswal A.K., Avtaran D., Sharma V., Grover V., Mishra S., Alkhayyat A. (2023). Transformative Metamorphosis in Context to IoT in Education 4.0. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things. https://doi.org/10.4108/eetiot.4636

[10] Sultana N., Tamanna M. (2022). Evaluating the Potential and Challenges of IoT in Education and Other Sectors during the COVID-19 Pandemic: The Case of Bangladesh. Technology in Society, 68, 101857. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101857

[11] Ahaidous K., Tabaa M., Hachimi H. (2023). Towards IoT-Big Data architecture for future education. Procedia Computer Science, 220, 348–355. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.045

*[12] Aristovnik A., Kerzic D., Tomazevic N. and Umek L. (2016). Determining Factors of Students' Perceived Usefulness of E-Learning in Higher Education. International Association for Development of the Information Society. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED571462.pdf (*date of request: *05.08.*2025*)*

[13] Awouda A., Traini E., Asranov M. et al. (2024). Bloom's IoT Taxonomy towards an effective Industry 4.0 education: Case study on Open-source IoT laboratory. Educ Inf Technol 29, 15043–15065 https://doi.org/10.1007/s10639-024-12468-7

*[14] Logica B., Emil B., Florentina E. (2017). The Impact Of Internet-Of-Things In Higher Education. Scientific Bulletin - Economic Sciences, University of Pitesti, vol. 16(1), pages 53-59. http://economic.upit.ro/repec/pdf/2017_1_6.pdf (*date of request: *05.08.*2025*)*

ҒТАХР 14.35.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.028

Н.А. Текесбаева[1*], Н.Т. Ошанова[1], А.К. Буканова[1], Е.М. Байзакова[1], А.Е. Қами[2]

[1]Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[2]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан
[*]*e-mail: nta1971@mail.ru*

БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ПРОГРАММАЛАУҒА БЕЙІМДЕЛГЕН ОҚЫТУДЫҢ НӘТИЖЕЛІЛІГІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Мақалада цифрлық білім беру жағдайында болашақ информатика пәні мұғалімдерін программалауға бейімделген оқытудың әдістемелік негіздері мен оның тиімділігін анықтауға бағытталған зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеу үш кезеңнен тұратын педагогикалық эксперимент аясында жүргізілді: бастапқы диагностикалық, қалыптастырушы және қорытынды бақылау кезеңдері. Эксперименттік жұмыстың тиімділігін бағалау мақсатында әртүрлі өлшеу құралдары – тест тапсырмалары мен сауалнамалар қолданылды. Алынған мәліметтер кестелер мен диаграммалар түрінде визуалданып, сандық және сапалық талдау әдістері арқылы өңделді. Зерттеу барысында салыстырмалы талдау, деректерді жүйелеу және жалпылау, бақылау, сауалнама жүргізу, тестілеу, сондай-ақ педагогикалық тәжірибені сараптау сияқты ғылыми әдістер қолданылды. Оқытудың тиімділігін бағалауда негізгі көрсеткіш ретінде болашақ мұғалімдердің программалау бойынша білім деңгейіндегі өзгерістер алынды. Зерттеу нәтижелері арнайы әзірленген цифрлық платформа негізінде жүзеге асырылған бейімделген оқыту моделі болашақ информатика мұғалімдерінің кәсіби құзыреттілігін арттыруға елеулі түрде оң ықпал ететінін көрсетті.

Түйін сөздер: бейімделген оқыту, программалау, болашақ информатика мұғалімдері, цифрландыру, оқыту әдістемесі, педагогикалық эксперимент.

Н Н.А.Текесбаева[1], Н.Т.Ошанова[1], А.К. Буканова[1], Е.М.Байзакова[1], А.Е.Қами[2]
[1]Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
[2]Международный университет информационных технологии, г. Алматы, Казахстан

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация

В статье представлены методологические основы адаптивного обучения программированию будущих учителей информатики в условиях цифрового образования, а также результаты исследования его эффективности. Исследование было проведено в рамках педагогического эксперимента, включающего три этапа: начальный диагностический, формирующий и итоговый контрольный. Для оценки качества экспериментальной работы использовались различные измерительные инструменты – тестовые задания и анкеты. Полученные данные были представлены в виде таблиц и диаграмм, что позволило провести их качественный и количественный анализ. В ходе исследования применялись научные методы, включая сравнительный анализ, систематизацию и обобщение данных, наблюдение, анкетирование, тестирование и экспертную оценку педагогического опыта. В качестве основного критерия эффективности обучения рассматривалось изменение уровня знаний по программированию у будущих учителей. Результаты исследования показали, что реализация адаптивной модели обучения на основе специально разработанной цифровой платформы положительно влияет на формирование профессиональной компетентности будущих учителей информатики.

Ключевые слова: адаптивное обучение, программирование, будущие учителя информатики, цифровизация, методика обучения, педагогический эксперимент.

N.A.Tekesbayeva[1], N.T.Oshanova[1], А.К. Буканова[1], E.M.Baizakova[1], A.E.Kami[2]
[1]Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
[2]International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTIVENESS OF ADAPTIVE PROGRAMMING INSTRUCTION FOR FUTURE INFORMATICS TEACHERS

Abstract

This article presents the methodological foundations of adaptive programming instruction for future computer science teachers in the context of digital education, along with the results of a study assessing its effectiveness. The research was conducted within a pedagogical experiment that included three stages: an initial diagnostic phase, a formative phase, and a final control phase. To evaluate the quality of the experimental work, various assessment tools were used, including test assignments and surveys. The collected data were visualized through tables and diagrams and analyzed quantitatively. The study employed several scientific methods, including comparative analysis, data systematization and generalization, observation, surveying, testing, and expert evaluation of pedagogical practice. The main criterion for evaluating the effectiveness of the instructional approach was the change in programming knowledge levels among future teachers. The results demonstrated that implementing the adaptive learning model based on a specially developed digital platform positively impacts the professional competence development of future computer science teachers.

Keywords: adaptive learning, programming, future computer science teachers, digitalization, teaching methodology, pedagogical experiment.

Кіріспе

Бейімделген оқыту тәсілі әрбір студенттің жеке ерекшеліктерін ескеруге мүмкіндік беріп, олардың программалауды меңгеруге деген мотивациясы мен пәнге қызығушылығын арттырады. Алынған нәтижелер программалауға бейімделген оқытудың педагогикалық тәжірибеде қолданылу әлеуетінің жоғары екенін көрсетіп отыр. Зерттеу нәтижелері бейімделген оқыту моделін қолдану болашақ информатика пәні мұғалімдерін кәсіби даярлау үдерісінің тиімділігін едәуір арттыратынын дәлелдеді. Эксперименттік деректерге сүйене отырып, білім алушылардың бейімделген оқыту негізінде көрсеткен нәтижелері бақылау тобындағы студенттермен салыстырғанда айтарлықтай жоғары болғаны анықталды. Бейімделген оқыту моделі болашақ мұғалімдердің программалау саласындағы құзыреттілігін қалыптастыруда тиімді құрал екенінің дәлелі. Информатика саласы қазіргі таңда ғылым ретінде де, қолданбалы қызмет саласы ретінде де айтарлықтай өзгерістерге ұшырап отыр. Бұл өзгерістер ең алдымен цифрлық технологиялардың жедел дамуы мен олардың білім беру жүйесіне кеңінен енгізілуімен байланысты. Осы жағдай болашақ информатика пәні мұғалімдеріне қойылатын талаптарды күшейтіп, тек білімді меңгеруді ғана емес, сонымен қатар оқыту үдерісінде икемділік пен дараландыруды қажет етеді. Мұндай талаптарға жауап беру үшін бейімделген оқыту әдістемесін қолдану ерекше маңызды болып отыр. Бейімделген оқыту тәсілі студенттердің танымдық ерекшеліктерін, оқу стилін және дайындық деңгейін ескере отырып, оқу үдерісін дараландыруға мүмкіндік береді. Бұл әдістеме студенттердің оқу мотивациясын арттырып, оқу материалының терең әрі сапалы меңгерілуіне жағдай жасайды.

Дәстүрлі оқыту әдістері оқу стилі мен қабылдау қарқынындағы айырмашылықтарды ескере бермейді. Нәтижесінде студенттерде оқу қиындықтары туындайды және пәнге деген қызығушылық төмендеуі мүмкін. Ал бейімделген оқыту әрбір студентке жеке қарқынмен және қолайлы форматта білім алуға мүмкіндік беріп, жекелендірілген оқу ортасын қалыптастырады.

Заманауи цифрлық білім беру платформалары бейімделген оқытуды ұйымдастыруда маңызды рөл атқарады. Бұл платформалар студенттердің жетістіктерін оңай бақылауға, тапсырмалардың деңгейі мен күрделілігін қажеттілікке қарай бейімдеуге мүмкіндік береді. Мұндай технологияларды қолдану оқыту үдерісін интерактивті және қолжетімді ете отырып, оқу материалының терең меңгерілуін қамтамасыз етеді. Болашақ информатика мұғалімдері

тек ғылыми құралдарды шебер пайдалана білуі ғана емес, сонымен қатар оларды тиімді қолдануға мүмкіндік беретін әдістемелік негіздерді де меңгеруі тиіс. Педагогика саласындағы зерттеулерде бейімделген оқыту әдістері білім беру сапасын арттыра алатынын көрсетіп отыр. Алайда, программалауда бейімделген оқытуда тиімді қолдануға бағытталған нақты әдістемелер әлі де жете зерттелмеген. Осыған байланысты болашақ информатика мұғалімдерін даярлауда бейімделген оқыту әдістемесі мен стратегияларының тиімділігін анықтауға бағытталған эксперименттік зерттеу қажеттілігі туындайды. Бейімделген технологиялар білім алушылардың жеке ерекшеліктеріне сай білім беру тәжірибесін қалыптастырып, оқытудың тиімділігі мен студенттердің белсенділігін едәуір арттырады [1]. Компьютерлік ғылымдар саласындағы білім беруде бейімделген оқыту жүйелері студенттерге олардың білім деңгейіне, әлсіз және мықты тұстарына қарай жеке сабақтар, тапсырмалар мен бағалаулар ұсына алады [2].

Программалау дағдылары қазіргі таңда информатика мұғалімінің кәсіби құзыреттілігінің міндетті компонентіне айналды. Информатика мұғалімдерін тиімді даярлау үшін олардың программалау дағдыларын бағалай алатын жүйе қажет. Бұл жүйе нақты өлшемшарттар, көрсеткіштер, жетістік деңгейлері мен түрлі бағалау құралдарын қамтуы тиіс [3].

Бейімделген жүйелердің студенттердің мотивациясына әсерін зерттей келе, жекелендірілген тәсіл студенттердің оқу процесіне белсенді қатысуын және қанағаттануын арттыратынын көрсеткен [4]. Бейімделген оқыту бойынша жүргізілген зерттеулерге метаанализ жасап, бейімделген жүйелер дәстүрлі әдістермен салыстырғанда оқыту тиімділігін едәуір арттыратынын анықтаған [5].

Дәстүрлі оқыту мен бейімделген платформалар негізінде программалауды оқыту тиімділігін салыстырған зерттеу жүргізіп, бейімделген жүйелер арқылы оқыған студенттердің нәтижелері жоғары болғанын анықтаған [6]. Бейімделген жүйелердің веб - программалау пәнін меңгеру барысында студенттердің мәселелерді шешу дағдыларына әсерін зерттеп, бұл жүйелер терең және икемді ойлау қабілеттерін дамытуға ықпал ететінін дәлелдеген [7].

CogBooks® сияқты бейімделген оқыту платформаларын пайдалану онлайн және дәстүрлі сынып параметрлерінде білім алушылардың оқу үлгерімі мен қанағаттануын жақсартады. Бейімделетін оқыту, әсіресе, мазмұн олардың қажеттіліктеріне бейімделген жағдайда жекелендірілген тәсіл жағдайында тиімді екенін дәлелдеді [8].

Осы зерттеу шеңберінде программалауды бейімделген оқытудың түрлі аспектілері, соның ішінде студенттердің дайындық деңгейін анықтау мен бағалау әдістері, сондай-ақ оқу материалдарын бейімдеу тәсілдері қарастырылады. Цифрландыру жағдайындағы бейімделген оқытудың сыртқы әдістемесіне ерекше көңіл бөлінген. Бұл зерттеудің мақсаты – болашақ информатика мұғалімдеріне арналған программалауды бейімделген оқыту әдісінің тиімділігін тексеру. Бұл болашақ мамандарды даярлаудың икемді және жекелендірілген әдістемесін әзірлеуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері бейімделген оқыту әдістерін оқу процесіне енгізу бойынша әдістемелік ұсыныстар әзірлеуге және информатика саласындағы білім сапасын арттыруға үлес қосады деп күтіледі. Программалауды бейімделген оқытуда әдістерді енгізу – информатика саласындағы мамандардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға бағытталған маңызды қадам болып табылады. Бұл тек пән ретінде программалауды меңгеруге емес, сонымен қатар тез өзгеріп жатқан цифрлық әлем жағдайында табысты оқытуға қажетті дағдыларды дамытуға мүмкіндік береді [9-12].

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу жұмысы Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті және Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеттерінде ұйымдастырылды. Зерттеу гипотезасы мен міндеттерін іске асыру мақсатында үш сатылы педагогикалық эксперимент жүргізілді. Әрі қарай осы кезеңдерді нақтылап өтейік.

Бірінші және екінші кезеңдер 2023-2024 оқу жылы аралығында өткізілді. Бірінші кезең *анықтау* кезеңінің негізгі міндеттері:

-зерттеудің өзектілігін негіздеу;

-эксперимент басында студенттердің программалау бойынша білім деңгейін анықтау.

Бұл кезеңде студенттердің программалау білімі деңгейін бағалау үшін арнайы сауалнама дайындалды. Сауалнама 20 сұрақтан тұрды және студенттердің программалауға қатысты базалық білімдерін анықтауға бағытталды. Жалпы 350 студент сауалнамаға қатысты. Нәтижелер Кесте 1-де келтірілген.

Кесте 1. Сауалнама нәтижелері

Деңгейлер	*Студент саны*
Төмен	*300*
Орташа	*40*
Жоғары	*10*

Бұл мәліметтерге сүйенсек, студенттердің басым бөлігі программалау саласындағы білімдерінің төмен деңгейде екенін көрсетті.

Екінші кезең - қалыптастыру кезеңі Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Физика, математика және информатика факультеті, Информатика және білімді ақпараттандыру кафедрасында 6В015 – Информатика мұғалімдерін дайындау бағыты бойынша білім алушы, 3 курс студенттеріне жүргізілді. Экспериментке барлығы 58 студент қатысты. Студенттер екі топқа бөлінді: бақылау тобына 29 студент, эксперименттік топқа 29 студент кірді. Бұл кезеңде эксперименттік топ студенттерінің программалау саласындағы білімдерін жетілдіру және дамыту жұмыстары жүргізілді. Эксперименттік топқа арнайы жасалған программалауға бейімделген оқыту жүйесі қолданылса, бақылау тобы дәстүрлі оқыту әдісімен білім алды.

Бақылау кезеңі үшінші кезең ретінде 2024–2025 оқу жылында өткізілді. Бұл кезеңде бақылау және эксперименттік топтардағы студенттердің программалау саласындағы білім деңгейлері салыстырмалы түрде сарапталды. Сондай-ақ, эксперименттік оқыту әдісі мен дәстүрлі тәсілдің нәтижелері арасындағы айырмашылықтардың статистикалық мәнділігіне қатысты гипотеза тексерілді.

Студенттердің ұсынылған әдістемелік жүйеге деген қызығушылығын және оның пәнге деген мотивацияға ықпалын анықтау мақсатында арнайы сауалнама жүргізілді. Бақылау құралы ретінде сауалнама материалдары қолданылып, сараптамалық бағалау арқылы тест тапсырмаларының жарамдылығы мен мазмұндық сәйкестігі бағаланды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде әзірленген бейімделген оқыту жүйесінің болашақ информатика мұғалімдерінің программалау саласындағы білімдерін жетілдіруге ықпал ететіні дәлелденді.

Зерттеу нәтижелері

Эксперименттік жұмыстың мазмұнына нақтырақ тоқталатын болсақ, программалау пәні 3-курс студенттерінің оқу жоспарына бесінші семестрде енгізіліп, оқу үрдісінің бір бөлігі ретінде өткізілді. Студенттердің программалау бойынша білім деңгейін бағалау, сондай-ақ оқыту нәтижесінде орын алған өзгерістерді анықтау мақсатында, тест тапсырмалары эксперименттің бастапқы және қорытынды кезеңдерінде қолданылды. Жинақталған мәліметтер Кесте 2-де ұсынылған.

Тест тапсырмаларының жалпы саны 20 сұрақтан тұрғандықтан, алынған нәтижелерді талдау мақсатында білім деңгейлері үш санатқа бөлінді: төмен, орта және жоғары. Бұл деңгейлерге сәйкес шекті балл мөлшерлері келесідей анықталды: төмен деңгей — 10 балл, орта деңгей — 15 балл, жоғары деңгей — 20 балл.

Кесте 2. Экспериментке дейін алынған тест нәтижелері

р/с	*БТ, (экспериментке дейін дұрыс жауаптар саны)*	*ЭТ, (экспериментке дейін дұрыс жауаптар саны)*
1	*10*	*12*
2	*9*	*11*
3	*8*	*10*
4	*11*	*14*
5	*10*	*18*
6	*8*	*6*
7	*12*	*8*
8	*7*	*3*
9	*18*	*16*
10	*7*	*4*
11	*5*	*17*
12	*9*	*8*
13	*7*	*7*
14	*6*	*9*
15	*3*	*5*
16	*16*	*9*
17	*7*	*7*
18	*8*	*6*
19	*8*	*9*
20	*17*	*8*
21	*8*	*7*
22	*7*	*7*
23	*6*	*6*
24	*5*	*8*
25	*11*	*9*
26	*9*	*7*
27	*18*	*9*
28	*9*	*9*
29	*6*	*5*

Аталған межелер негізінде алынған мәліметтер Кесте 3-те ұсынылған.

Кесте 3. Тест нәтижелерінің деңгейлері

Деңгей	*Дұрыс жауаптар саны*
Төмен	*10*
Орта	*15*
Жоғарғы	*20*

Кесте 4-те берілген мәліметтерге сүйенетін болсақ, экспериментке дейін БТ мен ЭТ студенттерінің деңгейлерінде айтарлықтай айырмашылық байқалмайды.

Кесте 4. БТ және ЭТ экспериментке дейінгі жауап беру деңгейлері

Деңгей	*БТ, (студент саны)*	*ЭТ, (студент саны)*
Төменгі	*22*	*23*
Орта	*3*	*3*
Жоғарғы	*4*	*3*

Атап айтқанда, төменгі деңгейде – яғни 10 сұраққа дұрыс жауап берген – бақылау тобында 22, ал эксперименттік топта 23 студент тіркелген. Орта деңгейде (15 сұрақ) – әр топта 3 студенттен, ал жоғары деңгейге (20 сұрақ) сәйкес келетін студенттер саны бақылау тобында 4, эксперименттік топта 3 болған.

Экспериментке дейінгі бақылау тобы (БТ) мен эксперименттік топтың (ЭТ) тест нәтижелерін талдау мақсатында қатысушылардың дұрыс жауаптар саны негізге алынып, оларды деңгейлерге бөліп топтастыру үшін «қалта» әдісі қолданылды. Осы тәсілдің көмегімен алынған деректер Кесте 5-те ұсынылған.

Кесте 5. Студенттердің білім деңгейлерінің «қалта» әдісімен топтастырылуы

Қалта	*Жиілік*
3	*1*
6	*5*
9	*14*
12	*5*
15	*0*
Қалғаны	*4*

Талдау нәтижелерін гистограмма түрінде бейнелеуге болады, төмендегі Сурет 1.

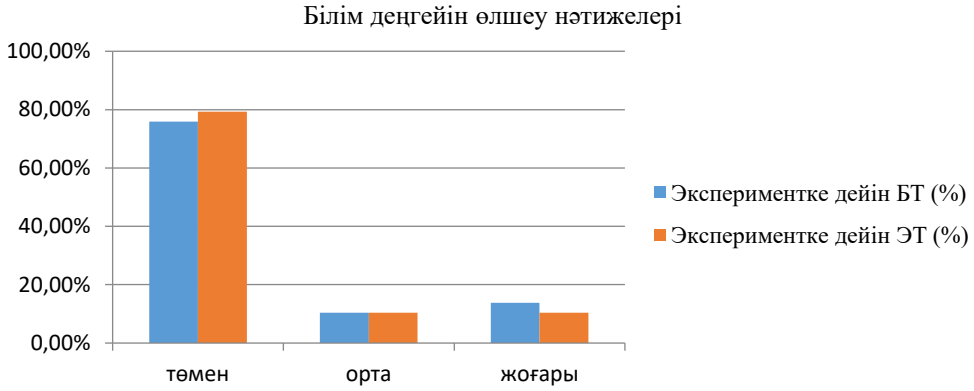
Сурет 1. Тесттегі жауаптар жиілігі

Бұл мәліметтерді пайыздық көрсеткішпен Кесте 6-дан көруге болады.

Кесте 6. БТ және ЭТ экспериментке дейінгі жауап беру деңгейлерінің пайыздық көрсеткіштері

Деңгей	*БТ (%)*	*ЭТ (%)*
Төмен	*75,86%*	*79,31%*
Орта	*10,34%*	*10,34%*
Жоғарғы	*13,79%*	*10,34%*

Кестеде берілген мәліметтерді диаграмма арқылы Сурет 2-де көруге болады.



Сурет 2. Экспериментке дейін БТ мен ЭТ деңгейлері

Өткізілген тестілеу нәтижелерін сараптай келе, студенттердің басым көпшілігінің программалаудан білім деңгейі төмен немесе орташа деңгейде екені анықталып отыр.

Осы оқу жылында программалау пәні бойынша арнайы жаңартылған оқу курсы әзірленді. Бұл курс бейімделген оқыту принциптеріне негізделіп, студенттердің жеке оқу қажеттіліктерін ескере отырып құрылды.

Семинар сабақтарында келесі оқу міндеттерін шешу ұсынылды:

- студенттердің программалау негіздеріне қатысты бастапқы білімдерін анықтау;
- оқу материалдарын студенттердің дайындық деңгейіне сәйкес бейімдеу;
- алгоритмдік ойлау мен проблемаларды шешу дағдыларын дамыту;
- практикалық тапсырмалар арқылы білімді тереңдету және бекіту;
- рефлексия мен өзін-өзі бағалау элементтерін енгізу арқылы оқу мотивациясын арттыру.

Студенттерге сабақ өту барсында программалауды бейімделген оқыту негізінде жасалған электрондық оқу курсы қолданылды. Электрондық курс – бұл оқытушы, білім алушы және әртүрлі географиялық аймақтарда орналасқан оқу ақпарат көздері арасындағы өзара әрекеттестікті ұйымдастыратын арнайы техникалық және бағдарламалық шешімдер жиынтығы. Аталған құралдар арқылы ғаламдық желі мүмкіндіктері пайдаланылып, программалау курсы бейімделген оқыту негізінде жүзеге асырылды.

Педагогикалық эксперимент барысында электрондық ресурстарды қолдану студенттердің программалау пәнін жылдам әрі қызығушылықпен меңгеруіне оң ықпал еткені байқалды. Эксперименттік топта сабақ бейімделген оқыту әдістемесі бойынша, ал бақылау тобында дәстүрлі әдістермен жүргізілді. Сабақ жүргізу үдерісінде эксперименттік топ студенттерінің пәнге деген қызығушылығы мен белсенділігінің артқаны байқалды.

Курстың барлық тақырыптары қамтылғаннан кейін, семестр соңында бақылау және эксперименттік топтарға программалау пәні бойынша білім деңгейін бағалау мақсатында қайта тест жүргізілді. Тест нәтижелерінің сенімділігін анықтау үшін статистикалық талдау Python бағдарламалау тілі және scipy.stats кітапханасы көмегімен жүргізілді, мұнда Вилкоксон-Манн-Уитни критерийі қолданылды [13].

Бұл тәсіл талдаудың дәлдігі мен қайталануын қамтамасыз етеді, сондай-ақ зерттеу әдіснамасының ашықтығын арттырады. Python программалау ортасының кең мүмкіндіктері, оның ішінде ғылыми есептеулерге арналған мамандандырылған кітапханалар, зерттеу деректерін дәл әрі объективті талдауға кепілдік берді. Python-ды қолдану сонымен қатар зерттеудің қайталануын арттырып, алынған нәтижелердің сенімділігіне қосымша негіз болды. Қолданылған кодтан үзінділер және оның нәтижелері зерттеу нәтижелерін растау үшін төменде келтірілген.

```
import numpy as np
from scipy.stats import mannwhitneyu
control_group_scores = np.array([10, 9, 8, 11, 10, 8, 12, 7, 18, 7, 5, 9, 7, 6, 3, 16, 7, 8, 8, 17, 8, 7, 6, 5, 11, 9, 18, 9, 6])
experimental_group_scores = np.array([12, 11, 10, 14, 18, 6, 8, 3, 16, 4, 17, 8, 7, 9, 5, 9, 7, 6, 9, 8, 7, 7, 6, 8, 9, 7, 9, 9, 5])
n_control = len(control_group_scores)
n_experimental = len(experimental_group_scores)
print(f"Бақылау тобының мөлшері (Б): {n_control}")
print(f"Эксперименттік тобының мөлшері (Э): {n_experimental}")
u_statistic, p_value = mannwhitneyu(control_group_scores, experimental_group_scores, alternative='two-sided')
print(f"\nU-статистикалық (из SciPy): {u_statistic:.4f}")
print(f"P-мәні ( SciPy-дан): {p_value:.4f}")
mean_u = (n_control * n_experimental) / 2
std_u = np.sqrt((n_control * n_experimental * (n_control + n_experimental + 1)) / 12)
z_statistic_calculated = abs((mean_u - u_statistic) / std_u)
print(f"Сіздің формулаңызға сәйкес есептелген Z-статистикасы (W_эмп): {z_statistic_calculated:.4f}")
alpha = 0.05
if p_value < alpha:
    print(f"\nP-мәні ({p_value:.4f}) < alpha ({alpha}).")
        print("Біз нөлдік гипотезаны жоққа шығарамыз: топтар арасында статистикалық маңызды айырмашылық бар.")
    print("Бұл бейімделген оқытудың айтарлықтай әсер еткенін білдіреді.")
else:
    print(f"\nP-мәні ({p_value:.4f}) >= alpha ({alpha}).")
     print("Нөлдік гипотезаны қабылдамаймыз: топтар арасында статистикалық маңызды айырмашылықтар жоқ.")
```

```
P-мәні (0.0000) < alpha (0.05).
Нөлдік гипотезаны қабылдамаймыз: топтар арасында статистикалық маңызды айырмашылықтар бар.
Бұл адаптивті оқытудың маңызды әсер еткенін білдіреді.
```

Өлшеу формуласы төменде келтірілген.

$$W_{ЭМП} = \frac{\left| \frac{Б * Э}{2} - U \right|}{\sqrt{\frac{Б * Э * (Б + Э + 1)}{12}}} \quad (1)$$

Айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығы $p \leq 0{,}05$ деңгейінде, яғни 95% сенімділікпен анықталды. Эксперименттен кейінгі тест нәтижелерімен Кесте 7-де танысуға болады.

Кесте 7. Эксперименттен кейінгі БТ және ЭТ тестілеу нәтижелері

р/с	*БТ (дұрыс жауаптар саны)*	*ЭТ (дұрыс жауаптар саны)*
1	*16*	*15*
2	*12*	*18*
3	*14*	*17*
4	*17*	*20*
5	*11*	*16*
6	*9*	*15*
7	*15*	*15*
8	*8*	*16*
9	*6*	*14*

10	*13*	*17*
11	*17*	*19*
12	*19*	*16*
13	*15*	*15*
14	*11*	*15*
15	*9*	*10*
16	*19*	*18*
17	*8*	*14*
18	*6*	*20*
19	*9*	*18*
20	*12*	*20*
21	*11*	*10*
22	*17*	*15*
23	*10*	*18*
24	*8*	*16*
25	*8*	*20*
26	*20*	*14*
27	*19*	*17*
28	*6*	*16*
29	*14*	*15*

Кесте 7-де берілген мәліметтерге сәйкес БТ және ЭТ эксперименттен кейінгі жауап беру деңгейлері Кесте 8-де берілген.

Кесте 8. БТ және ЭТ эксперименттен кейінгі жауап беру деңгейлері

Деңгей	*БТ, (студент саны)*	*ЭТ, (студент саны)*
Төменгі	*11*	*2*
Орта	*10*	*10*
Жоғарғы	*8*	*17*

Жоғарыда мәліметтерді пайыздық көрсеткіштермен қарап көрсек, эксперименттен кейін эксперименталды топтың жоғарғы және орта деңгейлері өсіп, төмен деңгейі аз болғаны анықталды, бұл мәліметтер Кесте 9-да берілген.

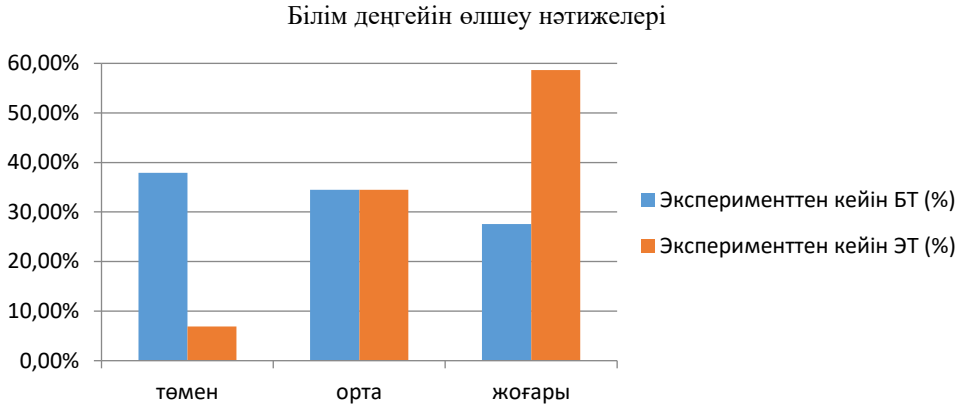
Кесте 9. БТ және ЭТ эксперименттен кейінгі жауап беру деңгейлерінің пайыздық көрсеткіштері

Деңгей	*БТ (%)*	*ЭТ (%)*
Төмен	37,93%	6,90%
Орта	34,48%	34,48%
Жоғарғы	27,59%	58,62%

Кестеде берілген мәліметтерді диаграмма түрінде Сурет 3-те көрсетілген.

Дискуссия

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 жүйе болашақ информатика мұғалімдерінің программалау бойынша білім деңгейін жоғарлатып, пәнге деген қызығушылықтарын арттырып, өз мамандықтарының іргетасымен танысуларына үлкен септігін тигізіп отыр [14].



Сурет 3. Эксперименттен кейін БТ мен ЭТ деңгейлері

Қорытынды

Оқытудың қорытынды кезеңінде енгізілген программалауға бейімделген оқу курсы болашақ информатика мұғалімдерінің программалау саласындағы базалық және практикалық дағдыларын қалыптастыруда маңызды рөл атқарды. Бұл курс студенттердің программалаудың теориялық және практикалық негіздерін меңгеруіне мүмкіндік берді. Сонымен қатар, курс аясында студенттер программалау тілдерінің негізгі ұғымдары мен қағидаларын түсініп, алгоритмдік ойлау қабілеттерін дамытып, код жазу және программалық жүйелерді жобалау бойынша практикалық тәжірибе жинақтады.

Жүргізілген педагогикалық эксперимент нәтижелері көрсеткендей, тәжірибе басталғанға дейін бақылау тобы (БТ) мен эксперименттік топ (ЭТ) студенттерінің программалау бойынша бастапқы білім деңгейлері бірдей, негізінен төмен деңгейде болды. Алайда бейімделген оқыту әдістемесі енгізілгеннен кейін эксперименттік топтың білім нәтижелерінде айтарлықтай оң өзгерістер байқалды. Эксперимент соңындағы тестілеу нәтижелері ЭТ студенттерінің деңгейінің едәуір артқанын көрсетті, бұл ұсынылған оқыту жүйесінің тиімділігін нақты дәлелдейді.

Қорытындылай келе, әзірленген және қолданылған жаңартылған оқу жүйесі болашақ информатика мұғалімдерінің программалау бойынша білім сапасын арттыруға, пәнге деген қызығушылықтарын күшейтуге және кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастыруға елеулі үлес қосатыны анықталды. Бұл тәжірибе болашақта информатика пәнін оқытудың мазмұнын жаңартуда және оқыту әдістерін жетілдіруде тиімді құрал бола алады.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Taylor, Deborah & Yeung, Michelle & Bashet, A.Z. (2021). Personalized and Adaptive Learning. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-58948-6_2

[2] Binucci, F., Banelli, P., Di Lorenzo, P. et al. Adaptive resource optimization for edge inference with goal-oriented communications. EURASIP J. Adv. Signal Process. 2022, 123 (2022). https://doi.org/10.1186/s13634-022-00958-0

[3] Johnson, N.F., Leahy, R., Restrepo, N.J.et al. Hidden resilience and adaptive dynamics of the global online hate ecology. Nature 573, 261–265 (2019).https://doi.org/10.1038/s41586-019-1494-7

[4] Mirari, Kaitlynn. (2022). The Effectiveness of Adaptive Learning Systems in Personalized Education. Journal of Education Review Provision. 2. 70-76. 10.55885/jerp.v2i3.194.

[5] Rivera Muñoz at all (2022). Systematic Review of Adaptive Learning Technology for Learning in Higher Education. Eurasian Journal of Educational Research (EJER). 98. 221-233. 10.14689/ejer.2022.98.014.

[6] Bell, B., Kelsey, E., Nye, B., Bennett, W.(. (2020). Adapting Instruction by Measuring Engagement with Machine Learning in Virtual Reality Training. In: Sottilare, R.A., Schwarz, J. (eds) Adaptive Instructional Systems. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12214. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50788-6_20

[7] Ling, Hsiao-Chi & Chiang, Hsiu-Sen. (2022). Learning Performance in Adaptive Learning Systems: A Case Study of Web Programming Learning Recommendations. Frontiers in Psychology. http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2022.770637

[8] Contrino, M.F., Reyes-Millán, M., Vázquez-Villegas, P. et al. Using an adaptive learning tool to improve student performance and satisfaction in online and face-to-face education for a more personalized approach. Smart Learn. Environ. 11, 6 (2024). https://doi.org/10.1186/s40561-024-00292-y

[9] Nazym Tekesbaeva, Yaroslav Kultan, Aliya Ongarbayeva, Almazbek Ibraev and Zhazira Yerimbetova. Digital technologies as an adaptive learning tool in higher education. E3S Web Conf., 403 (2023) 08023 DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340308023

[10] Текесбаева Н.А., Ошанова Н.Т., Жунусова Л.Х., Ануарбекова Г.Д. Инновационные подходы цифровизации образования на основе адаптивных технологий обучения. Вестник КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки», No1(85), 2024 г. 296–304. https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.85.1.028

[11] Tekesbayeva N., Bukanova A., Anuarbekova G., Kami A. Development of an adaptive learning model based on cognitive styles III. International symposium on anglo-american cultural and literary studies December 22-23, 2024 Ankara, Türkiye.

[12] Tekesbayeva N.A. Adaptive learning of programming for future computer science teachers: development and testing in the context of educational digitalization. International congress on natural sciences & applied mathematics June 07-08, 2024 / Istanbul Istanbul Gedik University

[13] Новиков Д.А. Статистические методы в педагогических исследованиях. М.:МЗ-Пресс, 2004.-67 с.

[14] Oshanova, N., Bolshevikovna, G., Tekesbayeva, N., Turashova, S., Anuarbekova, G., & Bukanova, A. (2025). Evaluación de la Eficacia de un Sistema de Monitoreo de Ejercicios en Tiempo Real Impulsado por Inteligencia Artificial en el Aprendizaje Colaborativo Asistido por Computadora. Retos, 67, 580–596. https://doi.org/10.47197/retos.v67.114434

References

[1] Taylor, Deborah & Yeung, Michelle & Bashet, A.Z. (2021). Personalized and Adaptive Learning. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-58948-6_2

[2] Binucci, F., Banelli, P., Di Lorenzo, P. et al. Adaptive resource optimization for edge inference with goal-oriented communications. EURASIP J. Adv. Signal Process. 2022, 123 (2022). https://doi.org/10.1186/s13634-022-00958-0

[3] Johnson, N.F., Leahy, R., Restrepo, N.J. et al.Hidden resilience and adaptive dynamics of the global online hate ecology. Nature 573, 261–265(2019). https://doi.org/10.1038/s41586-019-1494-7

[4] Mirari, Kaitlynn. (2022). The Effectiveness of Adaptive Learning Systems in Personalized Education. Journal of Education Review Provision. 2. 70-76. 10.55885/jerp.v2i3.194.

[5] Rivera Muñoz at all (2022). Systematic Review of Adaptive Learning Technology for Learning in Higher Education. Eurasian Journal of Educational Research (EJER). 98. 221-233. 10.14689/ejer.2022.98.014.

[6] Bell, B., Kelsey, E., Nye, B., Bennett, W.(. (2020). Adapting Instruction by Measuring Engagement with Machine Learning in Virtual Reality Training. In: Sottilare, R.A., Schwarz, J. (eds) Adaptive Instructional Systems. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12214. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50788-6_20

[7] Ling, Hsiao-Chi & Chiang, Hsiu-Sen. (2022). Learning Performance in Adaptive Learning Systems: A Case Study of Web Programming Learning Recommendations. Frontiers in Psychology. http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2022.770637

[8] Contrino, M.F., Reyes-Millán, M., Vázquez-Villegas, P. et al. Using an adaptive learning tool to improve student performance and satisfaction in online and face-to-face education for a more personalized approach. Smart Learn. Environ. 11, 6 (2024). https://doi.org/10.1186/s40561-024-00292-y

[9] Nazym Tekesbaeva, Yaroslav Kultan, Aliya Ongarbayeva, Almazbek Ibraev and Zhazira Yerimbetova. Digital technologies as an adaptive learning tool in higher education. E3S Web Conf., 403 (2023) 08023 DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340308023

[10] Tekesbaeva, N., Oshanova, N., Zhunusova, L. i Anuarbekova, G. (2024) Innovacionnye podhody cifrovizacii obrazovanija na osnove adaptivnyh tehnologij obuchenija [Innovative approaches to digitalization of education based on adaptive learning technologies]. Vestnik KazNPU imeni Abaja. Serija: Fiziko-matematicheskie nauki. 1(85), 296–304. https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.85.1.028 (In Russian)

[11] Tekesbayeva N., Bukanova A., Anuarbekova G., Kami A. Development of an adaptive learning model based on cognitive styles III. International symposium on anglo-american cultural and literary studies December 22-23, 2024 Ankara, Türkiye.

[12] Tekesbayeva N.A. Adaptive learning of programming for future computer science teachers: development and testing in the context of educational digitalization. International congress on natural sciences & applied mathematics June 07-08, 2024 / Istanbul Istanbul Gedik University

[13] Novikov D.A. (2004) Statisticheskie metody v pedagogicheskih issledovanijah [Statistical methods in educational research]. M.:M3-Press, 67. (In Russian)

[14] Oshanova, N., Bolshevikovna, G., Tekesbayeva, N., Turashova, S., Anuarbekova, G., & Bukanova, A. (2025). Evaluación de la Eficacia de un Sistema de Monitoreo de Ejercicios en Tiempo Real Impulsado por Inteligencia Artificial en el Aprendizaje Colaborativo Asistido por Computadora. Retos, 67, 580–596. https://doi.org/10.47197/retos.v67.114434

ҒТАХР 14.35.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.029

А.Ш. Уәлихан[1*], М.К. Скаков[2], Ш.Ж. Раманкулов[1], А. Чорух[3]

[1]Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан
[2] С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан
[3]Сакарья университеті, Сакарья қ., Туркия
[*]*e-mail: almagul.ualikhan@ayu.edu.kz*

БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫНДА STEM ЭЛЕМЕНТТЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ ТӘЖІРИБЕСІ

Аңдатпа

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының жоғары оқу орындарында «Атом физикасы» курсын оқыту мазмұны мен құрылымын талдауға бағытталды. Университеттердің оқу жоспарлары мен ресми құжаттары негізінде жүргізілген мазмұндық, статистикалық, факторлық және салыстырмалы талдау нәтижелері курстың әртүрлі университеттерде оқытылуында айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін көрсетті. Атап айтқанда, кредит саны, семестрлік жүктеме, лекциялық, практикалық және зертханалық сабақтардың арақатынасы, сондай-ақ оқытушылардың біліктілігі мен академиялық мүмкіндіктер деңгейінде өзгешеліктер байқалды. 93 студент қамтылған сауалнама нәтижелері бойынша курстың құрылымдық тиімділігі, материалдық-техникалық база, оқытушылардың әдістемелік құзыреттілігі және қаржылық қолжетімділік факторлары оң бағаланды (орташа мәндер 4,2–4,4 аралығында, Кронбах альфа коэффициенті 0,906–0,944). Бұл мәліметтер студенттердің оқу бағдарламасын жалпы жағынан қолдайтынын көрсетсе де, оқу процесін жетілдіру қажеттілігін айқындайды. Эксперименттік бөлімде STEM тәсілін қолдану курстың мазмұнын практикамен байланыстырудың тиімді құралы ретінде қарастырылды. STEM әдістерін енгізу – студенттердің пәнді терең түсінуін, зерттеушілік және жобалық қабілеттерін дамытуды, инженерлік ойлау мен цифрлық технологияларды қолдану дағдыларын жетілдіруді қамтамасыз ететіні анықталды. Қорытындысында, «Атом физикасы» курсын STEM интеграциясы негізінде жаңғырту болашақ физика мұғалімдерінің кәсіби құзыреттілігін арттыруға, ұлттық білім беру сапасын жақсартуға және білім беру жүйесін халықаралық стандарттарға сәйкестендіруге ықпал ететіні дәлелденді.

Түйін сөздер: атом физикасы, болашақ физика мұғалімдері, білім беру бағдарламасы, статистикалық талдау, факторлық талдау, салыстырмалы талдау, STEM.

А.Ш. Уәлихан[1], М.К. Скаков[2], Ш.Ж. Раманкулов[1], А. Чорух[3]
[1]Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави, г.Туркестан, Казахстан.
[2]Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г.Усть-Каменогорск, Казахстан.
[3]Университет Сакарья, г.Сакарья, Туркия.

ОПЫТ ИНТЕГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ STEM В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ

Аннотация

Данное исследование направлено на анализ содержания и структуры курса «Атомная физика» в высших учебных заведениях Республики Казахстан. На основе учебных планов и официальных документов университетов проведён содержательный, статистический, факторный и сравнительный анализ, результаты которого показали существенные различия в преподавании курса в разных университетах. В частности, выявлены отличия в количестве кредитов, семестровой нагрузке, соотношении лекционных, практических и лабораторных занятий, а также в уровне квалификации преподавателей и академических возможностей. Результаты анкетирования, в котором приняли участие 93 студента, показали, что структурная эффективность курса, материально-техническая база, методическая компетентность преподавателей и финансовая доступность были оценены положительно (средние значения находились в диапазоне 4,2–4,4, коэффициент альфа Кронбаха – 0,906–0,944). Эти данные свидетельствуют о том, что студенты в целом поддерживают учебную программу, однако существует необходимость её совершенствования. В экспериментальной части рассмотрено применение STEM-подхода как эффективного инструмента для увязки содержания курса с практикой.

Установлено, что внедрение STEM способствует более глубокому пониманию дисциплины студентами, развитию исследовательских и проектных навыков, инженерного мышления и умений использовать цифровые технологии. В заключение, модернизация курса «Атомная физика» на основе STEM-интеграции способствует повышению профессиональной компетентности будущих учителей физики, улучшению качества национального образования и приведению образовательной системы в соответствие с международными стандартами.

Ключевые слова: атомная физика, будущие преподаватели физики, образовательная программа, статистический анализ, факторный анализ, сравнительный анализ, STEM.

A.Sh. Ualikhan[1], M.K. Skakov[2], Sh.Zh. Ramankulov[1], A. Coruh[4]
[1]A. Yassawi international Kazakh-Turkish university, Turkestan, Kazakhstan.
[2] S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.
[3]Sakarya University, Sakarya, Turkey.

EXPERIENCE OF INTEGRATING STEM ELEMENTS INTO EDUCATIONAL PROGRAMS

Abstract

This study focuses on analyzing the content and structure of the “Atomic Physics” course in higher education institutions of the Republic of Kazakhstan. Based on university curricula and official documents, a content, statistical, factor, and comparative analysis was conducted. The results revealed significant differences in the way the course is taught across universities, particularly in terms of credit allocation, semester workload, the ratio of lectures, practical and laboratory sessions, as well as in the qualifications of teaching staff and academic opportunities. A survey involving 93 students demonstrated that the structural efficiency of the course, material and technical resources, teachers’ methodological competence, and financial accessibility were evaluated positively (mean values ranged between 4.2–4.4, Cronbach’s alpha coefficient between 0.906–0.944). These findings indicate that, while students generally support the program, there is a clear need for further improvement. In the experimental section, the STEM approach was considered as an effective tool for linking the course content with practice. It was found that the integration of STEM enhances students’ deeper understanding of the discipline, develops their research and project skills, fosters engineering thinking, and strengthens digital technology competencies. In conclusion, the modernization of the “Atomic Physics” course through STEM integration contributes to improving the professional competence of future physics teachers, enhancing the quality of national education, and aligning the educational system with international standards.

Keywords: atomic physics, future physics teachers, educational program, statistical analysis, factor analysis, comparative analysis, STEM.

Кіріспе

Зерттеу Қазақстан Республикасындағы жоғары оқу орындарында «Атом физикасы» курсын оқыту жүйесін талдауға бағытталған. «Атом физикасы» курсының мазмұндық ерекшеліктерін, білім беру бағдарламаларындағы айырмашылықтарды статистикалық, факторлық және салыстармалы талдау әдістерімен бағалау және оқыту үдерісін жетілдіру бойынша ұсыныстар әзірлеу. Дереккөзі ретінде ҚР білім және ғылым министрлігінің нормативтік құжаттары, ғылыми зерттеулер мен халықаралық тәжірибелер пайдаланылды. Зерттеу шекаралары Қазақстандағы ЖОО шектеліп, «Атом физикасы» курсын оқытуға ғана бағытталған, ал нәтижелер негізінен теориялық және әдістемелік ұсыныстар әзірлеуге бағытталған.

Қазіргі заманғы білім беру жүйесінде физика мұғалімдерін сапалы даярлау маңызды міндеттерің бірі болып табылады. Ғылым және технологияның қарқынды дамуы «Атом физикасы» пәнін оқытуда жаңашыл әдістермен жетілдіруді талап етеді. Бұл болашақ мұғалімдердің физикалық құбылыстарды терең түсінуін, оларды тәжірибелік тұрғыдан қолдана білуі үшін қажет.

Қазақстан Республикасында ЖОО-лардың физика мұғалімдерін даярлау бағдарламалары әртүрлі құрлымда жүзеге асырылады. Әр университеттің оқу бағдарламасы, оқу жүктемесі, зертханалық базасы, оқытушылардың біліктілігі және академиялық мүмкіндіктері бойынша өзіндік ерекшеліктері бар. Бұл айырмашылық мұғалімдердің кәсіби құзыреттілігіне тікелей әсер етеді.

Жалпы білім беру бағдарламаларының құрлымы, оның ішідегі пәндер мен циклдар, жүктеме сыйымдылығы, академиялық сағаттар, кредиттік мәліметтер ҚР Ғылыми және жоғары білім министрінің 2022 жылғы 20 шілдедегі №2 бұйрығында келтірілген [1]. Еліміздегі білім беру бағдарламасының құрлымы Болон процесінің қағидаттарына негізделініп жасалынады. Балон процесінің негізгі мақсаттары жоғарғы білім беру жүйесінің үйлесімділігі мен салыстырмалығын арттыру, студенттер мен оқытушылардың ұтқырлығын жеңілдету және жұмысқа орналасу мәселелеріне назар аудару болып табылады [2].

Мавадда Марахман білім беру барысында білім беру бағдарламалар дайындауда тиімді нәтижені негізге алу керек екенін және міндетті түрде кәсіби түрде дамуды оңтайландыру қажет екенін айтады. Ол өз зерттеу жұмысында білім беру бағдарламасының тиімділігін арттыруға байланысты кешендер ұсынады [3]. Ал ЖОО бағдардамалардың нәтижелілігін бағалау үшін Ражак, Шривастава және Трипати тікелей және жанама бағалау құралдарын қолдану әдістемесін ұсынған болатын. Білім беру бағдарламасының оң нәтиже беріп, мықты мамандар дайындау мәселесінің шешімі дұрыс бағалауда деп санайды және олар тиімді бағалау жайлы толыққанды түсіндіреді [4].

Нәтижеге бағытталған білім беру жүйесін енгізуде курстағы нәтижелер, бағдарламалық нәтижелер және бағдарламалық білім беру мақсаттарын құрып оны жетілдіру жайлы Амирзараж және әріптестері талқылаған болатын. Бұл зерттеу жұмыссында нәтижеге бағытталған білім беру жүйесі мен таңдалмалы кредиттік жүйе маңыздылығы және артықшылығы айтылады. Авторлар білім беру бағдарламасының сапасын арттыру және аккредитация талаптарына сәйкестігі туралы жүйелі әдіс жасап оны ұсынады [5]. Нәтижеге бағытталған білім берудің негізгі принциптері, оның дәстүрлі білім беру жүйесінен айырмашылығы жайлы толыққанды баяндалған. Сонымен қатар, нәтижеге бағытталған білім берудің жаһандық ұтқырлықты арттырудағы рөлі мен халықаралық стандарттарға сәйкестендірудегі маңыздылығын Наккерен ашып көрсеткен болатын [6].

Луи Пол өз жұмысында К-12 бағдарламасында физика пәнін оқыған студенттерге зерртеу жасайды. Зерттеу барсында STEM саласындағы түлектердің физика пәні бойынша дайындық деңгейі STEM емес бағыттағы түлектерге қарағанда жоғары екенін байқайды, сонымен қатар көптеген студенттердің физика ұғымдары бойынша білімінің жеткіліксіздігін анықтайды. Осы мәселелерді қарастыра отыра оларды шешуге оңтайлы ұсыныстар ұсынады. Зерттеуде көрсетілген ұсыныстар білім беру бағдарламасында физиканы оқытудағы сабақтастық пен прогрестің артуына септігін тигізеді [7].

Шойынбаев және тағы басқа ғалымдар болашақ физика мұғалімдерін нантехнология саласында оқытудың әдістемелік негіздерін қалыптастыруға бағытталған және олардың кәсіби құзыреттілігін арттыруға септігін тигізетін тәсілдерді ұсынады. Олар зертханалық жұмыстарда әртүрлі микроскоптар мен атомдық күштері арқылы құрлымдық бағдарламаларды зерттеу маңызды рөл атқаратынын атап айтқан [8].

Білім беру бағдаламаларының құрлымы және оны стандарттарға сәйкес жасау маңызды мідеттердің бірі болып табылады. Балон процесі мен нәтижеге бағытталған білім беру жүйесі халықаралық тәжірибе негізінде Қазақстанның жоғары оқу орындарында оқу бағдарламаларын жетілдіруге ықпал етеді. Сонымен қатар, заманауи STEM әдістері, цифрлық технологиялар, зерттеу және тәжірибелік оқыту құралдарын енгізу болашақ физика мұғалімдерінің даярлығын жақсартады. Зерттеу «Атом физикасы» пәнін оқыту жүйесін жетілдіруге, оқыту жүйесін жетілдіруге, оқыту сапасын арттыруға және халықаралық тәжірибеге негізделген оңтайлы әдіестерді ұсынуға бағытталған. Бұл бағытта біздің зерттеуімізге негіз болған шетелдік және отандық ғалымдардың еңбектерін қарастыруға болады.

Ерлина және басқада ғалымдар білім беру жүйесінде атом физика пәнін оқытуда аралас оқыту әдістерін қолдану тиімділігін көрсетеді. Атомдық физика бойынша студенттерге тақырыпты толық түсінуге N-gain, яғни өзіндік өсу әдісін пайдаланған, зерттеу барысында студенттердің белсенділігі талқылау жүргізгенде жоғары болатыны байқалған. Ғалымдар

аралас оқыту әдісін қолдану тиімді екенін және болашақта осы бағытта оқу құралдарын дайындау қажеттілігін атап өткен [9]. Атом теориясының ең алғаш бастауы Демокриттің бөлінбейтін атомдар концепциясынан бастап кванттық механикаға дейінгі аралықтағы зерттеулерге талдауды Шеху және тағы басқа да ғалымдар өз еңбегінде қарастырған. Зерттеуде цифрлық оқыту, оның ішінде интерактивті симуляциялар мен вертуалды зертханалар арқылы күрделі ғылыми ұғымдарды білім алушыға түсінуге көмектесетінін атап өтіледі. Цифрлық технологияны Атом физикасын оқыту жүйесіне интеграциялау маңыздылығын айтып, ұсыныстар мен жетілдіру жолдарын көрсетеді [10].

ЖОО атом ядросы және ядролық физиканы оқыту әдістемесін Ю.Д. Абдурашидович өз жұмысында талқылаған. Инновациялық технологиялар көмегімен білім беру тиімділігін арттыруға байланысты зерттеу жұмысын жүргізген және нұсқаулықтар ұсынған. Білім беру жүйесінде атом ядросы және ядролық физиканы компьютерлік технологиялар арқылы оқыту әдістерінің аздығын анықтаған [11]. Студенттердің функционалдық сауттылығын дамыту мәселесін Н.И. Темикулова және А.Ж. Рахыметоллаева қарастырған болатын. Олар «Атом физикасы және спектроскопия» пәнін оқытуда Hard және Soft skills дағдыларын пайдаланған. Зерттеу нәтижесінде атом физикасын оқытуда өз бетінше жұмыс істеу мен зерттеуге ынталандырудың маңызды екенін және оның оң нәтиже беретінін байқаған [12]. Ақпараттық технология арқылы атомдық физика пәнін оқыту тиімділігін өз зерттеуінде Е.А. Оспанбеков қарастырған. Заманауи технологияны қолдану маңыздылығын көрсетіп, білім алушыларға оқу процесін жетілдіру бойынша ұсыныстар береді [13].

Жоғары әдебиеттерді талдай келе, «Атом физикасын» оқытуда мультимедиялық құралдар мен IT технологияларын енгізу бойынша біріңғай әдістемелік нұсқаулықтар жоқтығы, мұғалімдердің заманауи технологияны қолдану қабілетінің жеткіліксіздігі, сонымен қатар бағалау жүйесінің тиімділігін арттыру қажет екенін байқаймыз. Осы ақпараттарды ескере отыра:

– атомдық физиканы оқытуда инновациялық әдістердің интеграциясын қалай қамтамасыз етуге болады?

– «Атом физикасы» пәнінің басқада пәндермен сабақтастығын жақсарту үшін қандай әдістемелік өзгерістер енгізуге болады?

Студенттердің атом физикасын игеруін тиімді бағалау әдісі қандай? деген сұрақтар әлі қамтылмағанын байқадық. Білім беру бағдарламаларында теориялық білімге басымдық береді, алайда оның нақты өмірдегі қолданылуы жеткілікті көрсетілмейді. Сонымен қатар, практикалық зерттеулерге негізделген оқыту әдістері студенттердің пәнге қызығушылығын арттырады, бірақ олар барлық университтерде бірегей қолжетімді емес.

Біздің зерттеуіміз осы және басқа да сұрақтардың шешімін айқындауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеудің жетекші идеясы «Атом физикасы» курсының білім беру бағдарламаларының тиімділігін арттыру мен оқу процесін оңтайландыруға бағыттылған ұсыныстар жасау болып табылады.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасындағы жоғары оқу орындарының «В010 – Физика мұғалімдерін даярлау» білім беру бағдарламалары аясында жүргізілді. Негізгі нысан ретінде осы бағдарламалардағы «Атом физикасы» курсы таңдап алынды. Зерттеу барысында курстың мазмұнын, құрылымын және тиімділігін бағалау үшін кешенді әдістер қолданылды.

Мазмұндық талдау. ҚР әдістемелік нұсқаулықтары мен мемлекеттік стандарттары негізінде университеттердің ресми сайттарынан алынған оқу жоспарларына мазмұндық талдау жасалды. Бұл әдіс курстың мазмұндық құрылымын, пәннің оқытылу семестрі мен кредиттік жүктемесін, лекция, практикалық және зертханалық сабақтардың арақатынасын анықтауға мүмкіндік берді.

Салыстырмалы және статистикалық талдау. ЖОО-лар арасындағы оқу бағдарламаларының құрылымдық ерекшеліктері салыстырылып, сандық деректер бойынша статистикалық талдау жүргізілді. Бұл талдау студенттердің оқу жүктемесін, лекция, практика, зертхана сағаттарының ұзақтығын, оқытушылардың біліктілігін және академиялық ұтқырлық көрсеткіштерін қамтыды. Орташа мән (Mean) мен стандартты ауытқу (SD) есептеліп, бағдарламалардың айырмашылықтары объективті түрде бағаланды.

Сауалнама әдісі. Зерттеу аясында студенттердің «Атом физикасы» курсын оқыту сапасына көзқарасын анықтау үшін сауалнама жүргізілді. Сауалнама төрт негізгі факторға негізделді:

- оқу бағдарламасының құрылымдық тиімділігі,
- материалдық-техникалық база және ресурстар,
- оқытушылардың біліктілігі мен әдістемесі,
- қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер.

Зерттеуге 93 студент қатысты: Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті және С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің студенттері.

Факторлық талдау (SPSS бағдарламасы). Сауалнама нәтижелері SPSS бағдарламасы арқылы өңделді. Орташа мәндер мен стандартты ауытқулар есептеліп, факторлық талдау жүргізілді. Сауалнама ішкі сәйкестігі мен сенімділігін бағалау үшін Кронбах альфа коэффициенті қолданылды. Нәтижелер келесі интерпретация шкаласына сәйкес бағаланды:

$\alpha < 0{,}5 =$ *Қабылданбайды (unacceptable)*
$\alpha > 0{,}5 =$ *Төмен (poor)*
$\alpha > 0{,}6 =$ *Күмәнді (questionable)*
$\alpha > 0{,}7 =$ *Қабылданарлық (acceptable)*
$\alpha > 0{,}8 =$ *Жақсы (good)*
$\alpha > 0{,}9 =$ *Өте жақсы (excellent)*

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу барысында Қазақстан Республикасындағы ЖОО-ларының физика мұғалімдерін даярлауға арналған білім беру бағдарламалары бойынша деректер жиналып мазмұндық және салыстырмалы талдау жасалынды. Нәтижелі зерттеу жүргізу бірнеше университеттің «Атом физикасы» курсының құрлымдық ерекшеліктерін, оқу жуктемесіне және бағалау жүйелеріне статистикалық және факторлы талдау жасалынды.

1 кестеде ҚР-ның ЖОО-ларындағы «В010 – Физика мұғалімдерін даярлау» білім беру бағдарламасы тобының білім беру бағдарламалары, курс атауы және кредит саны мен оқыту семестрі көрсетілген [9].

Кесте 1. ҚР-ның ЖОО-ларындағы «В010 – Физика мұғалімдерін даярлау» білім беру бағдарламасы

№	*ЖОО атауы*	*Білім беру бағдарламалары*	*Курс атауы*	*Кредит саны*	*Семестр*
1	*Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ түрік университеті*	*6В01510 Физика*	*«Атом физикасы»*	*5*	*VI*
2	*Астана Халықаралық университеті*	*6В01505 Физика*	*«Атом физикасы мен спектроскопия»*	*6*	*V*
3	*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті*	*6В01510 Физика пәнінен мұғалімдер даярлау*	*«Атом физикасы мен спектрометрия»*	*5*	*V*

4	*Қазақ ұлттық қыздар университеті*	*6В01504 Физика*	*«Атомдық және ядролық физика»*	*5*	*VI*
5	*Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті*	*6В01504 Физика*	*«Атомның, атом ядросының және қатты дененің физикасы»*	*5*	*V*
6	*І. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті*	*6В01503 Физика*	*«Атом және атом ядросы физикасы»*	*6*	*VI*
7	*Ж.А. Тәшенов атындағы университеті*	*6В01502 Физика*	*«Атом физикасы»*	*5*	*VII*
8	*М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті*	*6В015320 Физика*	*«Атом физикасы»*	*5*	*VII*
9	*Орталық Азия Инновациялық Университеті*	*6В01507 Физика-информатика*	*«Атомдық және ядролық физика»*	*5*	*VI*
10	*Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті*	*6В01501 Физика мұғалімдерін даярлау*	*«Атомдық және ядролық физика»*	*5*	*VI*
11	*С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті*	*6В01504 Физика*	*«Ядролық энергетикалық қондырғылардың негізгі материалдары»*	*5*	*V*
12	*Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті*	*6В01503 Физика*	*«Атом физикасы»*	*5*	*VII*
13	*А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті*	*6В01501 Физика 6В01536 Физика-математика 6В01528 Физика-информатика*	*«Атомдық және ядролық физика»*	*5*	*VI*
14	*Академик З. Алдамжар атындағы Қостанай әлеуметтік-техникалық университеті*	*6В01519 Физика*	*«Атом және атом ядросының физикасы»*	*5*	*VI*
15	*Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті*	*6В01503 Физика*	*«Атом физикасы»*	*5*	*VI*
16	*М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қарағанды университеті*	*6В01503 Физика*	*«Атом физикасы мен спектроскопия»*	*6*	*V*
17	*М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті*	*6В01504 Физика 6В01536 Физика (IP)*	*«Атом және атом ядросының физикасы»*	*5*	*VI*
18	*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті*	*6В01501 Физика мұғалімдерін даярлау*	*«Атомдық және ядролық физика»*	*5*	*VI*
19	*Ш. Мұртаза атындағы Халықаралық инновациялық институты*	*6В01508 Физика(IP)*	*«Атом және атом ядросының физикасы»*	*5*	*VI*

20	*С. Демирель атындағы университеті*	*6В01503 Физика-Информатика*	*«Атомдық және ядролық физика»*	*5*	*VI*
21	*Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті*	*6В01501 Физика пәнінің мұғалімі*	*«Атом физикасы мен спектроскопия»*	*6*	*V*
22	*Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженеринг университеті*	*6В01501 Физика 6В01510 Физика*	*«Ядролық энергетикалық қондырғылардың негізгі материалдары»*	*5*	*V*
23	*Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті*	*6В01511 Физик 6В01510 Физика-Информатика*	*«Атом физикасы»*	*5*	*VI*
24	*Ы. Алтынсарин атындағы Арқалық педагогикалық университеті*	*6В01501 Физика*	*«Атом физикасы мен спектроскопия»*	*6*	*V*
25	*Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті*	*6В01582 Физика мұғалімдерін даярлау*	*Атом және атом ядросының физикасы*	*5*	*V*
26	*Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті*	*6В01501 Физика*	*Атом ядросы және элементар бөлшектер физикасы*	*5*	*V*
27	*Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті*	*6В01520 Физика*	*«Атом физикасы мен спектроскопия»*	*6*	*V*

Жүргізілген мазмұндық талқылау нәтижесінде ҚР ЖОО-ларында «Атом физикасы» курсын оқыту құрылымының әртүрлігі анықталды. Кейбір университеттер классикалық атом физикасына басымдық берсе, басқалары ядролық, спектроскопиялық немесе кванттық механика аспектілерін тереңірек қарастырады. Бұл айырмашылық болашақ мұғалімдердің оқыту стилі мен кәсіби құзыреттілігіне тікелей әсер етеді. Сонымен қатар, зерттеу барысында лекция, практикалық және зертханалық сабақтар саны арасындағы айырмашылықты байқадық. Ең маңыздысы курсты әр университеттер әр семестрда оқытады, ал бұл университеттер арасында академиялық ұтқырлық бағдарламаларын жүзеге асыру кезінде оқу жоспарларындағы айырмашылықтар студенттердің бір университеттен екінші университетке ауысын қиындатады. Осы айырмашылықты байқай отыра салыстыру үшін екі университеттет 2 кестеде көрсетілген арасында статистикалық талдау жасалынды.

Кесте 2. Екі университеттет оқу бағдарламалары арасындағы айырмашылық

Университет атауы	*Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ түрік университеті*	*М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті*
Кредит саны	*5*	*5*
Лекция (сағат)	*15*	*15*
Практика (сағат)	*15*	*15*
Зертханалық сабақ (сағат)	*15*	*30*
БӨЖ/ ОБӨЖ	*105*	*90*
Емтихан түрі	*Жазбаша*	*Жазбаша*
Професорлар, доцент	*20%*	*25%*

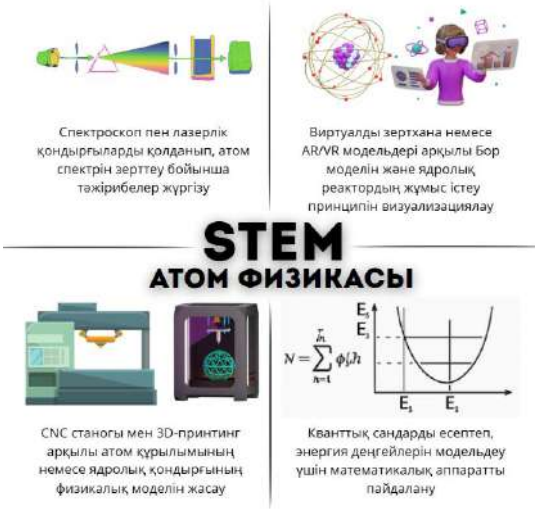
Бұл талдау университеттердің оқу бағдарламалары арасындағы айырмашылықты сандық түрде бағалауға, олардың білім беру стандарттарына сәйкестігін анықтауға және оқу үдерісінің тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді.

Кестедегі университеттерді пайдаланып, статистикалық талдау жасадық, жүргізілген статистикалық талдау нәтижесінен орташа лекция және практика сағаттары – 15, зертханалық сабақтар – 22,5 (SD=10,6), БӨЖ – 97,5 (SD=10,6) болып анықталды, ал профессор мен доценттердің орташа үлесі 22,5% (SD=3,5) құрады. Бұл университеттер арасында оқу құрлымында теория мен практикаға бөлінген уақыттың әркелкілігін көрсетеді. ҚР екі университетіндегі «Атом физикасы» курсының құрлымдық ерекшелігін байқаған болатынбыз. Екі университеттің кредит, лекция, практика жүктемесі сәйкес, яғни бұл білім беру стандартының сақталғанын көрсетеді.

Жүргізілген мазмұндық талдау нәтижелерін ескере отырып, университеттердің білім беру бағдарламаларында «Атом физикасы» курсының мазмұндық айырмашылықтары білім алушылардың пәнді меңгеру деңгейіне ғана емес, сонымен қатар олардың кәсіби құзыреттілігі мен болашақтағы педагогикалық қызметіне де тікелей ықпал ететіні байқалды.

Осыған байланысты, университеттің білім беру бағдарламаларына STEM тәсілін кешенді түрде кіріктірудің маңыздылығы арта түседі. STEM интеграциясы оқу бағдарламалары арасындағы мазмұндық айырмашылықтарды азайтып қана қоймай, пәнді оқытуда практикаға бағдарлануды күшейтеді. Мысалы, «Атом физикасы» курсын оқытуда дәстүрлі лекция мен зертханалық сабақтарға қоса цифрлық зертханалар, инженерлік жобалар мен пәнаралық тапсырмаларды енгізу студенттердің пәнді терең түсінуіне және нақты өмірлік мәселелерді шешу дағдыларын дамытуына ықпал етеді.

Университеттердің білім беру бағдарламаларына STEM интеграциясын енгізу (Сурет 1), ең алдымен, оқу жоспарларын халықаралық стандарттарға сәйкестендіруге, білім алушылардың ғылыми-зерттеу қабілеттерін дамытуға және олардың жаһандық еңбек нарығындағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға жағдай жасайды. Сонымен бірге, бұл қадам болашақ мұғалімдердің шығармашылық ойлауын, проблемаларды шешу қабілетін және командалық жұмыс жасау дағдыларын жетілдіруге мүмкіндік береді.



Сурет 1. «Атом физикасы» курсына STEM интеграциясының құрылымдық моделі

Суретте ұсынылған STEM интеграциясының моделі «Атом физикасы» курсын оқытуда пәнаралық тәсілдің маңызын көрсетеді. Бұл модель болашақ физика мұғалімдерінің кәсіби құзыреттілігін кешенді дамытуға бағытталған. Интеграцияланған құрылымда ғылымдық мазмұнды тәжірибемен ұштастыру, цифрлық технологияларды қолдану, инженерлік дизайнды жүзеге асыру және математикалық модельдеу дағдыларын қалыптастыру өзара үйлесімді

қарастырылады. Мұндай жүйелі тәсіл оқу процесін дәстүрлі теориялық дайындықтан инновациялық, зерттеушілік және практикалық бағытқа ауыстыруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде студенттердің пәнді терең түсінуі қамтамасыз етіліп қана қоймай, олардың зерттеу, жобалау және цифрлық құзыреттері халықаралық стандарттарға сәйкес деңгейде дамиды. «Атом физикасы» курсын STEM тәсілі арқылы оқытудың төрт негізгі бағыты көрсетілген. Ғылым (Science) бағыты бойынша студенттер спектроскоп пен лазерлік қондырғыларды пайдаланып, атом спектрін зерттеу тәжірибелерін жүргізеді, бұл атомның энергетикалық деңгейлерін түсінуге мүмкіндік береді. Технология (Technology) бағыты AR/VR модельдері мен виртуалды зертханаларды қолдануға негізделіп, Бор моделін және ядролық реактордың жұмысын визуализациялауға жағдай жасайды. Инженерия (Engineering) бағыты CNC станогы мен 3D-принтингті пайдалана отырып, атом құрылымы немесе ядролық қондырғының физикалық макетін құруды қамтиды, бұл студенттердің инженерлік ойлау қабілетін дамытады. Математика (Mathematics) бағыты кванттық сандарды есептеу және энергия деңгейлерін модельдеуді қарастырады, нәтижесінде студенттердің аналитикалық және есептік дағдылары жетілдіріледі. Бұл төрттік бағыттың өзара байланысы «Атом физикасы» курсының мазмұнын практикаға жақындатып, болашақ физика мұғалімдерінің ғылыми-зерттеу, инженерлік және педагогикалық құзыреттіліктерін дамытуға ықпал етеді.

Қорытындылай келе, «Атом физикасы» курсын университеттің жалпы білім беру бағдарламасына STEM тәсілін кіріктіре отырып оқыту – Қазақстандағы физика мұғалімдерін даярлау сапасын жақсартудың тиімді жолдарының бірі болып табылады. Бұл тәжірибе пәннің теориялық мазмұнын тәжірибемен ұштастыруға, оқу бағдарламаларының бірізділігін қамтамасыз етуге және білім беру жүйесін халықаралық деңгейде бәсекеге қабілетті етуге мүмкіндік береді.

«Атом физикасы» пәнінің ЖОО бағдарламасы және мектеп курсының сабақтастығы

Зерттеу барысында мектеп бағдарламасындағы «Атом физикасы» бөлімінің ЖОО курсына негіз болатыны анықталды. «Атом физикасы» пәні мектеп бағдарламасынан бастап университет деңгейіне дейін біртіндеп күрделенетін жүйелі құрлымға ие [14]. Мектеп бағдарламасында бұл пәннің негіздері қарастырылып, атомдық құрылым, радиоактивтілік және ядролық реакциялар сияқты негізгі ұғымдар түсіндіріледі (Кесте 3).

Кесте 3. Күнтізбелік-тақырыптық жоспар

Ауыспалы тақырыптар	*Сабақ тақырыбы*	*Оқу мақсаттары*	*Сағат саны*
11.3.D Атом ядросының физикасы 7 сағат	*Табиғи радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау заңы*	*11.8.2.1 - радиоактивті ыдырау заңы негізінде ядролық қалдықтармен аймақтың зақымдануының ұзаққа созылу себептерін түсіндіру;* *11. 8.2.2 - радиоактивті ыдырауды формуласын есептер шығаруда қолдану*	*1*
	Атомдық ядро. Ядроның нуклондық моделі. Изотоптар. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы	*11. 8.2.3 - атомдық ядроның байланыс энергиясын есептеу және меншікті байланыс энергиясының ядроның массалық санына тәуелділігін түсіндіру*	*1*
	Ядролық реакциялар. Жасанды радиоактивтілік. Ауыр ядролардық бөлінуі. Тізбекті ядролық реакция. Сындық масса БЖБ №9	*11. 8.2.4 - ядролық реакцияны жазу кезінде массалық және зарядтық санның сақталу заңын қолдану;* *11.8.2.5 - ядролық синтездің және табиғи радиоактивтіліктің табиғатын түсіну*	*1*
	№ 5 Зертханалық жұмыс «Дайын сурет бойынша	*11. 8.2.6 - магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалыс сипатын түсіндіру*	*1*

	зарядталған бөлшектердің тректерін оқып үйрену»		
	Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану	*11. 8.2.7 - α, β, γсәулелерінің табиғатын, қасиеттерін және биологиялық әсерін түсіндіру*	*1*
	Ядролық реактор. Ядролық энергетика. Термоядролық реакциялар	*11. 8.2.8 - ядролық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін сипаттау;* *11. 8.2.9 - ядролық энергетиканың даму кезеңдерін талқылау*	*1*

Силлабус құрлымы (Кесте 4) «Атом физикасы» пәнін оқытудағы негізгі модульдерді қамтиды. Курстың мазмұны студенттердің атомдық және кванттық физика негіздерін меңгеруіне, ядролық процестерді түсінуіне және заманауи зерттеу әдістерін қолдауын бағытталған.

Кесте 4. «Атом физикасы» пәнін оқыту жоспары

№	Лекция және практикалық сабақ тақырыптары	Лекция	Практикалық сабақ	БОӨЖ	БӨЖ	Пәнді оқыту нәтижелері
1 – Модуль. Атомдық физика негіздері.						
1	Жылулық теориясы. Планк, Эйнштейн, Бор гипотезасы. Комптон, Доплер эффектісі.	1	3	2	6	ПОН 1
2	Де-Бройль гипотезасы.Томсон, резерфорд моделдері.Физика кризисі. Бор постулаты.	1	3	2	6	ПОН 2 ПОН 3
3	Атом спекторы.Бальмер,Лайман,Пашен сериялары.Бальмердің жалпылама өрнегі.	1	3	2	6	ПОН 5
4	Атомдағы электрондардың қабаттар мен қабықтар бойынша үлестірілуі Сілтілік металдар атомдарының энергия деңгейлері және спектрлері.	1	3	2	6	ПОН 6
2– Модуль. Атомның магниттік қасиеттері.						
5	Элементтердің периодтық жүйесі және оның физикалық түсіндірілуі. Күрделі спектрлерді жалпы жүйелеу негіздері	1	3	2	6	ПОН 6
6	Энергия деңгейлерінің және спектрлік сызықтардың аса нәзік түзілісі. Электрон спині. Спекторлардың мультиплеттігі.	1	3	2	6	ПОН 3
7	Квантық механика элементтері. Атомның магниттік қасиеттері. Сырткы магнит ерісінін атомға әсері.	1	3	2	6	ПОН 4
8	Зееман эффекті. Пашен-Бак эффекті. Паули принципі. . Рентгендік спектрлер.	1	3	2	6	ПОН 5
9	Аиомның магниттік моменті. Магниттік резонанс құбылысы. Электронның парамагниттік резонансы.	1	3	2	6	ПОН 3
10	Атомдардың еріксіз сәуле шығаруы. Спектор сызықтарының ені.	1	3	2	6	ПОН 3
11	Еріксіз сәуле шығару негізінде жарықты күшейтудін жалпы принциптері. Лазерлер.	1	3	2	6	ПОН 1
3 – Модуль. Молекулалардың қасиеттері						
12	Молекуладағы қозғалыс түрлері. Молекула энергичсы.Молекулалық спекторлар.	1	3	2	6	ПОН 1
13	Молекуланың айналыс күйлері. Сәуленің комбинациялық шашырауы.	1	3	2	6	ПОН 2
14	Молекуланың тербеліс күйлері. Мәжбүрлі сәулелену. Лазерлер. Сызықтық емес оптика.	1	3	2	6	ПОН 5
15	Молекулалардыц электрондық спектрлері	1	3	2	6	ПОН 6
Барлығы: 180		**15**	**45**	**30**	**90**	

Салыстырмалы талдау нәтижесінде мектеп бағдарламасындағы «Атом физикасы» курсы негізінен теориялық білім беруге бағытталғаны анықталады, ал университет деңгейінде оқыту әдістері зертханалық жұмыстар мен есептеу әдістерімен толықтырылады. Бұл зерттеу «Атом физикасы» курсының мектеп және ЖОО деңгейлеріндегі мазмұнын талдау арқылы екі деңгейдегі білім беру арасындағы сабақтастықты бағалауға мүмкіндік береді. Болашақта мектеп бағдарламасын ЖОО талаптарына сәйкестендіру, оқыту әдістерін жетілдіру және

студенттердің физика пәнін меңгеруіне қолдау көрсету бойынша ұсыныстар әзірлеуге негіз бола алады.

Білім беру бағдарламасындағы «Атом физика» курсын бағалау

Зерттеу жұмысымызда 4 ЖОО студенттеріне «Атом физика» курсы жайлы сауалнама жасадық. Сауалнама 4 негізгі факторларға негізделді, олар: *оқу бағдарламаларының құрылымдық тиімділігі, материалдық-техникалық база және ресурстар, оқытушылардың біліктілігі және әдістемесі, Қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер.*

Сауалнамада 1-ден 5-ке дейінгі шкала бойынша (Ликерт шкаласы) пайдаланылды. Алынған нәтиже негізінде орташа мән, стандартты ауытқу, Кронбахытың альфа коэффициенті есептелінді. Студенттердің «Атом физикасы» курсының оқу құрлымының тиімділігін бағалауға қатысты жауаптар 5-кестеде көрсетілген. Орташа мәндер 4,2-ден 4,3-ге дейінгі аралықта болды. Бұл білім алушылардың оқу жүктемесі мен бағалау жүйесін оң қабылдайтынын көрсетеді. Стандартты ауытқу (SD) 0,94-ден 1,04 аралығында, бұл жауаптардың салыстырмалы түрде тұрақты екенін көрсетеді. Бұл нәтижелер «Атом физикасы» курсының құрлымының тиімділігін студенттер оң бағалайтынын, бірақ кейбір аспектілерде стандартты ауытқудың болуын ескере отырып, жетілдіру қажет екенін көрсетеді.

Кесте 5.Оқу бағдарламаларының құрылымдық тиімділігі

№	*Сауалнама сұрақтары*	*M*	*SD*
1	*«Атом физикасы» курсының оқу жүктемесі (кредит саны, сабақ сағаттары) пәнді толық меңгеруге жеткілікті*	*4,1648*	*0,98052*
2	*Курстың теориялық және практикалық бөліктері жақсы теңгерілген*	*4,1648*	*1,04630*
3	*Бағалау жүйесі (емтихан, тест, курстық жоба) менің білімімді объективті түрде бағалайды*	*4,1978*	*1,01346*
4	*«Атом физикасы» пәнін оқу болашақ кәсіби қызметіме қажет дағдыларды дамытуға көмектеседі*	*4,2857*	*0,94617*

SPSS бағдарламалық құралы арқылы сауалнаманың ішкі сәйкестігі және сенімділігін бағалау үшін Кронбахтың альфа коэффициенті есептеледі. Оқу бағдарламаларының құрылымдық тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті 0,906 – бұл сауалнама шкаласының жоғары сенімділік деңгейіне ие екенін көрсетеді. Сонымен қатар, сауалнамадағы 4 сұрақ бір-бірімен жақсы үйлесетінін және жауаптар арасындағы ішкі сәйкестіктің жоғары екенін дәлелдейді (Кесте 6).

Кесте 6. Оқу бағдарламаларының құрылымдық тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті

Сенімділік статистикасы	
Кронбахтың альфа коэффициенті	*N элементтері*
0,906	*4*

Студенттердің «Атом физикасы» курсының материалдық-техникалық база және ресурстар тиімділігін бағалауға қатысты жауаптары 7 кестеде жазылған. Орташа мәндер 4,09-ден 4,22-ге дейінгі аралықта болды. Бұл студенттердің зертханалық жабдықтар, STEM әдістерін қолдану, практикалық сабақтарға арналған құрал-жабдықтардың қолжетімдігі және заманауи технологияларды пайдалану деңгейінің жақсы екенін білдіреді. Стандартты ауытқу (SD) 0,895-ден 1,004 аралығында, бұл жауаптардың тұрақты екенін көрсетеді. Жалпы нәтижелер материалдық-техникалық базаның жеткілікті деңгейде бағаланғанын, бірақ кейбір аспектілерде жетілдіру қажет екенін көрсетеді.

Кесте 7. Материалдық-техникалық база және ресурстар

№	Сауалнама сұрақтары	M	SD
1	Университеттің зертханалары «Атом физикасы» курсын практикалық тұрғыдан түсінуге жеткілікті деңгейде жабдықталған.	4,1099	1,00499
2	STEM әдістерін қолдану (цифрлық зертханалар, виртуалды модельдеу) оқу процесін жеңілдетеді.	4,2088	0,96051
3	Практикалық сабақтарда қажетті құрал-жабдықтар әрқашан қолжетімді.	4,0989	0,89511
4	Курсты оқытуда заманауи технологиялар (онлайн платформалар, симуляциялар) тиімді қолданылады.	4,2198	0,91654

SPSS бағдарламалық құралы арқылы сауалнаманың ішкі сәйкестігі және сенімділігін бағалау үшін Кронбахтың альфа коэффициенті есептеледі. Материалдық-техникалық база және ресурстар тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті 0,912 – бұл сауалнама шкаласының жоғары сенімділік деңгейіне ие екенін көрсетеді. Сонымен қатар, сауалнамадағы 4 сұрақ бір-бірімен жақсы үйлесетінін және жауаптар арасындағы ішкі сәйкестіктің жоғары екенін дәлелдейді (Кесте 8).

Кесте 8. Материалдық-техникалық база және ресурстар тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті

Сенімділік статистикасы	
Кронбахтың альфа коэффициенті	N элементтері
0,912	4

Студенттердің «Атом физикасы» курсының оқытушылардың біліктілігі және әдістемесі тиімділігін бағалауға қатысты жауаптары 9 кестеде жазылған. Орташа мәндер 4,32-ден 4,461-ге дейінгі аралықта, бұл оқытушылардың кәсіби деңгейі мен оқыту әдістері студенттер тарапынан жоғары екенін көрсетеді. Стандартты ауытқу (SD) 0,838-ден 0,882 аралығында, бұл жауаптар арасында айырмашылық жоқ екенін білдіреді. Сауаланама нәтижесі арқылы байқағанымыз оқытушылардың кәсіби біліктілігін студенттер бағалайтынын байқадық.

Кесте 9. Оқытушылардың біліктілігі және әдістемесі

№	Сауалнама сұрақтары	M	SD
1	«Атом физикасы» пәнін оқытатын оқытушылардың ғылыми дәрежесі мен кәсіби біліктілігі жоғары.	4,4615	0,84732
2	Оқытушылар заманауи оқыту әдістерін (интерактивті сабақтар, жобалық оқыту) тиімді қолданады.	4,3297	0,88261
3	Оқытушылар сабақ барысында студенттердің сұрақтарына жан-жақты жауап береді.	4,3736	0,83863
4	Оқу процесінде зерттеу және эксперименттік тапсырмаларға көп көңіл бөлінеді.	4,3516	0,87399

SPSS бағдарламалық құралы арқылы сауалнаманың ішкі сәйкестігі және сенімділігін бағалау үшін Кронбахтың альфа коэффициенті есептеледі. Оқытушылардың біліктілігі және әдістемесі тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті 0,944 – бұл сауалнама шкаласының өте жоғары сенімділік деңгейіне ие екенін көрсетеді. Сонымен қатар, сауалнамадағы 4 сұрақ бір-бірімен жақсы үйлесетінін және жауаптар арасындағы ішкі сәйкестіктің жоғары екенін дәлелдейді (Кесте 10)

Кесте 10. Оқытушылардың біліктілігі және әдістемесі тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті

Сенімділік статистикасы	
Кронбахтың альфа коэффициенті	*N элементтері*
0,944	*4*

Студенттердің қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер тиімділігін бағалауға қатысты жауаптары 11 кестеде жазылған. Орташа мәндер 4,285-ден 4,362-ге дейінгі аралықта, бұл оқытушылардың кәсіби деңгейі мен оқыту әдістері студенттер тарапынан жоғары екенін көрсетеді. Стандартты ауытқу (SD) 0,850-ден 0,980 аралығында, бұл жауаптар арасында айырмашылық жоқ екенін білдіреді. Бұл нәтижелер қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер студенттер үшін тиімді және қаржылық көмектің маңызды екенін көрсетеді.

Кесте 11. Қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер

№	*Сауалнама сұрақтары*	*M*	*SD*
1	*Оқу ақысы мен гранттық орындар саны студенттердің білім алу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.*	*4,3407*	*0,89715*
2	*Университеттің академиялық ұтқырлық бағдарламалары (басқа ЖОО-мен алмасу, шетелдік мүмкіндіктер) жеткілікті.*	*4,3626*	*0,85005*
3	*Университет оқу процесін қаржылай қолдау (стипендия, гранттар) жағынан жеткілікті мүмкіндік береді.*	*4,3077*	*0,89060*
4	*Университеттің қаржылық қолдауы мен гранттық мүмкіндіктері менің оқуымды үздіксіз жалғастыруыма көмектеседі.*	*4,2857*	*0,98077*

SPSS бағдарламалық құралы арқылы сауалнаманың ішкі сәйкестігі және сенімділігін бағалау үшін Кронбахтың альфа коэффициенті есептеледі. Қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті 0,938 – бұл сауалнама шкаласының жоғары сенімділік деңгейіне ие екенін көрсетеді. Сонымен қатар, сауалнамадағы 4 сұрақ бір-бірімен жақсы үйлесетінін және жауаптар арасындағы ішкі сәйкестіктің жоғары екенін дәлелдейді (Кесте 12)

Кесте 12. Қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер тиімділігі үшін Кронбахтың альфа коэффициенті

Сенімділік статистикасы	
Кронбахтың альфа коэффициенті	*N элементтері*
0,938	*4*

Ішкі сенімділігі мен сәйкестігі 4 фактордың ішкі сенімділігі мен сәйкестігін бағалау үшін Кронбахтың альфа коэффициенті есептелді. Олар келесідей нәтиже берді:

1.Оқу бағдарламаларының құрылымдық тиімділігі: $\alpha = 0{,}906$

2.Материалдық-техникалық база және ресурстар: $\alpha = 0{,}912$

3.Оқытушылардың біліктілігі және әдістемесі: $\alpha = 0{,}944$

4.Қаржылық қолжетімділік пен академиялық мүмкіндіктер: $\alpha = 0{,}938$

Көрсеткіш мәндері 4 фактор үшін өте жақсы екенін көрсетті.

Алынған мәліметтерді терең талдау «Атом физикасы» курсын жетілдіру қажеттілігін айқындайды. Атап айтқанда, бағдарламаның құрылымдық мазмұнын тәжірибеге бағдарлау, зертханалық жабдықтарды жетілдіру және заманауи цифрлық ресурстарды кеңінен қолдану

қажеттілігі байқалды. Осы тұрғыда STEM тәсілін оқу процесіне интеграциялау курстың тиімділігін арттырудың негізгі шешімі ретінде ұсынылады. STEM әдісін қолдану студенттердің тек теориялық білімін нығайтып қана қоймай, сонымен бірге олардың зерттеу жүргізу, инженерлік жобалау және цифрлық технологияларды пайдалану дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді. Осылайша, сауалнама нәтижелері «Атом физикасы» курсының қазіргі жағдайы студенттердің күткен деңгейіне сәйкес екенін көрсетті, бірақ STEM интеграциясы оның мазмұнын байытып, практикалық бағыттылығын күшейтіп, болашақ физика мұғалімдерінің кәсіби құзыреттілігін арттыруға ықпал етеді.

Дискуссия

Зерттеу жұмысы Қазақстан ЖОО «Атом физикасы» курсын оқыту мазмұнын, құрлымын және әдістемелік аспектілерін талдауға бағытталды.

Атомдық және ядролық физика курсын тиімді оқыту үшін электрондық платформаларды қолданудың тиімділігін Н. Шектібаев және басқада ғалымдар зерттеген болатын. Ғалымдар электрондық оқулықтар мен инновациондық технологияларды қолдану базасын құруға аса назар аударған. Зерттеу жұмысында электрондық ресурстарды әзірлеу арқылы оқу процесін оңтайландыру жолдары ұсынылған [15].

Атомдық физиканы оқытуда ақпараттық технологияларды пайдалану білім алушының пәнді жақсы меңгеруіне және оқу мотивациясының арттыруына, білім сапасының артуына зор үлес қосады [16].

Жүргізілген зерттеу кезінде мектеп бағдарламасы мен университет курстары арасындағы сабақтастық, оқу бағдарламаларының тиімділігі, зертханалық жұмыстардың рөлі және заманауи оқыту технологияларын енгізу қажеттілігіне қатысты бірнеше маңызды мәселелер анықталды:

- мектеп пен ЖОО бағдарламалары арасындағы сабақтастықты күшейту қажет;
- зертханалық тапсымалардың санын көбейтіп және заманауи жабдықтарды пайдалану қажет;
- инновациялық технологияларды тиімді интеграциялау және оқытушылардың оны меңгеруін жетілдіру қажет;
- бағалау жүйесін жаңғырту және зерттеу жобалаына бағалау жүйесін енгізу ұсынылады.

Осы бағыттармен жұмыс жасау арқылы болашақ физика мұғалімдерін даярлау сапасын жақсартуға, білім беру бағдарламаларын жаңғыртуға және халықаралық стандарттарға сәйкестендіруге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасының жоғары оқу орындарында «Атом физикасы» курсын оқыту мазмұны мен құрылымында елеулі айырмашылықтар бар екенін көрсетті. Университеттер арасындағы айырмашылықтар кредиттік жүктеме, семестрлік оқу мерзімі, лекциялық, практикалық және зертханалық сабақтардың арақатынасы, сондай-ақ оқытушылардың біліктілігі мен академиялық ұтқырлық мүмкіндіктерінде байқалды. Мұндай алшақтық студенттердің академиялық қозғалысына, оқу процесінің бірізділігіне және кәсіби даярлық сапасына әсер ететіндігі анықталды.

Сауалнама нәтижелері (n=93) студенттердің «Атом физикасы» курсын жалпы оң қабылдайтынын көрсетті (орташа мәндер 4,2–4,4; SD=0,94–1,04). Дегенмен, кейбір құрылымдық және әдістемелік аспектілерді жетілдіру қажеттілігі байқалды. Кронбах альфа коэффициентінің 0,906–0,944 аралығында болуы сауалнаманың сенімділігін жоғары деңгейде дәлелдеп, алынған деректердің ғылыми құндылығын арттырды. Эксперименттік бөлімде STEM тәсілін енгізу «Атом физикасы» курсының мазмұнын практикамен тығыз байланыстыруға мүмкіндік беретін тиімді әдіс екені дәлелденді. STEM интеграциясы студенттердің пәнді терең түсінуін, зерттеу дағдыларын, инженерлік жобалау қабілетін және заманауи цифрлық технологияларды қолдану құзыреттілігін қалыптастыруға ықпал етеді.

Жалпы алғанда, «Атом физикасы» курсын STEM негізінде жетілдіру болашақ физика мұғалімдерінің кәсіби құзыреттілігін арттыруға, ұлттық білім беру сапасын жақсартуға және білім беру жүйесін халықаралық стандарттарға жақындатуға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу нәтижелері университеттердің оқу бағдарламаларын үйлестіруде, оқу процесін тәжірибеге бағдарлауда және физика мұғалімдерін даярлаудың сапасын арттыруда маңызды ғылыми-тәжірибелік негіз бола алады.

Алғыс

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған (Грант №AP19579398).

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1]Жоғары және жоғары оқу орынан кейінгі білім берудің мемлекеттік жалпыға міндетті Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министірінің 2022 жылғы 20 шілдедегі №2 бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет минстрлігінде 2022 жылғы 27 шілдеде №28916 болып тіркелді. https://adilet.za n.kz/kaz/docs/V2200028916?utm_source (қарау күні: 05.02.2025)

[2]Szolár, É. (2011). The bologna process: The reform of the European higher education systems. Romanian Journal of European Affairs, 11(1), 81–99.

[3]Mawaddah Warahmah. (2023). Effectiveness of educational programs. JR-ELT (Journal of Research in English Language Teaching), 7(1), 9–18. https://doi.org/10.30631/jr-elt.v7i1.37

[4]Rajak, A., Shrivastava, A. K., & Tripathi, A. K. (2019). An approach to evaluate program outcomes and program educational objectives through direct and indirect assessment tools. International Journal of Emerging Technologies in Learning, 14(23), 85–97. https://doi.org/10.3991/ijet.v14i23.11018

[5]Amirtharaj, S., Chandrasekaran, G., Thirumoorthy, K., & Muneeswaran, K. (2022). A Systematic Approach for Assessment of Attainment in Outcome-based Education. Higher Education for the Future, 9(1), 8–29. https://doi.org/10.1177/23476311211017744

[6]Nakkeeran, R., Babu, R., Manimaran, R., & Gnanasivam, P. (2018). Importance of Outcome Based Education (OBE) to Advance Educational Quality and enhance Global Mobility. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119(17), 1483–1492. Retrieved from http://www.acadpubl.eu/hub/

[7]Fulminar, L. P. D. (2022). Teaching College Physics to the K to 12 Program Graduates: Teachers' Experiences and Perspectives. Asia Pacific Journal of Educators and Education, 37(2), 263–280. https://doi.org/10.21315/apjee2022.37.2.13

[8] Shoiynbayeva, G. T., Shokanov, A. K., Sydykova, Z. K., Sugirbekova, A. K., & Kurbanbekov, B. A. (2021, December 1). Methodological foundations of teaching nanotechnology when training future physics teachers. Thinking Skills and Creativity. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100970

[9]Erlına, N., Prayektı, P., & Wıcaksono, I. (2022). Atomic physics teaching materials in blended learning to improve self-directed learning skills in distance education. Turkish Online Journal of Distance Education, 23(4), 20-38.

[10]Shehu, A., Akanbi, A. O., Yahaya, W. O., Yusuf, A. A., Yahaya, Q., & Abdulkadir, A. S. (2024). The evolution of atomic physics and integration of digital learning tools in secondary education. custech International Journal of Education, 1(2), 203-210.

[11]Abdurashidovich, Y. D. (2023). Theoretical and methodological issues of organizing and conducting courses in the physics of the atomic nuclear and elementary particles in higher education. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(2), 523-528.

[12]Темиркулова, Н. И., & Рахыметоллаева, А. Ж. (2024). «Атом физикасы және спектроскопия» пәні бойынша оқу сабағын жобалау: функционалдық сауаттылықты дамыту. «Физикадағы заманауи тенденциялар: ғылым мен білім интеграциясы» Халықаралық ғылыми конференциясының материалдары, Астана, 2024. 84-90б.б.

[13]Оспанбеков, Е. А., & Рахымжанов, Е. Б. (2022). Особенности изучения строения атома, атомные явления в школьном курсе. In Студенческий научный форум 2022 (pp. 176-180).

[14]Бастауыш, негізгі орта және жалпы орта білім деңгейлерінің жалпы білім беретін пәндері мен таңдау курстары бойынша үлгідік оқу бағдарламаларын бекіту Қазақстан Республикасы Оқу-ағарту министірінің 2022 жылғы 16 қыркүйегі № 399 бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет

министрлігінде 2022 жылғы 23 қыркүйекте №29767 болып тіркелді https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029767#z258

[15]Shektibaev, N. A., Yergobek, Y., & Torekhan, T. E. (2024). Использование электронных платформ для эффективного обучения курсу «атомная и ядерная физика». «Вестник НАН РК», 410(4), 315-327.

[16]Мұқашев, Қ. М., & Алиева, М. Е. (2017). Атомдық микробөлшектердің толқындық қасиеттерін оқыту дидактикасын жетілдіру. Вестник Казахского национального университета. Серия физическая, (4), 61-68.

References

[1]Joǵary jáne joǵary oqý orynan keıingi bilim berýdiń memlekettik jalpyǵa mindetti Qazaqstan Respýblıkasy Ǵylym jáne joǵary bilim mınıstiriniń 2022 jylǵy 20 shildedegi №2 buıryǵy. Qazaqstan Respýblıkasynyń Ádilet mınstrliginde 2022 jylǵy 27 shildede №28916 bolyp tirkeldi. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200028916?utm_source (qaraý kúni: 05.02.2025) (In Kazakh)

[2]Szolár, É. (2011). The bologna process: The reform of the European higher education systems. Romanian Journal of European Affairs, 11(1), 81–99.

[3]Mawaddah Warahmah. (2023). Effectiveness of educational programs. JR-ELT (Journal of Research in English Language Teaching), 7(1), 9–18. https://doi.org/10.30631/jr-elt.v7i1.37

[4]Rajak, A., Shrivastava, A. K., & Tripathi, A. K. (2019). An approach to evaluate program outcomes and program educational objectives through direct and indirect assessment tools. International Journal of Emerging Technologies in Learning, 14(23), 85–97. https://doi.org/10.3991/ijet.v14i23.11018

[5]Amirtharaj, S., Chandrasekaran, G., Thirumoorthy, K., & Muneeswaran, K. (2022). A Systematic Approach for Assessment of Attainment in Outcome-based Education. Higher Education for the Future, 9(1), 8–29. https://doi.org/10.1177/23476311211017744

[6]Nakkeeran, R., Babu, R., Manimaran, R., & Gnanasivam, P. (2018). Importance of Outcome Based Education (OBE) to Advance Educational Quality and enhance Global Mobility. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119(17), 1483–1492. Retrieved from http://www.acadpubl.eu/hub/

[7]Fulminar, L. P. D. (2022). Teaching College Physics to the K to 12 Program Graduates: Teachers' Experiences and Perspectives. Asia Pacific Journal of Educators and Education, 37(2), 263–280. https://doi.org/10.21315/apjee2022.37.2.13

[8] Shoiynbayeva, G. T., Shokanov, A. K., Sydykova, Z. K., Sugirbekova, A. K., & Kurbanbekov, B. A. (2021, December 1). Methodological foundations of teaching nanotechnology when training future physics teachers. Thinking Skills and Creativity. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100970

[9]Erlına, N., Prayektı, P., & Wıcaksono, I. (2022). Atomic physics teaching materials in blended learning to improve self-directed learning skills in distance education. Turkish Online Journal of Distance Education, 23(4), 20-38.

[10]Shehu, A., Akanbi, A. O., Yahaya, W. O., Yusuf, A. A., Yahaya, Q., & Abdulkadir, A. S. (2024). The evolution of atomic physics and integration of digital learning tools in secondary education. custech International Journal of Education, 1(2), 203-210.

[11]Abdurashidovich, Y. D. (2023). Theoretical and methodological issues of organizing and conducting courses in the physics of the atomic nuclear and elementary particles in higher education. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(2), 523-528.

[12]Temırkýlova, N. I., & Rahymetollaeva, A. J. (2024). "Atom fızıkasy jáne spektroskopıa" páni boıynsha oqý sabaǵyn jobalaý: fýnksıonaldyq saýattylyqty damytý. "Fızıkadaǵy zamanaýı tendensıalar: ǵylym men bilim ıntegrasıasy" Halyqaralyq ǵylymı konferensıasynyń materıaldary, Astana, 2024. 84-90b.b. (In Kazakh)

[13]Ospanbekov, E. A., & Rahymjanov, E. B. (2022). Mektep kýrsynda atomnyń qurylymyn, atomdyq qubylystardy zertteý erekshelikteri. In stýdenttik ǵylymı forým 2022 (pp. 176-180). (In Russian)

[14]Bastaýysh, negizgi orta jáne jalpy orta bilim deńgeıleriniń jalpy bilim beretin pánderi men tańdaý kýrstary boıynsha úlgidik oqý baǵdarlamalaryn bekitý Qazaqstan Respýblıkasy Oqý-aǵartý mınıstiriniń 2022 jylǵy 16 qyrkúıegi № 399 buıryǵy. Qazaqstan Respýblıkasynyń Ádilet mınstrliginde 2022 jylǵy 23 qyrkúıekte №29767 bolyp tirkeldi https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029767#z258 (In Kazakh)

[15]Shektibaev, N. A., Yergobek, Y., & Torekhan, T. E. (2024). "Atom jáne ıadrolyq fızıka" kýrsyn tıimdi oqytý úshin elektrondyq platformalardy paıdalaný. "QR UǴA habarshysy", 410(4), 315-327. (In Russian)

[16] Muqashev, Q. M., & Alıeva, M. E. (2017). Atomdyq mıkrobólshekterdiń tolqyndyq qasıetterin oqytý dıdaktıkasyn jetildirý. Vestnık Kazahskogo nasıonalnogo ýnıversıteta. Seria fızıcheskaıa, (4), 61-68. (In Kazakh)

ҒТАХР 14.35.09

10.51889/2959-5894.2025.91.3.030

Ш.Т. Шекербекова[1], Ү.Қ. Базарбаева[1*]

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: umit.kuan@bk.ru

БІЛІМДІ ЦИФРЛАНДЫРУ ЖАҒДАЙЫНДА БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН АҚПАРАТТЫҚ ҮДЕРІСТЕРДІ ОҚЫТУҒА ДАЙЫНДАУ ҚАЖЕТТІГІ

Аңдатпа

Мақалада білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындау қажеттігі қарастырылады. Білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін дайындаудағы оқыту сапасын арттырудың маңыздылығы сипатталады. Зерттеу тақырыбы бойынша ғылыми жұмыстар қарастырылып, әдебиеттерге талдау жасалады. Білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін дайындаудың негізгі бағыттары келтіріледі. Болашақ информатика мұғалімдерін дайындау тұрғысынан мектеп информатика курсында ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқыту мәселелеріне талдау жүргізіліп, жалпы негізгі білім беру жүйесінде ақпаратты ұсыну және өлшеу мәселелері ерекше орын алатындығы айтылады. Сонымен қатар, білімді цифрландыру жағдайында информатика пәнінде ақпараттық үдерістер мәселелерін оқыту бойынша ұсыныстар берілген. Болашақ информатика мұғалімдеріне білім алушылардың өзін өзі дамытуға бағыттау үшін әдістемелік ұсынымдар келтіріледі.

Түйін сөздер*:* ақпарат, ақпараттық үдерістер, білімді цифрландыру, болашақ информатика мұғалімі.

Ш.Т. Шекербекова[1], У.К. Базарбаева[1]

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

НЕОБХОДИМОСТЬ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ К ОБУЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫМ ПРОЦЕССАМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация

В статье рассматривается необходимость подготовки будущих учителей информатики к обучению информации и информационным процессам в условиях цифровизации образования. Описывается значимость повышения качества обучения при подготовке будущих учителей информатики в условиях цифровизации образования. Проведён анализ научных трудов по теме исследования и изучена соответствующая литература. Определены основные направления подготовки будущих учителей информатики в условиях цифровизации образования. С позиции подготовки будущих учителей информатики проанализированы вопросы преподавания информации и информационных процессов в школьном курсе информатики, отмечено, что в системе общего основного образования особое место занимают вопросы представления и измерения информации. Кроме того, приведены рекомендации по обучению вопросам информационных процессов в информатике в условиях цифровизации образования. Приводятся методические рекомендации для будущих учителей информатики, направленные на развитие у обучающихся способности к саморазвитию.

Ключевые слова: информация, информационные процессы, цифровизация образования, будущий учитель информатики.

Sh.T. Shekerbekova[1], U. K. Bazarbayeva [1]
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

THE NEED TO TRAIN FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS TO TEACH INFORMATION PROCESSES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF EDUCATION

Abstract

The article discusses the necessity of preparing future computer science teachers for teaching information and information processes in the context of education digitalization. The importance of improving the quality of training for future computer science teachers under digitalization conditions is described. Scientific studies related to the research topic are analyzed, and a review of relevant literature is provided. The main directions for preparing future computer science teachers in the context of education digitalization are outlined. From the perspective of training future computer science teachers, the issues of teaching information and information processes in the school computer science course are analyzed, emphasizing that the representation and measurement of information occupy a special place in the general education system. In addition, recommendations are given for teaching information processes in computer science under digitalization conditions. Methodological guidelines are proposed for future computer science teachers to orient students toward self-development.

Keywords: information, information processes, digitalization of education, future computer science teacher.

Кіріспе

Қазіргі әлемдегі жаһандық өзгерістер мен цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы білім беру жүйесіне жаңа талаптар қояды. Цифрландыру қоғамның барлық саласына, соның ішінде білім беру процесіне де елеулі ықпалын тигізуде. Қазақстан Республикасының білім беру жүйесінде цифрлық трансформацияны енгізу – сапалы білім беру қызметтерін қамтамасыз етудің негізгі факторы болып отыр. Осы орайда, цифрлық экономикаға негізделген қоғамның қажеттіліктерін қанағаттандыратын заманауи кадрларды даярлау – білім беру саласының маңызды міндеттерінің бірі. Ал бұдан болашақ информатика мұғалімдерін дайындаудағы білім беру сапасын арттыру мәселесі тысқары қала алмайды.

Қазіргі кезде еліміздің білім беру жүйесінде маңызды өзгерістер орын алып жатқаны белгілі. Осы өзгерістердің қозғаушы күші – ол білім беруді цифрландыру. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 наурыздағы № 249 қаулысымен бекітілген Қазақстан Республикасында мектепке дейінгі, орта, техникалық және кәсіптік білім беруді дамытудың 2023 – 2029 жылдарға арналған тұжырымдамасында [1]: «Оқыту әдістерінің инновациялық жолдарын енгізу электронды платформалар арқылы жүзеге асырылады, бұл бүкіл оқу процесінің цифрландырылуына алып келеді...», - делінген. Демек, білімді цифрландыру жағдайында информатиканы оқытудың тиімділігін арттыру және информатикадан білім сапасын көтеру – білім беруді жетілдірудегі басым бағыттарының бірі болып табылады.

Білім беру жүйесінің сапасын арттыруда білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін дайындау маңызды қадам болып табылады. Себебі, болашақ информатика мұғалімдеріне цифрлық құралдарды, заманауи цифрлық технологияларды тиімді пайдалану оқушылардың білім деңгейін арттыруға және олардың цифрлық сауаттылығын дамытуға зор ықпал етеді. Бұл үдеріс үздіксіз кәсіби даму мен жаңашылдықты қабылдауды талап етеді, мұғалімдер инновациялық технологияларды меңгеріп, өз білімдерін үнемі жетілдіруі қажет болады. Қазіргі білім беру жүйесінің маңызды бағыты ақпараттық технологиялар мен цифрлық құралдар білім беру саласында жаңа мүмкіндіктер ашып отыр. Бұл болашақ информатика мұғалімдерінің цифрлық сауаттылықты, заманауи технологияларды тиімді пайдалану дағдыларын меңгеруін, олардың кәсіби шеберлігін арттырып, оқушыларға сапалы білім беруге дайындау қажеттілігін тудырады.

Зерттеу әдіснамасы

Жалпы зерттеу әдіснамасы тақырып бойынша қазақстандық және шетелдік педагогикалық-психологиялық, ғылыми-әдістемелік әдебиеттердегі болашақ информатика мұғалімдерді, оның ішінде білімді цифрландыру жағдайында информатика пәнін оқытуға дайындау мәселелеріне талдау жүргізу; нормативтік құжаттарды, интернет көздерін, ғылыми жарияланымдарды зерделеу және талдау; болашақ информатика мұғалімдеріне информатика пәнінің бөлімдер тәжірибесін және олардың цифрлық құзыреттілігін дамытудың қолданыстағы тәсілдерін зерделеу; қарастырылып отырған мәселе бойынша теориялық материалдарды жалпылау және жүйелеу арқылы жасалады.

Білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін дайындаудың негізгі бағыттарына тоқталайық. Білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерінің цифрлық құзыреттіліктерін қалыптастыру маңызды болады. Болашақ информатика мұғалімдеріне цифрлық құралдарды дұрыс қолдану және заманауи ақпараттық технологияларды тиімді пайдалану дағдыларын дамыту білім алушылардың білім сапасын арттыруға ықпал етеді. Білімді цифрландыру болашақ информатика мұғалімдерінің оқыту әдістерін жаңартуға және цифрлық технологияларды қолдануға мүмкіндік береді. Цифрлық дәуірде ақпаратты өңдеу, талдау және визуализациялау дағдылары өте маңызды болып табылады.

Білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін ақпарат ұғымын және ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындау мәселесі қазіргі заманғы білім беру жүйесінің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, себебі ақпараттық қоғамда өмір сүріп, жұмыс істеу үшін осы ұғымды дұрыс түсіну қажет. Ақпараттың мәні мен маңызы туралы білім, ақпаратты жинау, сақтау және өңдеу дағдыларының дамуы болашақ информатика мұғалімдерінің білімі мен дағдыларын қалыптастырады.

Болашақ информатика мұғалімдерін кәсіби дайындау теориясы мен әдістемесінің мәселелері В.В. Лаптев, М.П. Лапчик, И.В. Левченко, В.С. Леднев, К.В. Розов [2-6] және отандық зерттеушілер Е.Ы. Бидайбеков, Нурбекова Ж.К., Г.Б. Камалова, А.Е. Сағымбаева, Ш.Т. Шекербекова, А.Р. Турганбаева, Е.А. Киселѐва, С.Н. Конева және басқа да ғалымдардың жұмыстарында қарастырылған [7-14].

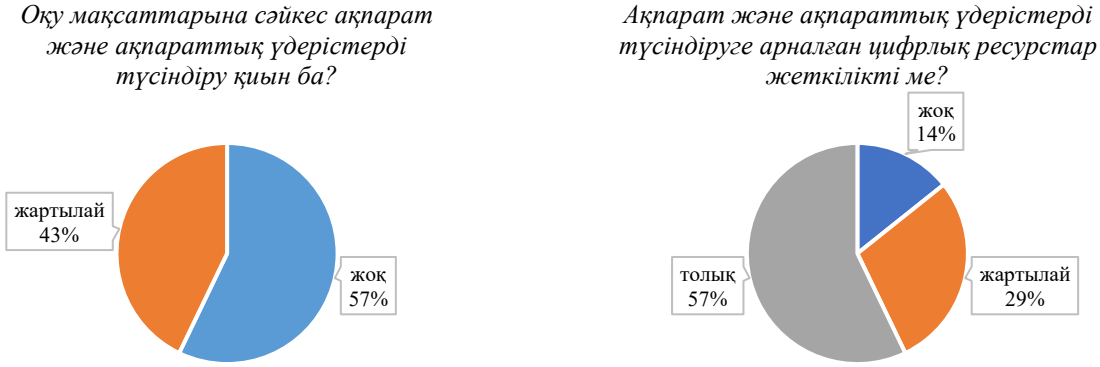
Зерттеу жұмысында білім беруді цифрландыру жағдайында іргелі білім беруді бағдарлай отырып, мектепте оқу-тәрбие процесін жүзеге асыруға дайын математика және информатика мұғалімдерін кәсіби дайындаудың стратегияларын анықтау келтіріледі [15]. Келесі зерттеу жұмысында болашақ информатика мұғалімдеріне объектілі-бағытталған бағдарламалауды оқытуда инфографиканы қолдану туралы айтылады. Сондай-ақ бұл зерттеуде объектілі-бағытталған бағдарламалауды оқытуда инфографиканы қолдану тиімділігін эксперимент жүзінде тексеру сипатталады [16]. Білім берудің негізгі факторына айналып, үнемі өзгеріп отыратын білім беру ландшафтында цифрлық технологиялардың оқытуға әсерін түсіну қажеттілігі жайлы айтылады. Зерттеу жұмысында ақпараттық технологиялардың білім беру үдерісіне әсерін және инновациялық әдістерді қолдану арқылы білім алушылардың оқуға деген ынтасын бағалау қарастырылған [17]. Ғылыми-зерттеу жұмыстарына жүргізілген талдаулардан оқу орындары ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындау ақпарат ұғымын ұсыну және ақпараттық үдерістерді толық көлемде қамтамасыз ете алмайтындығы байқалды. Ақпарат және ақпараттық үдерістер тақырыбы информатика пәнінің негізгі тақырыптарының бірі және оған оқыту барысында информатика мұғалімі оқу материалының мазмұнында бүкіл курс барысында үнемі оралып отыратындығын жақсы түсінуі тиіс болады.

Сонымен қатар, әдістемелік еңбектерді талдау барысы бұл мәселелерді бүгінгі уақытта әдіскерлер мен информатика мұғалімдерінің информатика курсының мазмұнында ақпаратты ұсыну және ақпараттық үдерістер тақырыбы ерекше орын алатындығы туралы айтып көрсетеді [18-19]. Болашақ информатика мұғалімдерін дайындау тұрғысынан мектеп информатика курсында ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқыту мәселелерін қарастырайық. Информатика «Информатика және техника негіздері» пәні ретінде мектеп

бағдарламасына 1985 жылы енгізілді. Информатика жалпы білім беретін мектептердің жоғары сыныптарында оқытылды. Информатика пәні информацияны өңдеу, жинақтау заңдары мен әдістерін зерттейді. Бұл ғылым XX-ғасырдың екінші жартысында пайда болды. Оның дамуы информацияны сақтауға және өңдеуге арналған қуатты бесаспап құрылғылар электронды есептеуіш машиналарының шығуымен байланысты болды. Ресей ғылым академиясының академигі А.П.Ершов пен Ресей білім академиясының академигі В.М.Монаховтың жетекшілігімен авторлар ұжымы әзірлеген алғашқы оқулық 1985 жылы жарық көрді. Авторлары С.А.Бешенков, Я. Е. Гольц, А.А. Кузнецов, Е.И. Кузнецов, М.П. Лапчик, А.С. Лесневский, Ю.А. Первин және Д.О. Смекалин. Бұл оқулық «Мектеп» баспасында Н.Көбенқұлов, С.Оспанов аударуымен, Е.Ы. Бидайбековтың арнаулы редакторлығымен осы 1985 жылы жарық көрді [20].

Информатика пәнінің алғашқы оқулығында ақпарат туралы келесі негізгі мәліметтер беріледі: ЭЕМ ақпаратты екілік код түрінде, яғни 0 мен 1 сандарымен бейнелейді. Бұл сандар екі түрлі электр сигналдарының комбинациясы арқылы беріледі. ЭВМ-де кез келген ақпарат осындай екілік жүйеде өңделіп, сақталады. Ақпарат көлемі *бит* деп аталатын арнайы өлшем бірлігімен өлшенеді. Сонымен қатар, негізінен алгоритмдер, алгоритмдік тіл және есептер шешу үшін алгоритмдер құру қарастырылды.

Информатика пәні алғаш мектеп бағдарламасына енгізілген кезде, басты назар есептеу техникасымен жұмыс істеу дағдыларына, яғни программалау мен алгоритмдеуге бағытталған болатын. Ақпарат ұғымы негізінен техникалық сипатта түсіндірілді. Уақыт өте келе, қоғамның цифрлық технологияларға тәуелділігі артқан сайын, ақпаратпен жұмыс істеу дағдылары тек мамандандырылған сала емес, жалпы білім берудің негізгі компонентіне айналды. Осы даму барысында «Ақпарат және ақпараттық үдерістер» ұғымының білім берудегі орны айрықша маңызға ие болды. Осы орайда оқу мақсаттарына сәйкес ақпарат және ақпараттық үдерістерді түсіндір мәселесі бойынша сауалнама жүргізілген болатын (1- сурет).



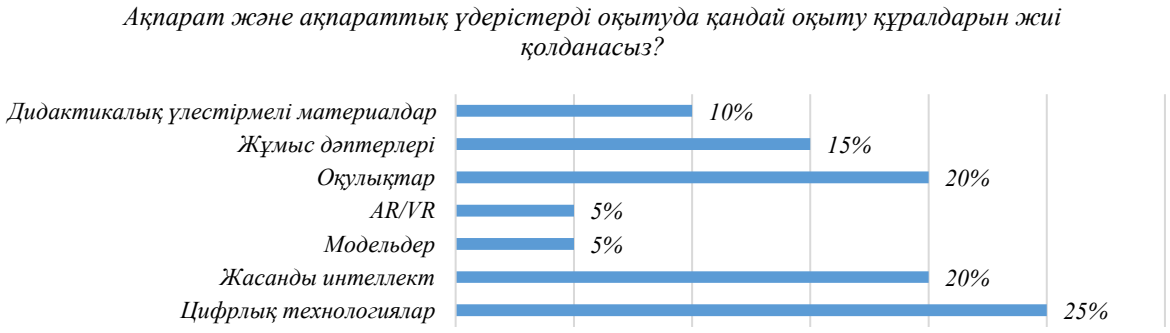
Сурет 1. Оқу мақсаты бойынша жүргізілген сауалнама нәтижесі

Жоғарыдағы суреттерде оқу үдерісінде ақпарат және ақпараттық үдерістерді түсіндірудің күрделілігі мен цифрлық ресурстардың жеткіліктілігі туралы сауалнама нәтижелерін көрсетеді. Осыдан бірінші диаграммадан болашақ информатика мұғалімдерінің көпшілігі оқу мазмұнын жеткілікті деңгейде меңгергенін, алайда кейбір білім алушылардың ақпараттық үдерістердің мәнін толық түсіндіруде қиындықтарға кездесетінін көрсетеді. Мұндай қиындықтар көбінесе теория мен тәжірибенің арасындағы алшақтықтан немесе нақты мысалдардың жеткіліксіздігінен туындауы мүмкін. Екінші диаграммада мәліметтер цифрлық ресурстардың оқу процесінде кеңінен қолданылып жатқанын, бірақ мазмұны мен қолдану тиімділігін арттыру қажет екенін көрсетеді.

Жалпы алғанда**,** сауалнама нәтижелері болашақ информатика мұғалімдерінің ақпарат және ақпараттық үдерістерді түсіндіру қабілеті жақсы деңгейде екенін дәлелдейді. Дегенмен, кейбір саулнамаға қатысушылардың жартылай қиындық көруі оқу процесінде қосымша әдістемелік

қолдауды, практикалық мысалдар мен заманауи цифрлық ресурстарды көбірек қолдануды қажет ететінін айғақтайды. Сондықтан оқу процесінде интерактивті материалдарды көбейту, нақты мысалдар мен практикалық тапсырмаларды енгізу, сондай-ақ цифрлық ресурстардың қолжетімділігін арттыру маңызды.

Соңғы жылдары «Ақпарат және ақпараттық үдерістер» бөлімі мектеп информатика курсында да біртіндеп жаңартылып, қайта құрылымдалды. Бұл кезеңде аталмыш бөлім келесі ерекшеліктермен оқытылды: **а**қпарат және ақпараттық үдерістер ұғымы оқушыларға қарапайым тілмен түсіндіріліп, күнделікті өмірден мысалдар арқылы ақпарат түрлері, оның қасиеттері, қабылдау, өңдеу жайлы түсініктер қалыптастырылды. «Ақпарат және ақпараттық үдерістер» бөлімінде: ақпарат ұғымы, қасиеттері, ақпараттық үдерістер: сақтау, өңдеу, беру, іздеу; ақпарат көздері мен қабылдау құралдары; ақпарат кодтары мен формада көрсету қарастырылды. Осыған орай, кез келген оқыту әдістемесі үшін пайдаланылатын оқу құралдарының маңызы ерекше. Ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқытуда пайдаланылатын оқыту құралдары бойынша сауалнама жүргізілді (2-сурет).



Сурет 2. Оқу құралдары бойынша жүргізілген сауалнама нәтижесі

Суретте көрсетілген нәтижелері бойынша болашақ информатика мұғалімдері заманауи технологияларды кеңінен қолдануға бейім екенін көрсетеді. Жалпы алғанда, болашақ информатика мұғалімдерінің оқытуда цифрлық және жасанды интеллект технологияларын белсенді пайдалануға белсенділігін, иммерсивті технологияларды (AR/VR) қолдану тәжірибесін арттыру қажет екенін көрсетеді. Сонымен, негізгі орта білім беру мазмұнында оқушыларға ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқытуда келесі оқу мақсаттарын қояды: білім алушыларды заманауи ақпараттық технологияларды тиімді пайдалану үшін базалық білім, білік және дағдыларын қамтамасыз ету; білім алушыларда ақпарат ұғымын және ақпараттық үдерістердің қоғамдағы түсінігін меңгеруі, ақпараттық технологияларды адам іс-әрекетінің әр түрлі салаларында пайдаланудың мүмкіндіктері мен перспективаларын түсінуі; ақпараттық технологияларды күнделікті өмірде, оқуда және болашақта еңбек іс-әрекетінде тиімді пайдалану біліктерін дамыту. Негізгі орта білім деңгейінде «Ақпараттық үдерістер» бөлімі *ақпаратты өлшеу мен ұсыну, ақпараттық объектілерді құру және түрлендіруді* қарастырады. Алдымен ақпарат түрлерін, ақпаратты кодтау, ақпаратты өлшеу бірліктері, ақпараттың көлемін және қасиеттерін анықтау оқытылады. Ақпараттық объектілерді құру және түрлендіру бойынша растрлық және векторлық кескіндермен, мәтіндік және кестелік ақпараттармен жұмыс істеу қарастырылады. Негізгі орта білім беру деңгейі бойынша ақпараттық үдерістерді оқып аяқтағаннан кейін күтілетін нәтижелер: әртүрлі ақпарат түрлерін, ақпаратты әртүрлі нысандарда ұсыну, ақпарат көзі, ақпаратты кодтау, ақпаратты екілік көрініс түрінде ұсыну, ақпаратты өлшеу бірліктері, ақпаратты бір өлшем бірлігінен басқаға аударуды жүзеге асыруды, ақпараттың көлемін анықтағанда алфавиттік тәсіл қолдану, ақпараттың қасиеттерін анықтай алады, растрлық және векторлық кескіндерді жасау және өңдеуді, мәтіндік және графикалық құжатпен жұмыс жасай алады.

Зерттеу нәтижелері

Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университетінде болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда ақпарат және ақпараттық үдерістер бөлімін оқытуға мән беріліп, олардың теориялық білімін қалыптастыру мен практикалық дағдыларын дамыту көзделеді. Осы бойынша болашақ информатика мұғалімдері ақпаратты ұсыну мен өлшеуді, ақпараттың көлемін және қасиеттерін анықтауды, ақпараттық объектілерді құру және түрлендіруді және т.б. меңгереді. Бұл болашақ информатика мұғалімдеріне ақпараттық мәдениетті қалыптастыруда ақпаратты ұсыну мен өлшеуді, ақпараттық объектілерді құру және түрлендірудің маңыздылығы туралы білімдерін қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Мектепте информатиканы оқытудың әдістемелік жүйесін дамытудағы маңызды қадам пән бойынша білім беру стандарттарын құру және оқу процесіне енгізу болып табылады. Ол әдістемелік ұсыныстар, оқу бағдарламалары, оқулықтар авторлары үшін белгілі бір бағдар болады. Бүгінде көп нәрсе жасалды, бірақ сонымен бірге проблемалар кездеседі.

Ақпаратты өлшеу мен ақпаратты ұсыну формасын таңдау, ақпаратты таңдалған формада оңтайлы түрде ұсыну сияқты маңызды дағдылар ғылыми-әдістемелік әдебиеттерде және информатика оқулықтарында жеткілікті түрде ашылмаған. Нәтижесінде көптеген мектеп оқушылары ақпараттық модельдер құруды, ақпаратты ұсыну формасын таңдауды, оның тиімділігін бағалауды өз дәрежесінде меңгере алмайды. Көпшілігі сызба, кесте, график, граф сияқты ақпарат ұсынудың әртүрлі формалары бар екенін жете түсінбейді, графиктерді оқуда, кестелердегі заңдылықтарды анықтауда қиындықтар көреді. Сонымен бірге, мәтіндерде, кестелерде, диаграммаларда немесе суреттерде берілген ақпаратпен жұмыс істеу, сондай-ақ коммуникативтік дағдылар жеткілікті деңгейде қалыптаспағанын көрсетеді. Солардың ішінде, ең алдымен, жалпы информатика курсының маңызды мәселелерін зерттеу әдістемесін мәселелері, олардың арасында ақпарат және ақпараттық үдерістер мәселелері ерекше орын алады. Білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін ақпараттық үдерістер мәселелерін оқытуға дайындау маңыздылығын бірнеше негізгі себептермен түсіндіріледі, олардың ішіндегі ең елеулілері төменде келтірілді.

1. Цифрлық қоғамның қазіргі жағдайында, ақпараттық технологиялардың үнемі дамуы, кәсіби қызметтің сипаты мен түрлерінің айтарлықтай өзгеруі, оның ішінде заманауи ақпараттық технологияларды қолдану негізінде білім алушының ақпаратты сауатты ұсыну қабілеті барған сайын маңызды бола түсуде. Білімді цифрландыру жағдайыгда білім алушылардың ақпаратты ұсыну әдістерін сауатты қолдануға дайындау, ақпаратты ұсынудың әртүрлі формаларын пайдалана білу қабілетін қалыптастыру қажеттілігі бүгінгі күн талаптарының бірі болып табылады. Ақпаратты ұсыну тәсілдерін меңгермей, білім алушылар цифрлық ортаның өзгермелі жағдайларына бейімделе алмайды. Осыған байланысты ақпаратты ұсыну тәсілдері мен формаларын зерттеу қазіргі білімді цифрландыру жағдайында білім алушылардың кәсіби қызметке дайындығының ажырамас бөлігіне айналып отырғандығын білдіреді.

2. Мектептегі информатика пәні аясында ақпаратты ұсыну мен өлшеді оқыту көптеген білім беру міндеттерін шешуге, сондай-ақ жаңа маңызды білім нәтижелеріне (тұлғалық, метапәндік, пәндік) қол жеткізуге ықпал етеді. Бұл білімді цифрландыру жағдайцында білім алушылардың танымдық және практикалық міндеттерді шешу қабілетін айқындайды.

3. Мектептегі білім беру жүйесінде информатика бойынша ақпаратты ұсыну мен өлшеуді және ақпаратық үдерістерді үйретуді білімді цифрландыру жағдайында қарастыру білім алушылардың ақпаратты ұсыну және өлшеуді жақсы меңгеруіне ықпалын тигізеді.

4. Қазіргі заманғы білім беру жүйесінде ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқыту оқушылардың дүниетанымын қалыптастыруда, ақпараттық мәдениетін дамытуда және когнитивтік қабілеттерін жетілдіруде маңызды орын алады. Бұл үдеріс оқушының жеке тәжірибесіне, ұлттық дүниетанымына және әлеуметтік ортасына бейімделуі тиіс. Осыған байланысты, ақпараттық үдерістерді оқытуда ұлттық ерекшеліктерге негізделген мазмұн маңызды рөл атқарады.

5. Оқушылардың ақпаратты ұсыну, өлшеу және өңдеуге қатысты қабілеттердің дамытыла түсуі цифрлық технологиялар мен жасанды интеллект құралдарын оқу үдерісіне ендіру қажеттілігін туындатып отыр. Қазіргі цифрлық қоғамда оқушылар ақпаратты тек тұтынушы ғана емес, оны талдай алатын, сыни ойлайтын, интерактивті және интеллектуалды жүйелермен әрекеттесе алатын тұлға ретінде қалыптасуы тиіс.

Сондықтан болашақта ақпараттық үдерістерді оқытудың мазмұны мен әдістемесі заманауи цифрлық технологиялар мен ұлттық ерекшеліктеріне негізделуі қажет екендігін байқаймыз.

Ақпараттық технологиялардың, цифрлық платформалардың және оқыту әдістерінің қарқынды дамуы жағдайында мұғалімдердің білім беру процесінде заманауи технологияларды тиімді пайдалана алуы үшін олардың дайындығын қамтамасыз ету маңызды. Білімді цифрландыру мұғалімдерден жаңа білім, дағдылар мен оқыту тәсілдерін талап етеді. Мұғалімдер информатика саласында ғана емес, сонымен қатар әртүрлі цифрлық құралдар мен платформалармен жұмыс істеу дағдыларына ие болуы керек.

Болашақ информатика мұғалімдерін дайындау барысында ақпаратты ұсыну үшін цифрлық құралдарды пайдалану өте маңызды болып табылады. Деректерді визуализациялау цифрлық дәуірде маңызды және сұранысқа ие дағдыға айналуда. Ақпаратты визуалды түрде ұсыну білім алушылардың логикалық ойлауын, талдау және салыстыру қабілеттерін дамытады. Бұл мақсатта визуализация құралдарын, мысалы Power BI, Infogram, Matplotlib сияқты графиктер мен диаграммаларды құруға арналған арнайы құралдарды қолдануға болады. Олар күрделі ақпаратты көрнекі және оңай қабылданатын түрде ұсынуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Canva, Piktochart сияқты құралдардың көмегімен инфографика жасау дағдыларын дамытуға қолдануға болады. Ақпаратты ұсынуда жасанды интеллекттің мүмкіндіктерін пайдалану да маңызды. Сонымен қатар, жасанды интеллект құралдарын оқытуда орынды пайдалау оқушыларға күрделі ақпаратты жеңіл түсінуге, деректерді талдауға көмектеседі.

Ақпарат ұғымын ұлттық құндылықтар негізінде және информатиканың негізгі ұғымдарына ақпарат, ақпараттық процесс, ақпараттық модель, алгоритм, бағдарлама (программа), алгоритмдерді орындаушы компьютер, ақпараттық жүйе, ақпараттық қоғам сияқты ұғымдар жатады. Осы айтылғаннан, бұл ұғымдардың қайсысының болса да «ақпарат» ұғымына қатысы бар, ақпарат ұғымы негізгі ұғым болып болады.

Жоғарыда айтылғандардан, информатика курсының мазмұнында ақпарат және ақпараттық үдерістер мәселелерін зерттеуді және негіздеу өзекті болып отыр. Бұл білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындаудың қажеттігін көрсетеді.

Дискуссия

Захаров А.С. және басқа ғалымдардың еңбектерінде информатика бойынша мектептегі білім берудің іргелігі, жүйелілігі және толықтығы талаптарын жүзеге асыратын информатиканың толыққанды жалпы білім беру курсын құрудың идеологиясы ретінде "ақпараттық үдерістерден ақпараттық технологияларға" деген көзқарасты ұсынады [21]. Оның мәні табиғи ақпараттық үдерістерден адам жасаған жасанды ақпараттық технологияларға көшу жағдайларын ашуда көрінеді. Көптеген жалпы білім беру міндеттерін, соның ішінде дүниетаныммен, оқушылардың әлеуметтенуін қамтамасыз етумен және басқа да міндеттермен байланысты мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін бұл идеяны жүзеге асыру кезінде ақпаратты ұсыну мәселелерін зерттеуге ерекше орын беріледі, өйткені ақпараттық үдерістерді ұйымдастырудың тиімділігі көбінесе ақпаратты ұсыну сапасына байланысты. Ақпаратты ұсыну кезеңі ақпараттық технологиядағы ең маңыздылардың бірі ретінде қарастырылады және оны орындау сапасы бүкіл ақпараттық технологияның тиімділігін анықтайды.

Болашақ информатика мұғалімдерін ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындау мәселесі маңызды міндет болып табылады, өйткені ол оқу процесінің тиімділігін, ақпараттық сауаттылықты және заманауи технологияларды меңгеру деңгейін арттыруға

бағытталған. Осыған орай, мұғалімдерді дайындау үшін бірнеше негізгі бағыттарды атап өтуге болады:

- ақпараттық үдерістердің негізгі принциптерін түсіну;
- ақпараттық технологияларды қолдану дағдыларын қалыптастыру;
- ақпараттық қауіпсіздік және этикалық мәселелер;
- интерактивті және жобалық әдістерді қолдану;
- адаптивті оқыту және оқушылардың жеке қажеттіліктеріне сәйкес оқу материалының құрылуы;
- бағалау және кері байланыс беру. Болашақ информатика мұғалімдерін оқушылардың білімін тексеру және бағалауда жасанды интеллект құралдарын қолдана алады;
- цифрлық құралдар мен ресурстарды пайдалану.

Болашақ информатика мұғалімдерін ақпарат ұғымын, ақпараттық үдерістерді, заманауи программалық құралдарды және әдіс-тәсілдерді қолдана отырып, оқушыларды ақпараттық сауаттылыққа тәрбиелеп, оларды цифрлық қоғамда табысты болуға дайындайды.

Болашақ информатика мұғалімінің әдістемелік шеберлігі сабақтағы күнделікті ұйымдастырушылық және техникалық мәселелерді шешумен қатар, оқушыларға жалпыға бірдей білім беретін, дамытатын және алған білімдерін әртүрлі өмірлік жағдайларда қолдану қабілетін дамытуға бағытталуы тиіс. Осы міндеттерді шешуге келесі ұсынымды келтіреміз. *Ақпарат* – информатика *пәнінің негізгі түсінігі.* Ақпарат түсінігі бүкіл информатика курсының негізі болып табылады, сондықтан болашақ информатика мұғалімі кез келген тақырыпты баяндағанда ойынан шығармауы тиіс.

Қорытынды

Қорыта айтқанда, білімді цифрландыру жағдайында болашақ информатика мұғалімдерін ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындау қазіргі уақытта білім беру жүйесінің маңызды міндеттерінің бірі. Заманауи технологиялар мен цифрлық құралдардың қарқынды дамуы мектептер мен оқу орындарының ақпараттық сауаттылықты арттыру мен білім беру процесін жаңа деңгейге көтеруге бағытталуды талап етеді. Болашақ информатика мұғалімдерін ақпарат және ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындаудың негізгі бағыттары **ц**ифрлық білім беру құзыреттіліктерін қалыптастыру, ақпараттық үдерістер мен ақпарат ұғымын оқыту әдістемелерін жетілдіру, білімді цифрландыру жағдайында мұғалімдерге педагогикалық шеберлікті арттыру. Оқушылардың тиімді үйренуін қамтамасыз ету үшін мультимедиялық және интерактивті әдістерді қолдану. Оқушылардың әртүрлі білім деңгейлеріне сай оқу материалдарын бейімдеу, сол арқылы олардың қабілеттеріне сәйкес келетін тапсырмалар ұсыну. Визуализация элементтерін қолдану арқылы оқу процесін қызықты әрі әсерлі ету. Мұғалімдерге тиімді жұмыс істеу үшін әртүрлі цифрлық құралдар мен ресурстарды пайдалану қажет болады.

Болашақ информатика мұғалімдерін білімді цифрландыру жағдайында ақпараттық үдерістерді оқытуға дайындау білім алушыларға заманауи технологияларды игеруді де, оқушылардың сыни ойлауы мен шығармашылық дағдыларын дамытуды да қамтитын кешенді процесс. Цифрлық трансформация жағдайында болашақ информатика мұғалімдеріне заманауи цифрлық құралдарды тиімді пайдалану үшін қажетті білім мен дағдыларды қамтамасыз ету маңызды, бұл оқушыларға ақпаратты тек мәтін түрінде ғана емес, сонымен қатар мультимедиялық және визуалды түрде ұсынуға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 наурыздағы № 248 қаулысымен бекітілген Қазақстан Республикасында жоғары білімді және ғылымды дамытудың 2023 – 2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000248 01.04.2023

[2] Лаптев В.В., Швецкий М.В. Методическая система фундаментальной подготовки в области информатики: теория и практика многоуровневого педагогического университетского образования. - СПб.: Издательство СанктПетербургского университета, 2000. - 508 с.

[3] Лапчик М.П. Структура и методическая система подготовки кадров информатизации школы в педагогических вузах: дис. ... док. пед. наук: 13.00.02: М., 1999.- 82 с

[4] Левченко И.В. Развитие системы методической подготовки учителей информатики в условиях фундаментализации образования: автореф. дис. ... док. пед. наук: 13.00.02. – М., 2009. - 45 с.

[5] Леднев В. С. и др. Основы теории содержания профессиональнопедагогического образования. – 2006. – 226 с.

[6] Розов К.В. Методика подготовки будущих учителей информатики к применению технологий искусственного интеллекта. автореф. дис. ... к.п.н.:.– Новосибирск, 2024. – 224 с.

[7] Бидайбеков Е.Ы. Подготовка специалистов совмещенного профиля по информатике в Республике Казахстан - Алматы: АГУ им.Абая, 1998. - 87 с.

[8] Нурбекова Ж.К. Фундаментальное и опережающее обучение программированию студентов по специальности «Информатика»: автореф....док. пед. наук: 13.00.02. – Алматы, 2007. – 44 с.

[9] Камалова Г.Б. Совершенствование обучения вычислительной информатике как фактор развития системы подготовки учителей информатики: дис. ... док. пед. наук: 13.00.02. – Алматы, 2010. – 262 с.

[10] Сағымбаева А. Е. Болашақ информатика мұғалімдерін оқушылардың білімін бақылау мен бағалауға дайындаудың теориялық-әдістемелік негіздері: 13.00.02: пед. ғыл. док. ... дис. – Алматы, 2010. – 280 с.

[11] Шекербекова Ш.Т., Жанбырбаев А., Жабаев Е.Х. Болашақ информатика мұғалімдерін желілерді модельдеу негізінде компьютерлік желілерге оқытудың қажеттілігі туралы //Абай ат.ҚазҰПУ, Хабаршы «Физика-математика ғылымдары» сериясы, №2(66), 2019.-Б.301-306. https://bulletin-phmath.kaznpu.kz/index.php/ped/issue/view/9/7

[12] Турганбева А.Р. Формирование профессиональной компетентности будущих учителей информатики на основе е-портфолио: автореф. дис. ... к.п.н.: 13.00.02.– Алматы, 2009. – 48 с.

[13] Киселѐва Е.А. Методика обучения теоретической информатике будущих учителей информатики на основе системно-деятельностного подхода: автореф. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Алматы, 2010. – 30 с.

[14] Конева С.Н. Развитие методической системы обучения информатике на основе использования Интранет-технологий: дис…пед. наук: 13.00.02. –Алматы, 2004. – 153 с.

[15]Boronenko, T.A. Fundamentalisation of professional training of future teachers of mathematics and computer science in the conditions of digitalisation / T.A. Boronenko, V.S. Fedotova // Perspectives of Science and Education. - 2023. - No. 4(64). - P. 90-107. https://cyberleninka.ru/article/n/fundamentalisation-of-professional-training-of-future-teachers-of-mathematics-and-computer-science-in-the-conditions-of/viewer

[16] Bekezhanova A.A., Bidaibekov E.Y., Mametzhanova N. Using infographics to teach object-oriented programming to future computer science teachers. JOURNAL OF E-LEARNING AND KNOWLEDGE SOCIETY. Vol. 19, No. 2 (2023), pp. 60-67. https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135752

[17] Abduvalieva, Gulsanam & Barsanaeva, Dzhamilia & Kenenbaeva, Gulay & Kozub, Halyna & Aghayeva, Sevil. (2024). Innovations in educational methodologies: Exploring the impact of digital technologies on learning and teaching. Scientific Herald of Uzhhorod University Series Physics. 2890-2899. https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.289ql0.

[18] Лапчик М.П., Семакин И.Г., Хеннер Е.К. Методика преподавания информатики: учеб. пособие для студ. пед. вузов. 3-е изд. - М.: Академия, 2006.– 624 с.

[19] Бороненко Т.А. Методика обучения информатике (теоретические основы). СПб: Изд-во РГПУ, 1994.- 322 с.

[20] Информатика және есептеуіш негіздері. Орта оқу орындарына арналған байқау оқу құралы, 1 – бөлім, 1985, Ершов А.П., Монахов В.М., -Алматы, Мектеп баспасы, Бас редактор Бидайбеков Е.Ы., аударған Көбенқұлов Н., Оспанов С, 1985ж. – 96.

[21]Захаров А.С. Изучение вопросов представления информации в школьном курсе информатики. Автореф. Дисс. канд. пед. наук: 13.00.02. – Москва, 2008. – 217 с.

References

[1] Qazaqstan Respublikasy Ukimetinin 2023 jylgy 28 nauryzdagy №248 qaulysymen bekitilgen Qazaqstan Respublikasinda jogary bilimdi jane gylymdy damytudyn 2023–2029 jıldarga arnalgan tuzhyrymdamasy [Concept for the development of higher education and science in the Republic of Kazakhstan for 2023–2029], Available at: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000248 (Accessed: 01.04.2023).

[2] Laptev, V.V. & Shvetskii, M.V. (2000) Metodicheskaia sistema fundamental'noi podgotovki v oblasti informatiki: teoriia i praktika mnogourovnevogo pedagogicheskogo universitetskogo obrazovaniia [Methodological system of fundamental training in informatics: theory and practice of multilevel pedagogical university education], Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 508 p.

[3] Lapchik, M.P. (1999) Struktura i metodicheskaia sistema podgotovki kadrov informatizatsii shkoly v pedagogicheskikh vuzakh [Structure and methodological system of training personnel for school informatization in pedagogical universities], Doctoral dissertation (Pedagogical Sciences), Moskva, 82 p.

[4] Levchenko, I.V. (2009) Razvitie sistemy metodicheskoi podgotovki uchitelei informatiki v usloviiakh fundamentalizatsii obrazovaniia [Development of the system of methodological training of informatics teachers under the conditions of education fundamentalization], Abstract of Doctoral dissertation (Pedagogical Sciences), Moskva, 45 p.

[5] Lednev, V.S. et al. (2006) Osnovy teorii soderzhaniia professional'no-pedagogicheskogo obrazovaniia [Fundamentals of the theory of the content of vocational and pedagogical education], Moskva, 226 p.

[6] Rozov, K.V. (2024) Metodika podgotovki budushchikh uchitelei informatiki k primeneniiu tekhnologii iskusstvennogo intellekta [Methodology of training future informatics teachers for the use of artificial intelligence technologies], Abstract of Candidate dissertation (Pedagogical Sciences), Novosibirsk, 224 p.

[7] Bidaibekov, E.Y. (1998) Podgotovka spetsialistov sovmeshchennogo profilia po informatike v Respublike Kazakhstan [Training of combined-profile specialists in informatics in the Republic of Kazakhstan], Almaty: Abai University, 87 p.

[8] Nurbekova, Zh.K. (2007) Fundamental'noe i operezhaiushchee obuchenie programmirovaniiu studentov po spetsial'nosti "Informatika" [Fundamental and advanced training of students in the specialty "Informatics"], Abstract of Doctoral dissertation (Pedagogical Sciences), Almaty, 44 p.

[9] Kamalova, G.B. (2010) Sovershenstvovanie obucheniia vychislitel'noi informatike kak faktor razvitiia sistemy podgotovki uchitelei informatiki [Improving computer informatics teaching as a factor in developing the system of informatics teacher training], Doctoral dissertation (Pedagogical Sciences), Almaty, 262 p.

[10] Sagymbaeva, A.E. (2010) Bolashaq informatika mugalimderin oqushylardyn bilimin baqylau men bagalauga daıyndaudyn teorıualyq-adistemelik negizderi [Theoretical and methodological bases of preparing future informatics teachers for assessing and evaluating students' knowledge], Doctoral dissertation (Pedagogical Sciences), Almaty, 280 p.

[11] Shekerbekova, Sh.T., Zhanbyrbaev, A. & Zhabaev, E.Kh. (2019) Bolashaq informatika mugalimderin jelerine modeldeu negizinde komp'iuterlik jelerine oqytudyn qazhettiligi turaly [The necessity of teaching computer networks based on network modeling for future informatics teachers], Abai KazNPU Bulletin. Series of Physical and Mathematical Sciences, No. 2(66), pp. 301–306. Available at: https://bulletin-phmath.kaznpu.kz/index.php/ped/issue/view/9/7.

[12] Turganbayeva, A.R. (2009) Formirovanie professional'noi kompetentnosti budushchikh uchitelei informatiki na osnove e-portfolio [Formation of professional competence of future informatics teachers based on e-portfolio], Abstract of Candidate dissertation (Pedagogical Sciences), Almaty, 48 p.

[13] Kiseleva, E.A. (2010) Metodika obucheniia teoreticheskoi informatike budushchikh uchitelei informatiki na osnove sistemno-deiatel'nostnogo podkhoda [Methodology of teaching theoretical informatics to future informatics teachers based on the system-activity approach], Abstract of Candidate dissertation (Pedagogical Sciences), Almaty, 30 p.

[14] Koneva, S.N. (2004) Razvitie metodicheskoi sistemy obucheniia informatike na osnove ispol'zovaniia Intranet-tekhnologii [Development of the methodological system of teaching informatics based on the use of intranet technologies], Doctoral dissertation (Pedagogical Sciences), Almaty, 153 p.

[15] Boronenko, T.A. Fundamentalisation of professional training of future teachers of mathematics and computer science in the conditions of digitalisation / T.A. Boronenko, V.S. Fedotova // Perspectives of Science and Education. - 2023. - No. 4(64). - P. 90-107. https://cyberleninka.ru/article/n/fundamentalisation-of-professional-training-of-future-teachers-of-mathematics-and-computer-science-in-the-conditions-of/viewer

[15] Bekezhanova A.A., Bidaibekov E.Y., Mametzhanova N. Using infographics to teach object-oriented programming to future computer science teachers. JOURNAL OF E-LEARNING AND KNOWLEDGE SOCIETY. Vol. 19, No. 2 (2023), pp. 60-67. https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135752

[17] Abduvalieva, Gulsanam & Barsanaeva, Dzhamilia & Kenenbaeva, Gulay & Kozub, Halyna & Aghayeva, Sevil. (2024). Innovations in educational methodologies: Exploring the impact of digital technologies on learning and teaching. Scientific Herald of Uzhhorod University Series Physics. 2890-2899. https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.289ql0.

[18] Lapchik, M.P., Semakin, I.G. & Khenner, E.K. (2006) Metodika prepodavaniia informatiki: uchebnoe posobie dlia studentov pedagogicheskikh vuzov [Methods of teaching informatics: textbook for students of pedagogical universities], 3rd ed., Moskva: Akademiia, 624 p.

[19] Boronenko, T.A. (1994) Metodika obucheniia informatike (teoreticheskie osnovy) [Methodology of teaching informatics (theoretical foundations)], Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo RGPU, 322 p.

[20] Ershov, A.P., Monakhov, V.M., Bidaibekov, E.Y. (ed.), Köbenqulov, N. & Ospanov, S. (transl.) (1985) Informatika jáne eseptewish negizderi. Orta oqý oryndaryna arnalǵan baıqay oqý quraly [Informatics and computational foundations: trial textbook for secondary schools], 1st part, Almaty: Mektep baspasy, 96 p.

[21] Zakharov, A.S. (2008) Izuchenie voprosov predstavleniia informatsii v shkol'nom kurse informatiki [Study of issues of information representation in the school course of informatics], Abstract of Candidate dissertation (Pedagogical Sciences), Moskva, 217 p.