

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика, математика және компьютерлік
ғылымдар сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика
и компьютерные науки
Издается с 1997 года

ISSN 2959-068X

№ 4 (2025)
Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика и компьютерные науки
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ91VPY00046988
выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность
публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76208

<https://doi.org/10.48081/VBNF4782>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукепов С. К., д.ф.-м.н., профессор
Заместитель главного редактора Испулов Н. А., к.ф.-м.н., профессор
Ответственный секретарь Жумабеков А. Ж., PhD доктор

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Esref Adali	доктор PhD, профессор (Турция);
Qadir Abdul Rahimoon	доктор PhD, профессор (Пакистан);
Акылбеков Э. Т.	д.ф.-м.н., профессор;
Демкин В. П.	д.ф.-м.н., профессор (Российская Федерация);
Дүйшеналиев Т. Б.	д.ф.-м.н., профессор (Российская Федерация);
Жумадилаева А. К.	к.т.н., ассоц. профессор;
Ибраев Н. Х.	д.ф.-м.н., профессор;
Кеңесбеков А. Б.	доктор PhD;
Косов В. Н.	д.ф.-м.н., профессор;
Сеитова С. М.	д.пед.н., профессор;
Сулюбаева Л. Г.	доктор PhD;
Шокубаева З. Ж.	(технический редактор)

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на

«Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

«КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»
SECTION «COMPUTER SCIENCE»

Амирханова Г. А., Адилжанова А. С., Тохтасын М. М., Жубанышева Т. Г.	
Тағам өнеркәсібіндегі ақылды қаптама және ақпараттық қауіпсіздік технологиялары: қысқаша шолу.....	6
Бармин В. Ю., Улихина Ю. В.	
Разработка веб-сайта для популяризации лыжного спорта в Павлодарской области.....	18
Нургалиева М. И., Аканова А. С., Муратова Г. К.	
Жасанды интеллекттің көмегімен ауыл шаруашылығындағы логистиканы болжау және басқару.....	35
Сериков М. К.	
Анализ цифровых следов студентов с применением методов обработки неструктурированной информации.....	49
Хабсихова Д. Ж., Айтимова Ұ. Ж., Есиркепова А. У., Өтеген Г. Ж., Каракеев Т. Т.	
Туристік нысандарды тануда жасанды интеллектті қолдану.....	62

«ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ФИЗИКА» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»
SECTION «THEORETICAL AND EXPERIMENTAL PHYSICS»

Zubeda Bhatti, Deedar Ali Jamro	
Renewable and alternative energy sources offer sustainable solutions to address the growing demand for power while mitigating environmental impact.....	79
Ержанов К. К., Назарова Н. Г., Бауыржан Г. Б.	
Динамика частиц в окрестностях черных дыр в моделях с к-эссенцией.....	93
Әсілхан Ә. Д., Қаламбай М. Т., Өтебай А. Б., Сақан А. Б., Үсіпов Н. М.	
Torch магнитогидродинамикалық астрофизикалық процестерді модельдеу технологиясы.....	113
Испулов Н. А., Жумабеков А. Ж., Кисабекова А. А.	
Распространение упругих волн в анизотропных термоупругих средах: моделирование в Wolfram Mathematica 11.....	125

Кули Ж., Идрисова Т. К., Алиакбарова А. А., Бакранова Д. И., Бакранова М. Н.	
Формирование развитых 2D ZnO наноструктур на гибкой углеродной подложке.....	137
Морзабаев А., Құрманалиев Ж., Тестов Д., Кунсафина А., Мәуей Б.	
Төмен энергиялар аймағындағы (α,n) қималарын өлшеу.....	155
Омарова Г. С., Садықова А. Е., Әкім Г. Б.	
Плазмнды эффектiнiң жартылай өткізгіш/бояғыш жүйесіндегі электронды тасымалдауғы әсері.....	172
Сариева Д. К., Ким А. В.	
Выбор оптимального цеолита для каталитической обработки легких углеводородов.....	183
Сатыбалдин А. Ж., Шаймерденова К. М., Алпысова Г. К., Накипова С. Ж., Сейтжан Р.	
ЖВҚІР қондырғысының разрядтық кернеуінің мұнай шламының жеңіл және орта фракцияларының шығымына әсері.....	199

**«МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ СТАТИСТИКА» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИКА И СТАТИСТИКА»
SECTION «MATHEMATICS AND STATISTICS»**

Сағындықов Б. Ж., Бимұрат Ж., Бимұрат М.	
Жалпыланған комплекс сандардың Галилей және Лоренц түрлендірулерін сипаттаудағы рөлі.....	212

**«ОҚУ ПӘНДЕРІН ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ» СЕКЦИЯСЫ
СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН»
SECTION «METHODS OF TEACHING OF EDUCATIONAL DISCIPLINES»**

Акылбекова А. Д., Айтбаева А. Н.	
Инклюзивті білім беру жағдайында физика сабақтарын цифрлық технологиялар арқылы ұйымдастыру.....	227
Nurumzhanova K. A., Aigumusova A. B., Senkina G. E.	
Applying the lesson study strategy to improve the effectiveness of physics lessons.....	241
Похолков Ю. П., Исеева Е. В.	
Искусственный интеллект в инженерном образовании: очередной вызов, плюсы и минусы, ответы, фантазии и решения.....	259

Авторлар туралы ақпарат Информация об авторах Information about the authors.....	276
Авторларға арналған ережелер Правила для авторов Rules for authors.....	296
Жарияланым этикасы Публикационная этика Publication ethics.....	308

«КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР» СЕКЦИЯСЫ

FTAMP 65.53.35

<https://doi.org/10.48081/LFJK6827>

**Г. А. Амирханова¹, А. С. Адилжанова²,
М. М. Тохтасын³, *Т. Г. Жубанышева⁴**

^{1,2,3,4}Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3933-5476>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1768-064X>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8682-8262>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0620-4879>

*e-mail: zhubanysheva03@bk.ru

ТАҒАМ ӨНЕРКӘСІБІНДЕГІ АҚЫЛДЫ ҚАПТАМА ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: ҚЫСҚАША ШОЛУ

Бұл мақалада тамақ өнеркәсібінде қолданылатын ақылды қаптама технологияларына шолу жасалады. Тұрақтылық, өнім қауіпсіздігін жақсарту және жоғары сапа стандарттарына ұмтылу өмір туралы ғылымдардың барлық салаларында маңызды. Осы талаптарды қанағаттандыру үшін тағам секторында ақылды қаптама қолданылады. Бұл жүйелер өнімнің сапа жағдайын үздіксіз бақылай алады және тұтынушымен ақпарат бөлісе алады. Осылайша, тағам қалдықтарын азайтуға және тұтынушы қанағаттанушылығын оңтайландыруға болады. Бұл шолуда әртүрлі ақылды қаптама технологиялары қарастырылады және талқыланады. Негізгі үш топ: мәліметтер тасымалдаушылары, индикаторлар және сенсорлар. Қазіргі уақытта олар кеңінен таралмаған, бірақ олардың әлеуеті белгілі. Мақалада ақылды қаптаманы қай салаларда енгізу керектігі, жүйелердің қалай жұмыс істейтіні және олардың қандай құндылықтарды ұсынатыны қарастырылады. Сонымен қатар, ақылды қаптама тұжырымдамаларының артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ осы саладағы болашақ даму перспективалары талқыланады. Сонымен бірге экологиялық тиімділік пен қайта

өңдеуге жарамдылық мәселелеріне назар аударылады. Мақала тағам өндірушілері, зерттеушілер және ақылды қаптама технологияларымен айналысатын мамандар үшін пайдалы болуы мүмкін. Зерттеу нәтижелері тағам өндірісінде өнім сапасын бақылаудың жаңа деңгейін қамтамасыз етуге, логистикалық тізбектердің тиімділігін арттыруға және ақпараттық қауіпсіздік талаптарын орындауға бағытталған. Осыған байланысты ақылды қаптама технологиялары цифрлық трансформацияның маңызды бөлігі болып табылады.

Кілтті сөздер: ақылды қаптама, индикаторлар, сенсорлар, тағам қауіпсіздігі, тағам өнеркәсібі, ақпараттық қауіпсіздік, IoT, деректерді қорғау.

Кіріспе

Қазіргі таңда ақылды қаптама жүйелері тек өнім сапасын бақылап қана қоймай, сонымен қатар ақпараттық қауіпсіздік элементтерін қамтуы тиіс. Деректерді RFID, QR және IoT сенсорлар арқылы жинау мен өңдеу кезінде ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету – негізгі талаптардың бірі болып табылады. Ақпараттың бұрмалануы немесе хакерлік шабуылдар өнімнің қауіпсіздігін де, тұтынушы сенімін де төмендетуі мүмкін.

Қаптама өнімдерді сыртқы ортадан бөледі және жалпы төрт негізгі функцияға ие: қорғау, байланыс, ыңғайлылық және ұстап тұру [1]. Ол тұтынушымен жазбаша мәтіндер немесе графика арқылы байланысады және ішіндегі өнімдермен жұмыс істеуді қайта жабу немесе микротолқынды пешті пайдалану мүмкіндігі сияқты практикалық функциялар арқылы жеңілдетеді. Бұдан басқа, ол әртүрлі пішін мен өлшемдегі контейнерлерді ұсынады және сатып алушының өмір салтына бейімделеді [2].

Маркетинг пен таратуды жақсартумен қатар, қаптама сапаның нашарлауын да баяулатады. Міне, сондықтан ол қапталған өнімдерді қауіпсіз жеткізуге және сақтауға айтарлықтай үлес қосады [3]. Дегенмен, сапаның толық жоғалуын болдырмау мүмкін емес. Тез бұзылатын өнімдердің ішкі қасиеттері өңдеуден кейін өзгереді. Бұл сапаның жақсаруына (мысалы, жемістердің белгілі бір деңгейге дейін пісуіне) немесе сапаның жоғалуына әкелуі мүмкін: қаптаманың құрамына байланысты биологиялық, химиялық немесе физикалық процестер жүреді, бұл соңында өнімнің бұзылуына әкеледі [4].

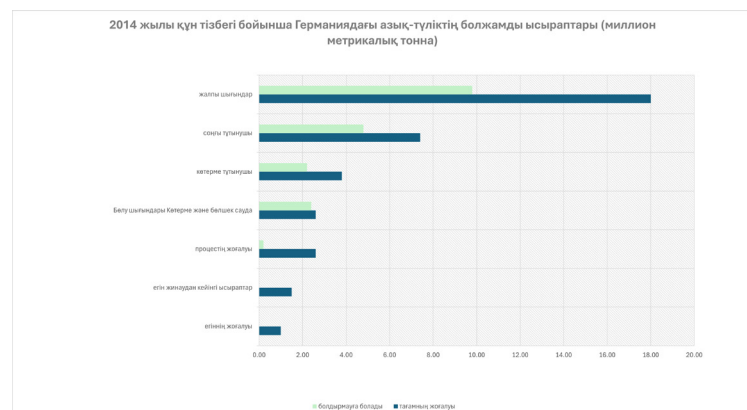
Көбінесе тұтынушылар өнімдердің өзгерісін дұрыс бағалай алмайды. Олар өнімдердің бұзылуынан қорқып, шын мәнінде жеуге жарамды өнімдерді тастайды. Көп жағдайда түсінік өзгеруі, консистенциясы немесе жарамдылық

мерзімінің өтуі сияқты нормадан шамалы ауытқу өнімдердің қоқыс шелегіне түсуіне әкеледі [5; 6] (1-суретті қараңыз).



1-сурет – 2017 жылы Германияда өнімдерден бас тарту себептері [6]

Құндылық тізбегіндегі азық-түлік шығындарын салыстырғанда, соңғы тұтынушы ең үлкен үлес қосады. Одан да нашары, азық-түлік шығындарының көп бөлігін болдырмауға болатын еді (2-суретті қараңыз) [7].



2-сурет – 2014 жылы Германияда құндылық тізбегі бойынша азық-түлік шығындарының есептік көрсеткіштері [7]

Бұл байқаусызда өнім қалдықтарын азайту үшін, «ақылды қаптама» тұжырымдамалары қолданылуы мүмкін. Бірақ бұл осы технологиялар беретін жалғыз артықшылық емес [8].

Өнімді микробиологиялық және химиялық сынақтар өндіріс кезінде және жеткізу алдында компания деңгейінде үнемі жүргізіледі [8]. Бірақ көп жағдайда супермаркетке жеткізілгеннен кейін мұндай бақылау жоқ. Ақылды қаптама осы олқылықты жояды, өйткені ол өндіріс нүктесінен тұтынушыға дейін сапа күйін бақылап, көрсете алады. Бұл үздіксіз мониторинг тек қажетсіз тағам қалдықтарын азайтып қана қоймай, тұтынушыларды ықтимал тағам уланудан қорғайды, тағам өнеркәсібінің тиімділігін арттырады және іздеу мүмкіндігін жақсартады [6; 7].

Материалдар мен әдістері

Бұл зерттеу жұмысында ақылды қаптама саласында жарияланған ғылыми әдебиеттерге, нормативтік құжаттарға және индустрия есептеріне кешенді шолу жасалды. Ақылды қаптама технологияларының қазіргі жағдайын және болашақ даму перспективаларын зерттеу үшін деректер әртүрлі электрондық ғылыми дереккөздерден (Scopus, Web of Science, Google Scholar) жиналды. Зерттеу барысында әртүрлі өнім түрлері үшін түрлі ақылды қаптама шешімдерінің қолданылуы мен тиімділігі талданды. Сонымен қатар, тағам қалдықтарын азайту тұрғысынан ақылды қаптаманы қолданудың экономикалық және экологиялық аспектілері зерттелді.

Зерттеу барысында ақылды қаптама технологияларымен қатар, олардың деректер қауіпсіздігін қамтамасыз ету әдістері – шифрлау, аутентификация, желілік қорғаныс және IoT қауіпсіздік хаттамалары қарастырылды.

Нәтижелер және талқылау

RFID және сенсорлық жүйелердің ақпараттық қауіпсіздігі – басты мәселе. Ақылды қаптама жүйелері кибершабуылдар мен деректердің рұқсатсыз өзгеруінен қорғалуы керек. Бұл үшін шифрланған байланыс арналарын (мысалы, TLS), блокчейн негізіндегі жеткізу тізбегін және киберқауіпсіздік мониторингін пайдалану тиімді.

Ақылды қаптама технологиялары мен тұжырымдамаларына шолу

EFSA ақылды қаптама материалдарын «қапталған тағам өнімдерінің жағдайын немесе тағам өнімдерінің айналасындағы ортаны бақылайтын материалдар мен бұйымдар» деп анықтайды [9]. Олар қапталған өнімнің жағдайы туралы хабарлау қабілетіне ие, бірақ өніммен өзара әрекеттеспейді [10]. Олардың мақсаты – өнімді бақылау және тұтынушыларға ақпарат беру.

Ақылды қаптаманы коммерциялық мақсатта пайдалану үшін құқықтық талаптар орындалуы керек. Көп жылдар бойы ЕО-да ақылды қаптама үшін құқықтық база болған жоқ.

Жалпы, ақылды қаптама жүйелері үшін қолданылатын үш негізгі технология бар: мәліметтер тасымалдаушылары, индикаторлар және сенсорлар [10]. Сондай-ақ, келесі түрлер бойынша бөлу мүмкін:

Қоршаған орта жағдайлары: бұл түр тағам өнімдерінің сапалық сипаттамаларының өзгеруіне әкелуі мүмкін жағдайларды қадағалайды. Мұндай түрлердің мысалдары - температура индикаторлары, газ ағып кету индикаторлары және салыстырмалы ылғалдылық сенсорлары.

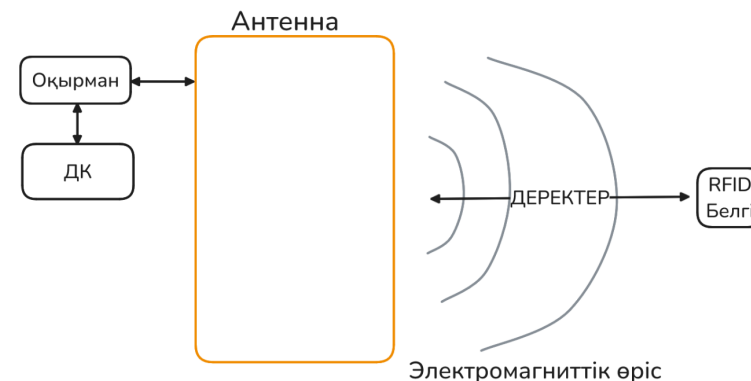
Сапа сипаттамалары немесе сапа индикаторларының қосылыстары: бұл түр тағам өнімдерінің өздерінің сапалық сипаттамаларын тікелей бақылау үшін қолданылады. Мысалдары биосенсорлар және сенсорлар/жаңалық индикаторлары болып табылады.

Мәліметтер тасымалдаушылары: бұл жүйелер мәліметтерді сақтау және беру үшін ғана қолданылады, ал индикаторлар мен сенсорлар сыртқы ортаны бақылау және ақпаратты кейіннен көрсету үшін қолданылады [4; 11].

Деректер тасымалдаушылары жеткізу тізбегіндегі ақпарат ағынын тиімді етуге көмектеседі. Деректер тасымалдаушыларының функциясы өнім сапасын бақылау емес, бақылауды қамтамасыз ету, автоматтандыру, ұрлықтан немесе жалғандықтан қорғау [12]. Ең жиі қолданылатын деректер тасымалдаушылары – штрих-код заттаңбалары және RFID (радиожилікті сәйкестендіру) белгілері [10].

Индикаторлар заттың болуын немесе болмауын, әртүрлі заттар арасындағы реакция дәрежесін немесе белгілі бір заттың концентрациясын анықтайды. Бұл ақпарат тікелей өзгерістер, мысалы, әртүрлі түс қарқындылығы арқылы көрінеді [13].

RFID жүйесі үш компоненттен тұрады: кішкентай антеннаға қосылған микрочиптен түзілген белгі, радио сигналдарды шығаратын және белгіден жауап ретінде жауап алатын оқу құрылғысы және RFID жабдығы мен корпоративтік қосымшаларды байланыстыратын аралық бағдарламалық қамтамасыз ету (5-суретті қараңыз) [13].



3-сурет – Радиожилікті сәйкестендіру (RFID) белгісінің жұмыс істеу принципі, [13]-ден бейімделген

Уақыт-температура индикаторы (ТТІ)

Температура тамақ өнімдерінің жарамдылық мерзімін анықтауда маңызды фактор болып табылады. Температуралық профильдегі ауытқулар микроорганизмдердің өсуіне немесе тірі қалуына әкелуі мүмкін, бұл соңында өнімнің бұзылуына әкеледі. Сонымен қатар, дұрыс емес мұздату ет немесе басқа өнімдердің ақуыздарын денатурациялауы мүмкін. ТТІ индикаторының мысалы ретінде Lifeline Technologies компаниясының Fresh-Check құрылғысын келтіруге болады. Оның функциясы индикация диапазонында түстің өзгеруіне әкелетін полимерлену реакциясына негізделген. Таза орталық жаңа ТТІ көрсетеді. Егер белсенді орталықтың түсі сыртқы сақинамен сәйкес келсе, өнімді жақын арада тұтыну керек. Жаңа емес өнімдердің ТТІ қараңғы орталыққа ие (6-суретті қараңыз) [14].

ТТІ-дің қосымша мысалдары және олардың қасиеттері 1-кестеде көрсетілген [14].

1-кесте – Коммерциялық қолжетімді ТТІ-дің әртүрлі мысалдары және қасиеттері [14].

Өнім атауы	Принцип	Түс диапазоны	Баға диапазоны (цент)
CheckPoint® M,L түрлері	Ферментативті	Жасыл, сары, қызыл үш түсті	5–15
Fresh-Check®	Полимерлі	Түссіз, көк	1–5
On Vu™	Фотохимиялық	Көкшіл қара, түссіз	1–5
TT Sensor™	Диффузиялық-реакциялық	Сары, қызғылт	5–15

3M™ MonitorMark™	Молекулалық диффузия	Түссіз, көк	-
eO	Микробиологиялық	Жасыл, қызыл	5–15
Keep-it®	Қозғалмайтын және қозғалмалы реагентке негізделген химиялық реакция	Көк жолақтың солға жылжуы	-

Жаңалық индикаторлары

Жаңалық индикаторлары сақтау және тасымалдау кезінде тағам өнімдерінің сапасын бақылайды. Жаңалықты жоғалту себептері қолайсыз жағдайлар немесе жарамдылық мерзімінің асып кетуі болуы мүмкін. Сондықтан олар микробиологиялық өсу, микробиологиялық метаболиттердің болуы немесе өнімдердің химиялық өзгерістері туралы ақпарат береді [15; 16].

Сенсорлар

Сенсор – бұл энергияны немесе затты анықтау, локализациялау немесе сандық бағалау үшін қолданылатын құрылғы, ол құрылғы әрекет ететін физикалық немесе химиялық қасиетті анықтау немесе өлшеу үшін сигнал беретін құрылғы ретінде анықталады [17].

Ақылды қаптама тұжырымдамаларының артықшылықтары мен кемшіліктері

Жалпы алғанда, ақылды қаптама қолдануға оңай және тұтынушыларға, тағам өндірушілеріне және бүкіл тамақ өнеркәсібіне бірқатар артықшылықтар береді. Жүйеге байланысты олар әртүрлі функцияларды ұсынады [18].

Өнімнің ағымдағы сапасын индикаторлар мен сенсорлар арқылы анықтауға болады. Бұл өнімнің жалпы қауіпсіздігінің жоғарылауына және қажетсіз тағам қалдықтарының азаюына әкеледі [19; 20]. Сонымен қатар, сапаның бұл үздіксіз мониторингі қапталған тағам өнімдерін талдау әдістеріндегі уақыт пен материалдық шығындарды да азайтады.

Мәліметтер тасымалдаушылары жеткізу тізбегін жақсы қадағалауды қамтамасыз етеді. Олардың төмен бағасы, қолдану қарапайымдылығы және олар ұсынатын артықшылықтар арқасында штрих-кодтар мен QR-кодтар қазіргі уақытта кеңінен таралған. Керісінше, индикаторлар мен сенсорларды нарықта табу қиын. Мұның себептерінің бірі – баға, өйткені әзірлеу және өндіру шығындары әлі де өте жоғары.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен BR24992975 «Жасанды интеллект және IoT технологияларын қолдана отырып, тамақ өңдеу

кәсіпорнының цифрлық егізін жасау» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде орындалды.

Қорытынды

Өкінішке орай, ақылды қаптама жүйелері әлі нарықта кең таралмаған. Бұған жүйелердің жоғарыда аталған кемшіліктері (қосымша шығындар, дилерлердің/бренд иелерінің қабылдауы және т.б.) себеп болып табылады. Бірақ бұл жүйелердің артықшылықтарын елемеге болмайды. Олардың артықшылықтарын пайдалану және кеңірек қолдануды қамтамасыз ету үшін одан әрі зерттеулер мен жақсарту шараларын жүргізу қажет.

Ақылды қаптаманы қолдану барлық салалар үшін мағыналы немесе қажет емес. Әрбір өнім түрі үшін ақылды қаптаманы қолдану керек-керек емес екенін тексеру керек. Оларды технологияларды қолдану сатуды арттырған немесе қалдықтарды азайтқан жағдайда ғана қолданған жөн, өйткені ақылды қаптама қаптамаға жоғары шығындармен байланысты [4]. Негізгі қолдану салалары ет немесе балық сияқты тез бұзылатын өнімдер болуы керек [4];

Ақылды қаптаманың болашағы тек өнім сапасын бақылаумен шектелмейді. Ол цифрлық егіздер, IoT және ақпараттық қауіпсіздік элементтерімен толық интеграцияланған экожүйеге айналуға. Сондықтан болашақ зерттеулер смарт-қаптаманың ақпараттық қауіпсіздік деңгейін арттыруға бағытталуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Yam, K. L., Takhistov, P. T., Miltz, J. Intelligent packaging : Concepts and applications // J. Food Sci. – 2005. – № 70. – P. R1–R10.
- 2 Yam, K. L., Lee, D. S. 1-Emerging food packaging technologies: An overview // In Emerging Food Packaging Technologies; Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2012. – P. 1–9.
- 3 Dobrucka, R. The future of active and intelligent packaging industry // LogForum Sci. J. Logist. – 2013. – № 8. – P. 103–110.
- 4 Heising, J. K., Dekker, M., Bartels, P. V., Van Boekel, M. A. Monitoring the quality of perishable foods: Opportunities for intelligent packaging // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2014. – № 54. – P. 645–654.
- 5 Stubenrauch, C. Neue Verpackungen für Lebensmittel: Gut verpackt? // Chem. Unserer Zeit. – 2005. – Bd. 39. – P. 310–316. – <http://dx.doi.org/10.1002/ciuz.200400348>
- 6 Bofrost. Umfrage zu Gründen für das Wegwerfen von Lebensmitteln in Deutschland 2017 [Текст]. – [Электронды ресурсы]. – <https://de.statista.com/>

[statistik/daten/studie/486235/umfrage/umfrage-zu-gruenden-fuer-das-wegwerfen-von-lebensmitteln-in-deutschland/](https://statistik.daten/studie/486235/umfrage/umfrage-zu-gruenden-fuer-das-wegwerfen-von-lebensmitteln-in-deutschland/) (қатынау күні: 24.05.2018).

7 WWF. Lebensmittelverluste in Deutschland nach Wertschöpfungsstufen 2014 [Текст] // [Электронды ресурс]. – <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/481923/umfrage/lebensmittelverluste-in-deutschland-nach-wertschoepfungsstufen/> (қатынау күні: 04.11.2018).

8 Fung, F., Wang, H.-S., Menon, S. Food safety in the 21st century // Biomed. J. – 2018. – Vol. 77. – P. 347. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>

9 Realini, C.E., Marcos, B. Active and intelligent packaging systems for a modern society // Meat Sci. – 2014. – Vol. 98. – P. 404–419. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>

10 Ghaani, M., Cozzolino, C.A., Castelli, G.; Farris, P. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector // Trends Food Sci. Technol. – 2016. – Vol. 51. – P. 1–11. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>

11 Han, J. H., Ho, C. H. L., Rodrigues, E. T. Innovations in Food Packaging – PDF Free Download [Текст]. – Winnipeg, MB, Canada : Elsevier Science & Technology Books, 2005. – ISBN 0-12-311632-5.

12 McFarlane, D., Sheffi, Y. The impact of automatic identification on supply chain operations // Int. J. Logist. Manag. – 2003. – Vol. 14. – P. 1–17. – <http://dx.doi.org/10.1108/09574090310806503>

13 Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Li, Z., Brody, A.L., Qazi, I.M., Lv, L., Pavase, T.R., Khan, M.U., Khan, P. et al. An overview of smart packaging technologies for monitoring safety and quality of meat and meat products // Packag. Technol. Sci. – 2018. – Vol. 31. – P. 449–471. – <http://dx.doi.org/10.1002/pts.2380>

14 Park, Y.W., Kim, S.M., Lee, J.Y., Jang, W. Application of biosensors in smart packaging // Mol. Cell. Toxicol. – 2015. – Vol. 11. – P. 277–285. – <http://dx.doi.org/10.1007/s13273-015-0027-1>

15 Kerry, J., Butler, P. Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods [Текст] // Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, 2008. – ISBN 978-0-470-75368-2.

16 Kuswandi, B., Maryska, C., Jayus, Abdullah, A., Heng, L. Y. Real time on-package freshness indicator for guavas packaging // J. Food Meas. Charact. – 2013. – Vol. 7. – P. 29–39. – <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-013-9136-5>

17 Lee, S. Y., Lee, S. J., Choi, D. S., Hur, S. J. Current topics in active and intelligent food packaging for preservation of fresh foods // J. Sci. Food Agric. – 2015. – Vol. 95. – P. 2799–2810. – <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7218>

18 Fuertes, G., Soto, I., Carrasco, R., Vargas, M., Sabattin, J., Lagos, C. Intelligent packaging systems: sensors and nanosensors to monitor food quality and safety // J. Sens. – 2016. – <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4046061>

19 Verghese, K., Lewis, H., Lockrey, S., Williams, H. Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain // Packag. Technol. Sci. – 2015. – Vol. 28. – P. 603–620. – <http://dx.doi.org/10.1002/pts.2127>

20 Brünnagel, D. Die Verpackung denkt mit // Verpackungsrundschau. – 2014. – P. 14–16.

07.10.25 ж. баспаға түсті.

06.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

Г. А. Амирханова¹, А. С. Адилжанова²,

М. М. Тохтасын³, Т. Г. Жубанышева⁴

^{1,2,3,4}Казахский национальный университет имени аль-Фараби,

Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 07.10.25.

Поступило с исправлениями 06.11.25.

Принято в печать 15.12.25.

УМНАЯ УПАКОВКА И ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: КРАТКИЙ ОБЗОР

В данной статье представлен обзор технологий умной упаковки, применяемых в пищевой промышленности. Устойчивость, повышение безопасности продукции и стремление к высоким стандартам качества являются важными аспектами во всех областях наук о жизни. Для удовлетворения этих требований в пищевом секторе используются системы умной упаковки. Такие системы способны непрерывно контролировать состояние качества продукта и передавать информацию потребителю. Это позволяет снизить количество пищевых отходов и повысить уровень удовлетворённости покупателей. В обзоре рассматриваются и анализируются различные технологии умной упаковки, которые подразделяются на три основные группы: носители данных, индикаторы и сенсоры. Несмотря на то, что данные технологии пока не получили широкого распространения, их потенциал очевиден. В статье обсуждаются области применения умной упаковки, принципы её функционирования и предоставляемые ею ценности. Кроме того, рассматриваются преимущества и недостатки концепций умной упаковки, а также перспективы дальнейшего

развития этой области. Особое внимание уделяется экологической эффективности и возможностям переработки. Статья может быть полезна для производителей пищевых продуктов, исследователей и специалистов, работающих с технологиями умной упаковки. Результаты исследования направлены на обеспечение нового уровня контроля качества продукции, повышение эффективности логистических цепочек и соблюдение требований информационной безопасности. В этом контексте технологии умной упаковки становятся важной частью цифровой трансформации пищевой промышленности.

Ключевые слова: умная упаковка, индикаторы, сенсоры, безопасность пищевых продуктов, пищевая промышленность, информационная безопасность, IoT, защита данных.

G. A. Amirkhanova¹, A. S. Adilzhanova²,
M. M. Tokhtasyn³, *T. G. Zhubanysheva⁴

^{1,2,3,4}Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 07.10.25.

Received in revised form 06.11.25.

Accepted for publication 15.12.25.

SMART PACKAGING AND INFORMATION SECURITY TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY: A BRIEF OVERVIEW

This article provides an overview of smart packaging technologies used in the food industry. Sustainability, product safety improvement, and the pursuit of high-quality standards are crucial across all areas of life sciences. To meet these requirements, smart packaging systems are applied in the food sector. These systems can continuously monitor product quality conditions and communicate information to consumers. This approach helps to reduce food waste and optimize consumer satisfaction. The review examines and discusses various smart packaging technologies, which are mainly divided into three groups: data carriers, indicators, and sensors. Although these technologies are not yet widely implemented, their potential is evident. The article explores the areas where smart packaging can be introduced, how these systems operate, and what values they provide. In addition, it discusses the advantages and disadvantages of smart packaging concepts, as well as future development prospects in this field. Special attention is paid to environmental efficiency and recyclability

issues. The article may be useful for food manufacturers, researchers, and professionals working with smart packaging technologies. The results of this study aim to ensure a new level of product quality control, increase the efficiency of logistics chains, and meet information security requirements. In this context, smart packaging technologies represent an important part of the digital transformation of the food industry.

Keywords: smart packaging, indicators, sensors, food safety, food industry, information security, IoT, data protection.

***В. Ю. Бармин¹, Ю. В. Улихина²**

^{1,2}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6226-5637>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

*e-mail: vldslvbarmin@gmail.com

РАЗРАБОТКА ВЕБ-САЙТА ДЛЯ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ЛЫЖНОГО СПОРТА В ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной статье представлена подробная разработка веб-сайта для популяризации лыжного спорта Павлодарской области в рамках изучения дисциплин майнера «Веб-программирование» в Торайғыров университете. Описана модель разработанного сайта с разбиением на области и переходы между ними. Описаны технологии разработки веб-сайтов – язык гипертекстовой разметки для описания внешнего вида веб-страниц сайта HTML и для единообразного дизайна каскадные таблицы стилей – CSS. Основные конструкции в разработке, переходы на веб-страницы сайта для удобного и правильного взаимодействия пользователей с разработанным сайтом. Описан важнейший этап наполнения сайта контентом путем изучения, анализа источников Республики Казахстан о спортивной сфере в зимних видах спорта, а также изложены данные о виде спорта «Лыжные гонки», полученные в ходе личной беседы с родителями спортсменов и атлетами. Прделано структурирование и распределение информации по областям веб-сайта для комфортного восприятия информации пользователем. Итогом является веб-сайт «Лыжные гонки Павлодарской области», который позволит значительно укрепить роль лыжного спорта в Павлодарской области, а также сделать его более популяризованным. В перспективном развитии данного сайта существует возможность объединения такого вида спорта как «Лыжные гонки», так и других видов в единую веб-платформу, соединяющую все спортивные клубы Республики Казахстан, с их спортсменами, тренерами и болельщиками. Что позволит увлеченному пользователю больше узнать о спорте в стране и возможно принять личное участие.

Ключевые слова: разработка веб-сайта, веб-технологии, лыжный спорт, лыжные гонки, веб-дизайн.

Введение

WWW или всемирная паутина состоит из большого множества веб-сайтов, доступных через Интернет с помощью веб-браузеров. Каждый веб-сайт содержит одну или несколько веб-страниц. В современном мире посредством веб-сайтов происходит коммуникация человеческого интернет-сообщества [1].

Актуальность веб-разработки, веб-дизайна и веб-сайтов на сегодняшний день – один из ключей формирования цифрового общества, о которых говорили и говорил первый президент нашей страны Нурсултан Абишевич Назарбаев и действующий – Касым-Жомарт Кемелевич Токаев. В частности, второй президент страны намерен за ближайшие три года сделать нашу Республику ведущим IT-хабом Евразии.

Мы знаем, что преимущественная часть отраслей человеческого быта, досуга и существования связаны с Интернетом, веб-технологиями и веб-сайтами, что по праву можно считать достижением человечества. Данный успех не обошел и спортивный мир нашей страны и других стран в целом. Спортивные сайты во всемирной паутине выступают инструментом консолидации спортсменов не только определенных государств, но и разных стран мира.

Лыжный спорт в Павлодарской области одновременно популярен и находится в тени. Можно перечислить пару причин, по которым лыжный спорт в нашем регионе принято считать широко известным. Во-первых, каждую зиму на лыжных базах города Павлодар можно встретить любителей, катающихся на лыжах для себя, с целью поддержания здоровья даже не подозревая, что данным видом спорта можно заниматься на профессиональном уровне. Во-вторых, павлодарские лыжники-профессионалы являются одними из ведущих спортсменов Республики Казахстан, демонстрирующие настоящий мастер-класс на этапах кубков мира, Азии, Республики Казахстан, на чемпионатах мира, страны, а также на Олимпийских играх.

Данная тема была выбрана из-за назревшей актуальности, которая заключается в следующем: во-первых, данный проект является новшеством для Павлодарской области, поскольку на сегодняшний день ни одна из команд области не имеет подобного рода источника информации, на котором представлена информация о каждом ветеране лыжного спорта и спортсмене, составляющем сборную нашей области по лыжным гонкам. Во-вторых,

она способствует формированию спортивного имиджа Павлодаской области в Казахстане, как одного из самых спортивных регионов страны.

Главной целью проекта является разработка веб-сайта для популяризации лыжного спорта павлодарской области. Что необходимо для пропаганды здорового образа жизни, путем популяризации лыжного спорта Республики Казахстан на основе кратких биографических справок и достижений спортсменов, представленных на разработанном сайте при использовании веб-технологий.

Материалы и методы

Для достижения вышепоставленной цели был выполнен ряд следующих задач:

1 Применение веб-технологий для разработки веб-сайта – языка разметки гипертекста для описания внешнего вида веб-страниц сайта HTML и для единообразного дизайна каскадные таблицы стилей – CSS;

2 Изучение и анализ источников для изложения информации о спортсменах и тренерах региона;

3 Структурирование и распределение информации по областям веб-сайта для комфортного восприятия информации пользователем.

Для дальнейшего понимания необходимо дать понятия вышеуказанным терминам.

Веб-разработка – этапы создания веб-приложений. Начиная от замысла до его реализации и внедрения в Интернет.

Веб-страница – страница программного кода, написанного на HTML и несущая в себе структурированную информацию о той или иной теме. Веб-сайт набор организованных страниц по какой-либо предметной области или теме взаимодействующих между собой для достижения оптимального результата.

Веб-дизайн – процесс создания и придания оптимального внешнего вида веб-страницам, составляющим тот или иной веб-сайт.

Для оформления визуального восприятия сайта были применены язык гипертекстовой разметки HTML (Hyper Text Markup Language) и язык виртуальной разметки веб-страницы CSS (Cascading Style Sheets) для предания веб-сайту более лаконичного и приятного восприятию пользователя внешнего вида.

HTML (Hyper Text Markup Language) – стандартный язык гипертекстовой разметки текста, используемый для создания и структурирования веб-сайтов и размещения их в Интернете. HTML состоит из набора определенных тегов, которые определяют внешний вид, содержимое и структуру веб-страницы [2].

Сам по себе HTML-документ – текстовый файл, содержащий набор инструкций для представления информации в требуемом виде в окне браузера.

На сегодняшний день, принципы создания HTML-документов подразумевают четкое различие содержания документа от его воспринимаемого пользователем вида. Для управления визуальным отображением текста, таблиц, ссылок, изображений и подобных элементов, способных располагаться на веб-странице применяют каскадные таблицы стилей (CSS – сокращение от Cascading Style Sheets) [2].

CSS – фундаментальная технология, используемая разработчиком для форматирования, оформления, позиционирования элементов, расположенных на веб-странице [2].

Разработанный сайт имеет следующую структуру. Стартовая страница представляет собой веб-страницу, разделенную на фреймы, где с левой стороны в верхнем углу располагается логотип, по которому можно попасть на главную страницу веб-сайта путем нажатия на сам логотип. Переход осуществляется с любой из открытых вкладок, расположенных в меню или на самом главном экране с возможностью его прокручивания. Перед тем, как приступить к разработке начальной страницы необходимо было составить схему-модель будущей версии сата, которая представлена на рисунке 1.

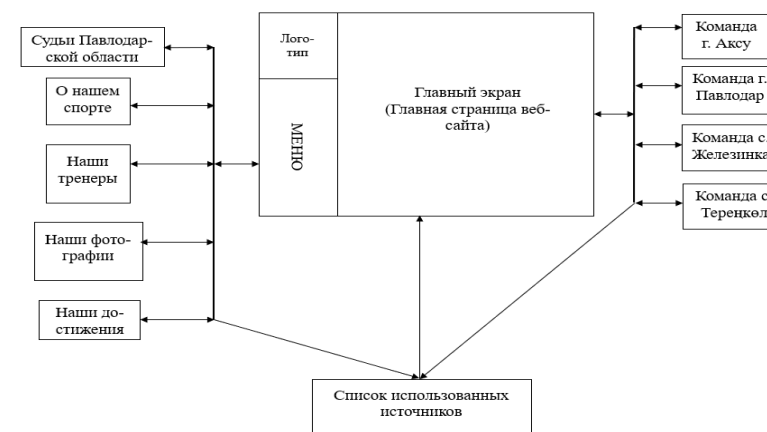


Рисунок 1 – Модель сайта «Лыжные гонки Павлодарской области»

Опираясь на данную модель, была создана стартовая страница веб-сайта, фрагмент которой представлен на рисунке 2.

- Начальная страница веб-сайта содержит в себе информацию о:
- составе сборной команды Павлодарской области по лыжным гонкам на момент 2024 года и общекомандное фото;
 - о городах, селах и районах, входящих в состав сборной команды, прочитать про каждую из команд можно, перейдя на определенную веб-страницу при помощи ссылки, которая находится в каждой из командных фотографий;
 - начальную информацию о членах команды в виде: фамилии и имени спортсмена и тренера, спортивного звания и спортивных достижений;
 - контактная информация для того, чтобы записаться на занятия по лыжным гонкам в профессиональную лыжную команду.

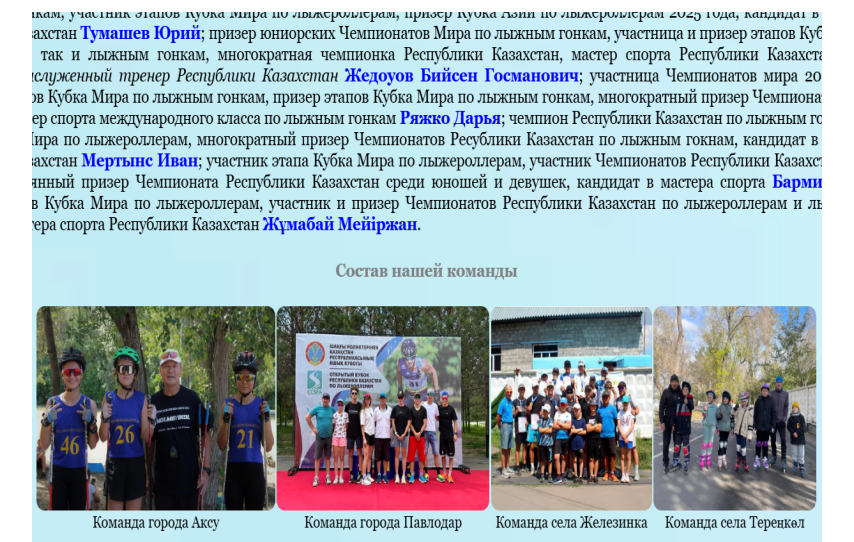


Рисунок 2 – Фрагмент стартовой страницы веб-сайта

Основными конструкциями, в создании внешней оболочки веб-страниц разработанного веб-сайта являются основные теги HTML и каскадные таблицы стилей CSS (Cascading Style Sheets). В частности, каскадные таблицы стилей были применены для установления заднего фона веб-страниц, редактирования границ таблиц, создания галереи, на одной из веб-страниц, а также задания цвета веб-ссылок. Фрагмент кода для задания выше указанных предметов оформления веб-страницы, представлен на рисунке 3.

Для создания гипертекстовой разметки, созданных веб-страниц были использованы теги: обозначения HTML-документа, начало содержимого

HTML-документа, изменения размера текста заголовков, создания абзацев, переноса текста на следующую строку, написания текста полужирным, подчеркнутым шрифтом и оформление текста курсивом, вставки ссылок и изображений, задания цвета текста, создания списков, как маркированных, так и нумерованных, создания якорей на веб-странице и таблиц.

```
<html>
<style>
body {
background-image: url(.JPG);
background-repeat: no-repeat;
background-size: cover;
background-position: center;
background-attachment: fixed;
}
.content {
height: 2000px;
padding: 50px;
}
table {
color: black;
border: 0px solid black;
border-collapse: collapse;
margin: 10px 10px;
}
td {
border: none;
}
```

Рисунок 3 – Фрагмент кода CSS

Стоит отметить, что большинство примененных тегов являются как открывающими, так и закрывающими, называемыми тегами-контейнерами. Открывающий тег имеет вид: <tag>, закрывающий соответственно: </tag>. В таблице 1 представлена подробная информация о используемых в разработке сайта «Лыжные гонки Павлодарской области» тегах [2; 3; 4; 5; 6; 7].

Таблица 1 – Теги и их предназначение

Тег	Предназначение
<html> </html>	Применяется для обозначения начала и конца HTML-документа.
<body> </body>	Записывается внутри тега <html>. Содержит в себе всю отображаемую информацию веб-страницы. Например: текст, таблицы, изображения.
От <h1> До <h6>	Обязателен закрывающий тег </h>. Теги, задающие размер заголовка веб-страницы. Самым малым является <h6>, самым большим <h1>.
 	Используется для создания абзацев в тексте. Текст, содержащийся в <p> отображается в виде отдельного блока текста.
 	Применяется для разрыва текстовой строки.
 	Тег позволяющий написать текст полужирным шрифтом.

<code><u></code> <code></u></code>	Применяется для подчеркивания написанного текста.
<code><i></code> <code></i></code>	Тег, использующийся для ввода текста курсивом
<code></code>	Используется с атрибутом «src="example.exp"». Данный тег применяется для вставки изображения на веб-страницу.
<code><a></code>	Пишется в комбинации с атрибутом «href». Тег <code><a></code> определяет, что элемент является гиперссылкой, а атрибут «href» указывает браузеру адрес ссылки.
<code></code> <code></code>	Многофункциональный тег, применимый для задания цвета текста, его начертания и размера.
<code></code>	Позволяет создать нумерованный список.
<code></code>	Создает нумерованный список.
<code><table></code> <code></table></code>	Используется для вставки в веб-страницу таблицы, состоящей из строк <code><tr></tr></code> и столбцов <code><td></td></code> .
<code><center></code> <code></center></code>	Осуществляет выравнивание элементов веб-страницы по центру, заключенных в данный тег.
<code><justify></code> <code></justify></code>	Позволяет располагать элементы веб-страницы по ширине, которые заключены в данном теге.

Деление на фреймы – очень эффективный метод сделать веб-сайт более функциональным. Фреймы разделяют экран браузера на части, в результате чего, человек, просматривающий содержимое страницы, может изучать лишь определенную интересующую его часть, не зависимо от остального содержимого [4].

Деление стартовой страницы сайта на фреймы было выполнено для предания систематизированного вида страницы, при помощи использования ряда тегов, позволяющих установить ширину разделительной полосы между частями экрана, ширину колонок, предназначенных для логотипа и меню, а также для того, чтобы сделать разделы для меню и логотипа статичными без возможности их прокрутки, в отличие от главного экрана. На рисунке 4 представлена конструкция тегов, делящих страницу на фреймы.

```
<html>
<head>
<title>Работа с файлами</title>
</head>
<frameset cols="250,*" border="2">
<frameset rows="150,*">
<frame src="logo.html" scrolling="no" noresize>
<frame src="menu.html" scrolling="no" noresize>
</frameset>
<frame src="content.html" name="window-1" noresize>
</frameset>
</html>
```

Рисунок 4 – Теги разделения стартовой страницы на фреймы

Результаты и обсуждение

Ознакомившись с основными тегами языка гипертекстовой разметки HTML, разделив окно браузера на фреймы и задав при помощи каскадных таблиц стилей визуальный вид веб-сайта, был создан ряд страниц, при написании которых были задействованы теги из таблицы 1.

Таким образом для задания заднего фона, а также вставки в специально отведенное окно логотипа, при помощи которого пользователь, нажав на данный логотип, то есть на изображение может вернуться на стартовую страницу веб-сайта с любой из открытых веб-страниц. Для реализации данных функций были использованы коды CSS и следующие теги: `<center>`, `</center>`, `<a>` и `<img>`, с соответствующими атрибутами «href» для задания адреса веб-ссылки, и «src» для вставки изображения. На рисунке 5 представлена конструкция кода для вставки логотипа [8].

```
<center><a href="D:\!User\Desktop\CAЙT\content.html" target="window-1"><
weight="285" height="155"></a></center>
</body>
</html>
```

Рисунок 5 – Код для вставки логотипа

Из рисунка 5 видно, что атрибут «target="window-1"», записанный внутри тега `<a>`, позволяет переводить пользователя с любой открытой страницы сайта на стартовую страницу веб-сайта «Лыжные гонки Павлодарской области». Атрибуты «weight» и «height», которые заключены в теге `<img>`, позволяют задать ширину и высоту вставляемого изображения,

которое расположено по середине данного окна. Логотип веб-сайта был самостоятельно разработан и представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Логотип веб-сайта

Для заполнения раздела меню веб-сайта были использованы ссылки, таблицы для вставки и подписи изображений, а также каскадные таблицы стилей для задания внешнего вида таблиц, заднего фона раздела и цвета веб-ссылок. Поскольку код CSS одинаков для каждой из веб-страниц, то в дальнейшем изображения кодов будут содержать только необходимые данные. Таким образом меню и фрагмент текстового файла для его заполнения имеют вид, представленный рисунках 7 и 8.

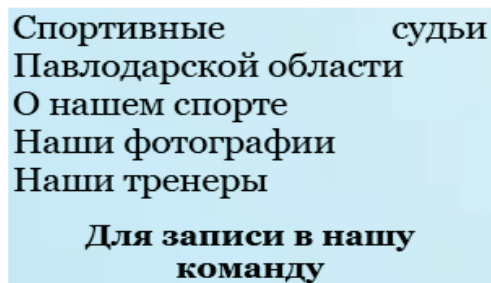


Рисунок 7 – Меню сайта «Лыжные гонки Павлодарской области»

```
<div align="justify"><font face="Georgia" font size="4">
<a href="D:\User\Desktop\САЙТ\Jury.html" target="window-1" style="text-decoration: none;">
Спортивные судьи Павлодарской области</a>
<br>
<a href="D:\User\Desktop\САЙТ\sport.html" target="window-1" style="text-decoration:
none;">О нашем спорте</a>
<br>
<a href="D:\User\Desktop\САЙТ\photo.html" target="window-1" style="text-decoration:
none;">Наши фотографии</a>
<br>
<a href="D:\User\Desktop\САЙТ\Тренеры.html" target="window-1" style="text-decoration:
none;">Наши тренеры</a>
<table>
<tr>
<td><center><b>Для записи в нашу команду</b></center></td>
</tr>
<tr>
<td><center></center></td>
</tr>
</table>
</body>
</html>
```

Рисунок 8 – Код для заполнения раздела меню веб-сайта

Для более быстрой навигации по страницам веб-сайта было создано навигационное меню, представленное на рисунке 9, которое находится в таблице, чей принцип работы заключается в том, что при нажатии на фамилию и имя тренера или спортсмена, пользователь перемещается на такой раздел страницы, на котором описана информация о том или ином человеке. На рисунке 10 представлена конструкция якорей, при помощи которых пользователю становится доступна навигация по веб-странице.

1. Курсаков Александр Васильевич
2. Рафальская Ольга
3. Тумашев Юрий
4. Толмачева Елизавета
5. Ряжко Дарья
6. Мертынс Иван
7. Жұмабай Мейіржан
8. Сулейменова Сабина
9. Курсаков Савва
10. Быкова Ирина
11. Шевченко Анна

Рисунок 9 – Навигационное меню

```
<tr>  
<td><justify><a href="#mishka" style="text-decoration: none;">6. Жұмабай Мей  
</tr>  
<tr>  
<td><justify><a href="#vano" style="text-decoration: none;">7. Мертынс Иван<  
</tr>  
<tr>  
<td><justify><a href="#yura" style="text-decoration: none;">8. Тумашев Юрий<  
</tr>
```

Рисунок 10 – Конструкция якорей для навигации по веб-странице

Для более удобной навигации по веб-странице, было добавлено изображение в виде стрелки, которая позволяет вернуться пользователю в начало открытой страницы.

В качестве дополнения и структурирования информации о той или иной персоне – спортсмене или тренере были добавлены списки. Списки бывают двух видов: нумерованные и маркированные. В процессе разработки веб-сайта преимущественно применялись нумерованные списки, на рисунке 11 представлен вид нумерованного списка, который позволяет понять, как списки выглядят на страницах веб-сайта [9].

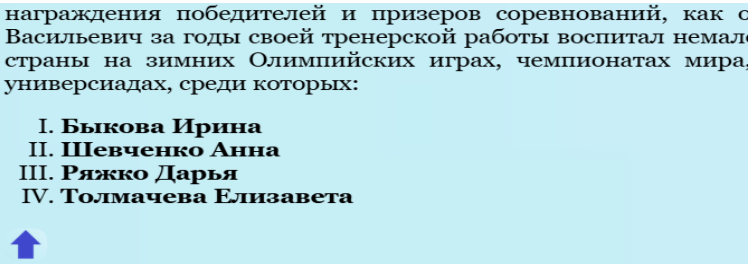


Рисунок 11 – Вид нумерованного списка в браузере

Якоря были написаны при помощи следующих тегов, представленных на рисунке 12.

```
<ol type="I">  
<li><a href="#Ira" style="text-decoration: none;"><b>Быкова Ирина</b></a>  
<li><a href="#Ann" style="text-decoration: none;"><b>Шевченко Анна</b></a>  
<li><a href="#D" style="text-decoration: none;"><b>Ряжко Дарья</b></a>  
<li><a href="#Liz" style="text-decoration: none;"><b>Толмачева Елизавета</b></a>  
</ol>  
<a href="#top" style="text-decoration: none;"></a><br>
```

Рисунок 12 – Теги, отвечающие за нумерованный список

Для акцентирования внимания читателя при прочитывании текста, при помощи тегов `<b>` и `<i>` некоторые фрагменты текста были выделены полужирным шрифтом и курсивом, что представлено на рисунке 13 [10; 11].

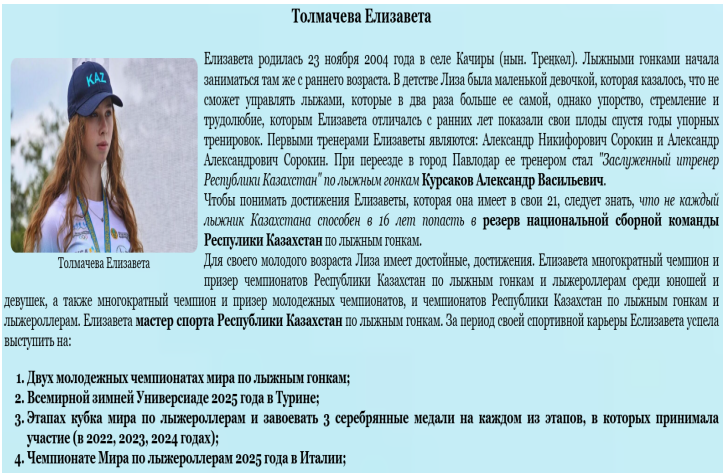


Рисунок 13 – Фрагмент страницы «Команда города Павлодара» веб-сайта с элементами выделенного текста

Для понимания того, каким образом был отредактирован текст, на рисунке 14 представлен фрагмент текстового документа, задающего данные параметры.

```
Елизавета родилась 23 ноября 2004 года в селе Качиры (нын. Тренкөл). Лыжными гонками начала  
заниматься там же с раннего возраста. В детстве Лиза была маленькой девочкой, которая  
казалось, что не сможет управлять лыжами, которые в два раза больше ее самой, однако  
упорство, стремление и трудолюбие, которым Елизавета отличалась с ранних лет показали свои  
плоды спустя годы упорных тренировок. Первыми тренерами Елизаветы являются: Александр  
Никифорович Сорокин и Александр Александрович Сорокин. При переезде в город Павлодар ее  
тренером стал <i>"Заслуженный тренер Республики Казахстан" по лыжным гонкам</i> <b>Евгений  
Курсаков Александр Васильевич</b>. <br>  
<i>Чтобы понимать достижения Елизаветы, которая она имеет в свои 21, следует знать, <i>что не  
каждый лыжник Казахстана способен в 16 лет попасть в</i> <b>резерв национальной сборной  
команды Республики Казахстан</b> по лыжным гонкам. <br>  
Для своего молодого возраста Лиза имеет достойные, достижения. Елизавета многократный  
чемпион и призер чемпионатов Республики Казахстан по лыжным гонкам и лыжероллерам среди  
юношей и девушек, а также многократный чемпион и призер молодежных чемпионатов, и  
чемпионатов Республики Казахстан по лыжным гонкам и лыжероллерам. Елизавета <b>мастер  
спорта Республики Казахстан</b> по лыжным гонкам. За период своей спортивной карьеры  
Елизавета успела выступить на:  
<b><ol type="I">  
<i><li> двух молодежных чемпионатах мира по лыжным гонкам;  
<li> Всемирной зимней Универсиаде 2025 года в Турине;  
<li> Этапах кубка мира по лыжероллерам и завоевать 3 серебрянные медали на каждом из  
этапов, в которых принимала участие (в 2022, 2023, 2024 годах);  
<li> Чемпионате Мира по лыжероллерам 2025 года в Италии;  
</ol></b>
```

Рисунок 14 – Фрагмент текстового документа, формирующего части текста

Выводы

Появление Интернета значительно изменило восприятие и видение привычного мира. Открылись новые возможности для общения и развития. Сегодня Интернет – неотъемлемая часть современного общественного устройства. Он влияет на то, как мы взаимодействуем с окружающим миром в любой сфере, будь то работа, образование, торговля или обмен личными сообщениями.

Благодаря веб-технологиям была достигнута цель данной работы, а именно разработка веб-сайта для популяризации лыжного спорта павлодарской области. Разработанный сайт пропагандирует здоровый образ жизни, путем популяризации лыжного спорта Республики Казахстан на основе кратких биографических справок и достижений спортсменов, представленных на разработанном веб-сайте.

Для достижения вышепоставленной цели был выполнен ряд задач:

Были систематизированы полученные данные по теме исследования, были использованы веб-технологии, а именно язык гипертекстовой разметки HTML, с целью гармоничного расположения на веб-странице текста, изображений, ссылок таблиц и других элементов. На ряду с HTML были применены каскадные таблицы стилей (CSS) для придания более приятного глазу внешнего вида веб-страниц и веб-сайта в целом и в частности: таблиц, заднего фона, границ фреймов, цвета использованных и неиспользованных гиперссылок.

Были изучены ряд источников, содержащих информацию о спортсменах, состоящих в составе национальной сборной Республики Казахстан по лыжным гонкам и сборной команде Павлодарской области. Информация была взята с веб-сайтов: международной федерации лыжного спорта и сноуборда (FIS), национальной ассоциации лыжных гонок Республики Казахстан, а также эксклюзивные данные полученные в ходе личной беседы с родителями самих спортсменов и самими спортсменами, что по праву можно считать первоисточником информации.

Для более понятного и точного восприятия пользователем данных, все полученные справки о спортсменах, тренерах и судьях Павлодарской области были структурированы и распределены таким образом, что последовательность изложения материала не нарушается при переходе с одной веб-страницы разработанного сайта на другую страницу.

Таким образом, разработанный веб-сайт «Лыжные гонки Павлодарской области» после внедрения в Интернет позволит значительно укрепить роль лыжного спорта в Павлодарской области, а также сделать его более популярным и слышанным среди населения нашего региона. Возможность ознакомиться и принять участие в данном виде спорта,

приобщиться к природной и спортивной составляющей посредством разработанного сайта приведет к улучшению физического и эмоционального состояния жителей Павлодарской области. В перспективном развитии данного сайта существует возможность объединения как такого вида спорта «Лыжные гонки», так и других видов в единую веб-платформу соединяющую все спортивные клубы Республики Казахстан, с их спортсменами, тренерами и болельщиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Hart-Devis, G.** Teach yourself visually HTML and CSS. – Hoboken, New Jersey. Published by : John Wiley and Sons, Inc, 2023.
- 2 **Медведев, М. А.** Веб-технологии в бизнесе : учебно-методическое пособие. – Екатеринбург : Изд-во Урал. унта, 2024. – 168 с.
- 3 **Кудряшев, А. В., Светашков, П. А.** Введение в современные веб-технологии. – Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016
- 4 **Храмоцов, П. Б., Брик, С. А., Русак, А. М., Сурин, А. И.** Основы web-технологий. – Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016 (Основы информационных технологий)
- 5 **Побединский, Е. В.** Проектирование веб-сайтов с использованием технологий PHP, HTML, CSS и WordPress: учеб. пособие. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. – 115 с.
- 6 **Якубович, Д. А.** Основы WEB-разработки : учебно-методическое пособие для проведения лабораторных занятий. – Владимир : Издательство «Шерлок-пресс», 2017. – 102 с.
- 7 **Улихина Ю. В., Даутова А. З.** Основы HTML : учебно-методическое пособие. – Павлодар : Toraighyrov University, 2021. – 53 с.
- 8 **Макфарланд, Д. С.** Новая большая книга CSS. – Питер, 2019, 720 с.
- 9 **Дакетт, Д.** HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. – Эксмо : Россия, 2019. – 480 с.
- 10 **Дронов, В. А.** HTML и CSS : 25 уроков для начинающих. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 400 с. : ил.
- 11 **McFedries, P.** HTML & CSS Essentials For Dummies. – Hoboken, New Jersey. Published by : John Wiley and Sons, Inc, 2024.

REFERENCES

1 **Hart-Devis, G.** Teach yourself visually HTML and CSS. – Hoboken, New Jersey. Published by : John Wiley and Sons, Inc, 2023.

2 **Medvedev, M. A.** Veb-texnologii v biznese : uchebno-metodicheskoe posobie [Web technologies in business : an educational and methodological guide]. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. unta, 2024. – 168 p.

3 **Kudryashev, A. V., Svetashkov, P. A.** Vvedenie v sovremennyy'e veb-texnologii [Introduction to modern Web technologies]. – M.: Nacional'ny'j Otkry'ty'j Universitet «INTUIT», 2016.

4 **Xramocsov P. B., Brik S. A., Rusak A. M., Surin A. I.** Osnovy' web-texnologij [Fundamentals of web technologies]. – Nacional'ny'j Otkry'ty'j Universitet «INTUIT», 2016 (Osnovy' informacionny'x texnologij)

5 **Pobedinskij, E. V.** Proektirovanie veb-sajtov s ispol'zovaniem texnologij PHP, HTML, CSS i WordPress: ucheb. posobie [Designing websites using PHP, HTML, CSS and WordPress technologies : a tutorial]. – Ekaterinburg : Ural. gos. lesotexn. un-t, 2018. – 115 p.

6 **Yakubovich, D. A.** Osnovy' WEB-razrabotki: uchebno-metodicheskoe posobie dlya provedeniya laboratorny'x zanyatij [Fundamentals of WEB development: an educational and methodological guide for conducting laboratory classes]. – Vladimir : Izdatel'stvo «Sherlok-press», 2017. – 102 p.

7 **Ulixina Yu. V., Dautova A. Z.** Osnovy' HTML : uchebno-metodicheskoe posobie [HTML Basics : an educational and methodological guide]. – Pavlodar : Toraighyrov University, 2021. – 53 p.

8 **Makfarland, D. S.** Novaya bol'shaya kniga CSS [The New Big CSS Book]. – Piter, 2019, 720 p.

9 **Dakett, D.** HTML i CSS. Razrabotka i dizajn veb-sajtov [Website development and design]. – E'ksmo : Rossiya, 2019. – 480 p.

10 **Dronov, V. A.** HTML i CSS : 25 urokov dlya nachinayushhix [HTML and CSS : 25 lessons for beginners]. – SPb. : BXV-Peterburg, 2020. – 400 p.: il.

11 **McFedries, P.** HTML & CSS Essentials For Dummies. – Hoboken, New Jersey. Published by: John Wiley and Sons, Inc, 2024.

Поступило в редакцию 06.11.25.

Поступило с исправлениями 10.11.25.

Принято в печать 15.12.25.

*В. Ю. Бармин¹, Ю. В. Улихина²

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
06.11.25 ж. баспаға түсті.

10.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ ШАҢҒЫ СПОРТЫН НАСИХАТТАУ ҮШІН ВЕБ-САЙТ ӘЗІРЛЕУ

Бұл мақалада Торайғыров университетінде «Веб-бағдарламалау» кенісінің пәндерін зерделу шеңберінде Павлодар облысының шаңғы спортын танымал ету үшін веб-сайтты егжей-тегжейлі әзірлеу ұсынылған. Өрістерге және олардың арасындағы ауысуларға бөлінген әзірленген сайттың моделі сипатталған. Веб-сайтты әзірлеу технологиялары сипатталған – HTML веб-сайтының сыртқы түрін сипаттайтын гипермәтіндік белгілеу тілі және біркелкі дизайн үшін каскадты стиль кестелері – CSS. Әзірлеудегі негізгі конструкциялар, пайдаланушылардың әзірленген сайтпен ыңғайлы және дұрыс өзара әрекеттесуі үшін сайттың веб-беттеріне өту. Қысқы спорт түрлеріндегі спорт саласы туралы Қазақстан Республикасының дереккөздерін зерделу, талдау жолымен Сайтты контентпен толықтырудың аса маңызды кезеңі сипатталған, сондай-ақ спортшылардың ата-аналарымен және спортшылармен жеке әңгімелесу барысында алынған «шаңғы жарысы» спорт түрі туралы деректер баяндалған. Пайдаланушының ақпаратты ыңғайлы қабылдауы үшін веб-сайттың аймақтары бойынша ақпаратты құрылымдау және бөлу жүзеге асырылды. Қорытындысы «Павлодар облысының шаңғы жарысы» веб-сайты болып табылады, ол Павлодар облысында шаңғы спортының ролін едәуір нығайтуға, сондай-ақ оны барынша танымал етуге мүмкіндік береді. Осы сайттың перспективалық дамуында «шаңғы жарысы» және басқа да спорт түрлерін Қазақстан Республикасының барлық спорт клубтарын олардың спортшыларымен, жаттықтырушыларымен және жанкүйерлерімен байланыстыратын бірыңғай веб-платформаға біріктіру мүмкіндігі бар. Бұл ынталы пайдаланушыға елдегі спорт туралы көбірек білуге және жеке қатысуға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: веб-сайтты әзірлеу, веб-технологиялар, шаңғы спорты, Шаңғы жарысы, веб-дизайн.

*V. Y. Barmin¹, Y. V. Ulikhina²

^{1,2}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 06.11.25.

Received in revised form 10.11.25.

Accepted for publication 15.12.25.

DEVELOPMENT OF A WEBSITE TO POPULARIZE SKIING IN THE PAVLODAR REGION

This article presents the detailed development of a website for the popularization of skiing in the Pavlodar region as part of the study of the disciplines of the minor «Web Programming» at the University of Toraighyrov. The model of the developed website is described, divided into areas and transitions between them. The technologies of website development are described – the hypertext markup language for describing the appearance of HTML web pages and cascading style sheets (CSS) for uniform design. The main designs in development, transitions to the web pages of the site for convenient and correct user interaction with the developed site. The most important stage of filling the site with content is described by studying and analyzing the sources of the Republic of Kazakhstan on the sports field in winter sports, as well as data on the sport of «Cross-country skiing» obtained during a personal conversation with parents of athletes and athletes. The information has been structured and distributed across the areas of the website for a comfortable user experience. The result is the website «Cross-country skiing of Pavlodar region», which will significantly strengthen the role of skiing in Pavlodar region, as well as make it more popularized. In the long-term development of this site, there is a possibility of combining such sports as «Cross-country skiing» and other types into a single web platform connecting all sports clubs of the Republic of Kazakhstan, with their athletes, coaches and fans. This will allow an enthusiastic user to learn more about sports in the country and possibly take personal part.

Keywords: website development, web technologies, skiing, cross-country skiing, web design.

FTAMP 28.23.15

<https://doi.org/10.48081/SPJY4639>

***М. И. Нурғалиева¹, А. С. Аканова², Г. Қ. Мұратова³**

^{1,2,3}Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2245-9711>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

*e-mail: mak4108@mail.ru

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІҢ КӨМЕГІМЕН АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ ЛОГИСТИКАНЫ БОЛЖАУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ

Мақалада жасанды интеллекттің (бұдан әрі – ЖИ) ауыл шаруашылығындағы логистиканы болжау және басқарудағы рөлі қарастырылады. Заманауи ауыл шаруашылығы өндірісінде тиімді логистикалық жүйелердің қажеттілігі артып келеді, өйткені өнімдерді өндіруден тұтынушыға жеткізу процесін оңтайландыру шаруашылықтардың табысын арттыруда маңызды фактор болып табылады.

Зерттеу ЖИ технологияларының, соның ішінде машиналық оқу мен деректерді талдау әдістерінің ауыл шаруашылығында логистикалық операцияларды автоматтандырудағы қолданылуы зерттеледі. Авторлар ЖИ-дің метеорологиялық деректерді талдау, егін егу мен жинау мерзімдерін анықтау, сондай-ақ өнімдерді сақтауға және тасымалдауға қатысты шешімдер қабылдаудағы тиімділігін атап өтеді. Заманауи географиялық ақпараттық жүйе құралдары әдістерді автоматтандыруға мүмкіндік береді, стереофотограмметрияның көмегімен карталарды салу, аэроғарыштық кескіндер мен геодезиялық өлшеулерді жүргізу, әртүрлі әдістерді қолдана отырып оларды кез-келген картографиялық материалдармен біріктіру, сондай-ақ жұмыс өнімділігін арттыру деректері бар геопозициялауды және электрондық тахеометрияны тікелей географиялық ақпараттық жүйелерге түсіретін мүмкіндіктері бар. Зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығында логистиканы басқарудың жаңа модельдерін әзірлеуге, ресурстарды тиімді пайдалануға және шығындарды азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Жасанды интеллекттің

көмегімен логистикалық процестерді оңтайландыру арқылы ауыл шаруашылығы өндірісінің тұрақтылығы мен бәсекеге қабілеттілігін арттыруға болады. Осылайша, мақала ЖИ-дің ауыл шаруашылығындағы логистикаға ықпалының зерттелуінің маңыздылығын және болашақтағы даму бағыттарын көрсетеді.

Кілтті сөздер: жасанды интеллект, ауыл шаруашылығы, болжау, басқару, логистика, жаңа технология.

Кіріспе

Дүние жүзіндегі ауылшаруашылық жүйесі кірістер мен өндірісті қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Қоршаған ортаның кейбір негізгі параметрлері егіннің сапасы мен санына тікелей әсер етеді. Сондықтан ауылшаруашылық дақылдарының өндірісін ұлғайту үшін қоршаған ортаның параметрлерін бақылау [1], ЖИ көмегімен логистиканы дұрыс болжай отырып, жүйелі басқару қажет. Ауыл шаруашылығы – экономиканың негізі әрі стратегиялық маңызы бар сала, ол азық-түлік қауіпсіздігі мен халықтың әл-ауқатын қамтамасыз етуге ықпал етеді. Дегенмен, ауыл шаруашылығында кездесетін түрлі проблемалар, әсіресе логистика саласында, өнімділік пен тиімділікті төмендетіп, шаруашылықтардың тұрақтылығына әсер етеді. Жасанды интеллект (ЖИ) технологияларының енгізілуі ауыл шаруашылығы логистикасының проблемаларын шешуге жаңа мүмкіндіктер ашады.

Жасанды интеллект жүйелері мәліметтерді жинау, өңдеу және талдау арқылы, фермерлер мен логистикалық операторларға шешім қабылдау процесін жеңілдетіп, өнімдер мен ресурстарды тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Мысалы, сұраныс пен ұсыныс арасындағы теңгерімді ұстап тұру, тасымалдау маршрутын оңтайландыру, қойма басқаруын автоматтандыру секілді міндеттер ЖИ көмегімен оңай жүзеге асырылады.

Осы ғылыми мақалада ауыл шаруашылығында логистиканы болжау және басқаруда жасанды интеллекттің рөлі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – ЖИ технологияларын тиімді пайдалану арқылы ауыл шаруашылығында логистиканы дамыту және заманауи талаптарға сай инновациялық шешімдер ұсыну. Зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығындағы логистикалық процестерді жетілдіруге, ресурс жұмсалымын оңтайландыруға және өнімділікті арттыруға бағытталған.

Ауыл шаруашылығы логистикасының тиімділігі мен өнімділігін арттыру мәселелері соңғы жылдары ғылыми зерттеулер мен тәжірибелік жұмыстарда белсенді қарастырылуда. Логистика процестері, әсіресе, ауыл шаруашылығы өнімдерін өндіру мен таратудың ерекшеліктеріне байланысты күрделі болып келеді. Сондықтан, логистикалық жүйелерді оңтайландыру

үшін жаңа технологияларды, әсіресе, жасанды интеллектті енгізу қажеттілігі туындайды.

Көптеген отандық және шетелдік зерттеушілер ауыл шаруашылығында ЖИ технологияларының әлеуетін зерттеуге баса назар аударуда. Мысалы, Zhang, H., Chen, X.X., Chen, M.D. [2, 53-б.] ғалымдар ЖИ алгоритмдерінің ауыл шаруашылығы өнімдерінің сұранысын дәлме-дәл болжаудың тиімділігін көрсетті. Олардың зерттеулері деректерді өңдеу мен талдау арқылы, нарықтық өзгерістерге бейімделуді жақсартуға мүмкіндік беретінін дәлелдеді.

Сонымен қатар, Fountaine, T., McCarthy, B., Saleh, T. [3, 62-б.] сияқты зерттеушілер ауыл шаруашылығында логистика мен ЖИ-нің интеграциясының маңызды аспектілерін зерттеді. Ол логистиканың стратегиялық басқаруында ЖИ негізінде автоматтандырылған шешімдер қабылдау жүйелерінің рөлін атап өтті. Бұл жүйелер ресурстарды оңтайлы пайдалану мен тасымалдау шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Кейбір зерттеулер, мысалы, Babister J. C., Nails L. A. [4, 30-б.] еңбектерінде ауыл шаруашылығында ЖИ-мен бірге блокчейн технологиясының интеграциясын қарастырады. Бұл технологиялар өнімнің сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз етуде, сондай-ақ, жеткізу тізбегіндегі ақпараттың ашықтығын арттыруда маңызды рөл атқарады.

Климаттың өзгеруінің салдарымен байланысты негізгі проблемаларды ескере отырып, жасанды интеллект пен ауыл шаруашылығы саласындағы заманауи ғылыми инновацияларды қолдану бойынша «Сандық ауылшаруашылық революциясы: технологиялық өзгерістерден туындаған ауыл шаруашылығындағы инновациялар мен мәселелер» [5] атты еңбекті қарау аса маңызды. Ауыл шаруашылығы логистикасының проблемаларын шешуде ЖИ-нің тиімділігіне қатысты ғылыми жұмыстардың саны артып келеді, алайда, практикалық қолдану мен жүзеге асыру деңгейі әлі де жеткіліксіз. Бұл шолудың мақсаты – жасанды интеллекттің ауыл шаруашылығында логистиканы болжау және басқарудағы рөлін тереңірек түсіну, сондай-ақ, болашақта ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуге негіз болатын факторларды анықтау. Нәтижесінде, ауыл шаруашылығында логистика мен ЖИ технологияларын үйлестіру тиімділікті арттыруға, ресурстарды басқаруды жақсартуға және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге септігін тигізеді.

Материалдар мен әдістері

Бұл зерттеу ауыл шаруашылығы саласындағы логистикалық процестерді оңтайландыруда жасанды интеллект технологияларын қолданудың тиімділігін айқындауға бағытталды. Зерттеу материалдары ретінде ауыл шаруашылығы логистикасына, жасанды интеллект жүйелеріне және цифрлық

технологиялардың интеграциясына арналған отандық және шетелдік ғылыми мақалалар, монографиялар мен талдамалық есептер пайдаланылды.

Зерттеу барысында 2015–2024 жылдар аралығында жарияланған халықаралық дереккөздер (Scopus, Web of Science және SpringerLink базалары) қарастырылды. Сондай-ақ Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросы, Ауыл шаруашылығы министрлігі және «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасының ресми деректері қолданылды.

Әдістемелік тұрғыдан алғанда, зерттеу сапалық және сандық талдау тәсілдерін біріктіретін кешенді әдіске негізделді. Негізгі қолданылған әдістер төмендегідей:

Аналитикалық шолу әдісі нәтижесінде ауыл шаруашылығы логистикасында жасанды интеллектті қолдану жөніндегі ғылыми еңбектер жүйеленіп, олардың негізгі бағыттары, жетістіктері мен шектеулері анықталды.

Салыстырмалы талдау әдісін қолдану барысында отандық және шетелдік тәжірибелер салыстырылып, логистика процестеріне ЖИ енгізудің тиімді модельдері мен факторлары айқындалды.

Модельдеу әдісі – ауыл шаруашылығы өнімдерін тасымалдау, сақтау және бөлу кезеңдерінде ресурстарды оңтайлы пайдалану мақсатында логистикалық процестердің үлгілік модельдерін қарастыруға мүмкіндік берді. Бұл кезеңде жасанды интеллект алгоритмдері мен машиналық оқыту тәсілдері (мысалы, болжамдық аналитика, эвристикалық модельдер) теориялық негізде қолданылды.

Эмпирикалық талдау нәтижесінде жиналған деректер мен модельдік нәтижелер негізінде ауыл шаруашылығы саласында ЖИ технологияларын енгізудің ықтимал экономикалық және басқарушылық әсері бағаланды. Зерттеу нәтижелерінің дұрыстығын қамтамасыз ету мақсатында алынған деректер бірнеше дереккөздермен салыстырылып, сапалық және сандық үйлесімділігі тексерілді.

Жалпы, зерттеу материалы ауыл шаруашылығындағы логистика жүйесінің қазіргі жағдайын сипаттай отырып, жасанды интеллекттің осы саладағы болжау мен басқарудағы әлеуетін анықтауға мүмкіндік берді. Бұл өз кезегінде ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыруға, ресурстарды оңтайлы бөлуге және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге бағытталған практикалық шешімдер ұсынуға негіз болады.

Нәтижелер және талқылау

Жасанды интеллект тақырыбын зерттеуші Luis F. Copertari: «Болашақтың табиғи интеллектісі бар жасанды машиналар адам санасында болуы мүмкін ойларға қарағанда әлдеқайда күшті және әлдеқайда күрделі ойларға қабілетті болады» деген болжам айтады [6, 6-б.]. Шын мәнінде, қазіргі жаһандану

заманында жасанды интелекті қоғамның бүкіл салаларына түбегейлі енгізу бойынша жүйелі жұмыстар атқарылып жатыр. Бұл әсіресе экономикалық тұрғыдан дамып кеткен елдерде жақсы жолға қойылған. Мысалы, ЖИ ауыл шаруашылығында белсенді қолданатын елдердің қатарына АҚШ, Қытай, Голландия, Канада, Израильді қосуға болады. Олардың жасанды интелекті пайдалану бағыттарын төмендегі кестеден көруге болады (кесте 1).

1-кесте – Ауылшаруашылығында ЖИ белсенді қолданатын елдер және оның пайдалану бағыттары

р/с №	Елдің атауы	ЖИ пайдалану бағыты
1	АҚШ	Ауыл шаруашылығының автоматтандырылуы мен деректерді талдау саласында алда. ЖИ фермаларда өнімділікті арттыру үшін, соның ішінде дрондар мен сенсорларды пайдалану арқылы кеңінен қолданылады
2	Қытай	Ауыл шаруашылығында ЖИ технологияларының қолданылуы, әсіресе ауыл шаруашылығын басқару және болжау, өнімнің сапасын бақылау үшін дамып келеді
3	Голландия	Нидерланды заманауи агрономиялық тәжірибелер мен ЖИ шешімдерін қолдана отырып, егіншілік және мал шаруашылығында әлемдік көшбасшы болып табылады
4	Канада	ЖИ және үлкен деректерді пайдалану арқылы ауыл шаруашылығын дамытуда инновациялық жобалар көп
5	Израиль	Су ресурстарын тиімді пайдалану және егіншілікті автоматтандыру саласындағы ЖИ технологияларын дамытуда көшбасшы

Жоғарыдағы кестеде көрсетілген елдер ауыл шаруашылығында ЖИ технологияларын қолдану арқылы өнімділікті арттыру мен ресурстарды тиімді басқаруда айтарлықтай жетістіктерге жетуде. Ал Қазақстандағы ауыл шаруашылығында жасанды интелекті енгізу бойынша нақты деректерді алу өте қиын. Себебі, аталған саладағы зерттеулер мен статистикалық деректер әлі толық жетілмеген. Дегенмен, соңғы жылдары Қазақстанда агротехнологияларды, соның ішінде ЖИ шешімдерін енгізу белсенді түрде жүріп жатыр. Болжам бойынша еліміздегі ЖИ технологияларының ауыл шаруашылығында қолданылу деңгейі 10–20 % аралығында болуы мүмкін, бірақ нақты көрсеткіштер сала бойынша өзгеріп отырады. Соңғы жылдары Қазақстанда цифрлық трансформация, агрономиялық зерттеулер мен ЖИ жобаларына инвестициялардың артуы бойынша тенденция байқалады. Ауыл шаруашылығының әр түрлі аспектілерінде, мысалы, өнімділікті арттыру, егістік мониторингі, ресурстарды басқару және нарықтық талдау бойынша ЖИ қолдану көлемі көбейіп келеді. Соның бір мысалы ретінде Қазақстанда

ауыл шаруашылығында жасанды интеллекті (ЖИ) қолдануда дамып келе жатқан бірнеше бағыттарын атауға болады. Солардың ең негізгі қолдану салалары ретінде төменгі мәліметтерді келтіреміз:

1 Деректерді талдау: Ауыл шаруашылығы өнімдерін өндіру мен тасымалдауда үлкен көлемдегі мәліметтерді жинау және талдау үшін ЖИ жүйелері қолданылады. Бұл фермерлерге нарық сұранысын, ауа райын және топырақ жағдайын бағалауға мүмкіндік береді.

2 Болжамдық модельдер: Сұраныс пен ұсынысты болжау үшін машиналық оқыту алгоритмдері, мысалы, регрессия модельдері, қолданылады. Бұл фермерлерге өнім көлемін жоспарлауға көмектеседі.

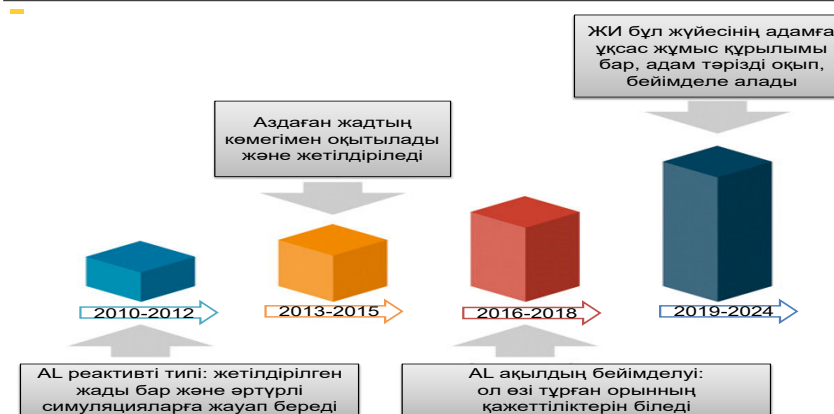
3 Агроөндірістік мониторинг: Дрондар мен спутниктер арқылы алынған деректер ЖИ алгоритмдерімен өңделіп, егістік алаңдарының жағдайын мониторингтеуге, зиянкестерді анықтауға және егістіктердің өнімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

4 Автоматтандырылған жүйелер: ЖИ жүйелері автоматтандырылған агроқұрылғылармен, мысалы, суару және тыңайтқыштарды беру жүйелерімен интеграцияланып, егістіктердің тиімділігін арттыруға көмектеседі.

5 Сатып алу және сату платформалары: Ауыл шаруашылығы өнімдерін сату мен сатып алуды жеңілдету үшін ЖИ негізіндегі платформалар жұмыс істейді, бұл фермерлерге нарықтық ақпаратты жылдам алуға мүмкіндік береді.

6 Қойма және логистика: ЖИ логистикалық процестерді оңтайландыруда, тасымалдау маршруттарын жоспарлауда және қоймаларды басқаруда да қолданылады. Осылайша, Қазақстандағы ауыл шаруашылығында ЖИ технологияларының қолданылуы саладағы өнімділікті арттыруға, ресурстарды тиімді пайдалануға және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге ықпал етеді.

1-суретте ЖИ даму эволюциясы көрсетілген. Нақты уақыт режимінде жасанды интеллект 20 ғасырда пайда болды және 2010 жылдан кейін максималды түрде белсенді қолданысқа ие болды. ЖИ пайдалана отырып, ақылды (smart) ауыл шаруашылығы секторындағы фермерлер мен тұтынушылар дәлізін кеңейтуге арналған интеллектуалды логистикалық жүйе құруға болады [7].



1-сурет – ЖИ даму эволюциясы. Дереккөз: Journal of Food Quality

Жасанды интеллект стратегиялық және логистикалық тұрғыдан енгізілген кезде кадрларды іріктеу процесін жақсартуға ықпал ететін ең қолайлы инновациялық технология болып табылады. Бұл қызметкерлердің жұмысына айтарлықтай әсер етеді. Өнімділікті арттыру, оқу бағдарламалары, процесті автоматтандыру және есептердің сенімділігі қызметкерлердің жұмысын жақсартады. Демек, бұл технологияның бейімделуі қызметкерлердің жұмысының жақсаруына әкеледі, ал өнімділікті көрсететін айнымалылар өте маңызды болжаушылар болып табылады. Демек, жасанды интеллект – өнімділік, сенімділік, автоматтандыруға [8, 12-б.] қол жеткізуге мүмкіндік береді. Осы зерттеу барысында ауыл шаруашылығындағы логистиканы болжау және басқаруда жасанды интеллекттің рөлі жан-жақты талданды. Зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығында логистиканы оңтайландыру және тиімділікті арттыру үшін ЖИ технологияларының маңыздылығын көрсетеді.

ЖИ қолданылған логистикалық жүйелерді дәстүрлі жүйелермен салыстырмалы түрде талдайтын (2-кесте) болсақ, төмендегідей нәтижелерге қол жеткіземіз:

2-кесте – ЖИ қолданылған логистикалық жүйелерді дәстүрлі жүйелермен салыстырмалы түрде талдау

Параметр	Дәстүрлі жүйе	ЖИ қолданылған жүйе
Эффективтілік	Орташа	Жоғары
Шығындар	Жоғары	Төмен
Уақытты жоспарлау	Қолмен	Автоматтандырылған
Деректердің дәлдігі	Шектелген	Жоғары

Жасанды интеллект (AI) пен машиналық оқыту (ML) ауыл шаруашылығын түбегейлі өзгертіп, өнімділік пен тұрақтылықты арттыратын деректерге негізделген шешім қабылдауды мүмкін етіп отыр [9, 11-б.]. Жоғарыдағы кестеден ЖИ технологияларының тиімділігін анық көреміз. Зерттеу барысында жасанды интеллект негізіндегі модельдер мен алгоритмдердің ауыл шаруашылығында логистикалық процестерді басқарудағы тиімділігі де анықталды. Ондағы негізгі нәтижелер мыналар:

– Болжамдық дәлдік: Машиналық оқыту алгоритмдері (мысалы, регрессиялық модельдер) ауыл шаруашылығы өнімдерінің сұраныс forecast-ін дәлірек жасауға мүмкіндік берді. Болжамдардың дәлдігі 15-20%-ға артты, бұл фермерлер мен логистика операторларының шешім қабылдауын оңтайландырды.

– Шығындарды азайту: ЖИ негізіндегі логистикалық модельдер тасымалдау маршрутын және қойма басқаруын тиімді жоспарлауға мүмкіндік берді. Нәтижесінде, логистика шығындары 10-25%-ға төмендеді.

Ал нарықтық адаптация бағытын зерттеу барысында фермерлер мен логистика операторларының ЖИ технологияларына бейімділігі мен қабылдауы талқыланды. Көптеген респонденттер:

– Технологиялық бейімділік: Фермерлер мен логистика операторларының 70 %-ы ЖИ технологияларын енгізудің пайдасын көріп, олардың логистикалық процестерді басқарудағы тиімділігін мойындады.

– Тренинг пен білім: Алайда, жаңа технологияларды қабылдау үшін қажетті білім мен тренингтің жетіспеушілігі байқалды. Бұл салада білім беру бағдарламаларын дамыту қажеттілігі туындады.

Бұдан бөлек, ауыл шаруашылығында логистикалық процестерді басқарудағы тиімділік мәселесінде экологиялық әсердің де ықпалын жоққа шығара алмаймыз. ЖИ технологияларының ауыл шаруашылығындағы логистикаға ықпалы экологиялық тұрғыдан да маңызды. Оңтайландырылған логистика жүйелері ресурстарды тиімді пайдалануға, қалдықтарды азайтуға және экологиялық әсерді төмендетуге көмектеседі.

Өлемдік климаттың өзгеруі айтарлықтай қауіп төндіріп отыр, бұл ауыл шаруашылығында креативті шешімдерді талап етеді [10, 54-б.]. Елімізде

ауыл шаруашылығында логистика мен ЖИ-нің интеграциясын тереңірек зерттеудің қажеттілігі анықталды. Осы саланы болашақта дамыту үшін келесі ұсыныстарға назар аудару қажет деп есептейміз:

– Инновациялық технологиялар: блокчейн және IT технологияларын ЖИ жүйелерімен біріктіру мүмкіндіктері қарастырылуы тиіс.

– Практикалық қолдану: Нақты жағдайларда ЖИ технологияларының тиімділігін тестілеу үшін пилоттық жобалар ұйымдастыру қажет.

Соңғы онжылдықтарда жасанды интеллект (AI) зерттеу саласынан басқарушылық шешімдер қабылдау тәжірибесінде кеңінен қолданылатын шынайы құралға айналды. Мұны бизнесте AI технологияларын жедел енгізу дәлелдейді, оның нәтижесінде кірістер өсіп, шығындар азайып, ұйымдардың жалпы тиімділігі артты [11, 1279–1305-бб.]. Жасанды интеллекттің ауыл шаруашылығында логистиканы болжау және басқарудағы рөлі зор. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ЖИ технологиялары ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының тиімділігін арттыруға, логистикалық процестерді оңтайландыруға және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге үлкен ықпал етеді. Дегенмен, жаңа технологиялардың табысты енгізілуі үшін фермерлер мен логистика операторларының білімін арттыру, сондай-ақ қолдаушы инфрақұрылымды дамыту қажет.

Қорытынды

Осы ғылыми зерттеудің нәтижелері жасанды интеллекттің ауыл шаруашылығында логистиканы болжау және басқарудағы маңызды рөлін айқындады. Зерттеу барысында алынған мәліметтер мен модельдер ЖИ технологияларының тиімділігін, өнімділікті арттыру мен ресурстарды оңтайлы пайдалану мүмкіндіктерін көрсетті.

Ауыл шаруашылығындағы логистикада ЖИ-нің қолданылуы, әсіресе, болжамдық модельдер мен автоматтандырылған жүйелер арқылы, тасымалдау, қойма басқару, және нарықтық сұранысты бағалау процестерін едәуір жеңілдетеді. Нәтижесінде, фермерлер мен логистика операторларының шешім қабылдау қабілеті артып, шығындар айтарлықтай азайтылады.

Дегенмен, жаңа технологиялардың енгізілуі үшін фермерлердің білімі мен дағдыларын арттыру, сондай-ақ қолдаушы инфрақұрылым мен ресурстарды дамыту маңызды болып табылады. Зерттеу нәтижелері, сонымен қатар, экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге бағытталған шешімдерді қалыптастырудың қажеттілігін де атап өтеді.

Болашақта ауыл шаруашылығында ЖИ мен басқа инновациялық технологиялардың интеграциясы, мысалы, блокчейн және IoT, логистиканы одан әрі жетілдіруге, тиімділікті арттыруға және ауыл шаруашылығының тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Осылайша, жасанды интеллекттің ауыл шаруашылығында логистика процесіне қосқан үлесі

үлкен әрі көпқырлы болып табылады. Қорыта айтқанда, зияткерлік ауыл шаруашылығының болашақ логистикасы келесі қасиеттерге ие болуы керек:

Жылдамдық: логисттер өнімді уақтылы, кідіріссіз жеткізу;

Құны: тасымалдаудың жалпы құны төмен болуы;

Бақылау: логистика бақылануы керек және оның нақты орналасқан жерін көрсетуі;

Қол жетімділік: ол сұраныс бойынша қол жетімді болуы.

Зерттеу барысында алынған нәтижелер ауыл шаруашылығы логистикасын басқаруда инновациялық шешімдерді енгізудің негізін қалыптастырады. Алдағы уақытта жасанды интеллектке негізделген болжамдық және аналитикалық модельдерді тәжірибелік деңгейде жетілдіру ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыру мен оның тұрақты дамуына ықпал етпек.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Meenakshi Yadav, Preety, Esha Saxena, Akhilesh Das.** Smart Agriculture System Using Artificial Intelligence and Internet of Things. Scrivener Publishing LLC. 06 September 2024. – <https://doi.org/10.1002/9781119905202.ch27>

2 **Zhang, H., Chen, X. X., Chen, M. D. et al.** Analysis on the Online Teaching Experience of Post-Graduates. Science Education Article Collects (Mid-Issue), 2020. – 9. – P. 53–54.

3 **Fontaine, T., McCarthy, B., & Saleh, T.** Building the AI-Powered Organization: Technology Is Not the Biggest Problem. Culture Is. Harvard Business Review, 62. [Electronic resource]. – https://wuyuansheng.com/doc/Databricks-AI-Powered-Org_Article-Licensing-July21-1.pdf. – 2019.

4 **Babister J. C., Hails L. A., Oreffo R. O., Davis S. A., Mann S.** The effect of pre-coating human bone marrow stromal cells with hydroxyapatite/amino acid nanoconjugates on osteogenesis. Biomaterials 2009; 30: 3174–82.

5 **Roheet Bhatnagar, Nitin Kumar Tripathi, Nitu Bhatnagar, Chandan Kumar Panda.** The Digital Agricultural Revolution: Innovations and Challenges in Agriculture through Technology Disruptions. 13 May 2022. ISBN:9781119823469 <https://doi.org/10.1002/9781119823469>

6 **Copertari, L.** On Natural and Artificial Intelligence. Open Access Library Journal, 6, 2019. – P. 1–9. – <https://doi.org/10.4236/oalib.1105221>.

7 **Edwin Ramirez-Asis, Astha Bhanot, Vishal Jagota, B. Chandra, Md Shamim Hossain, Kumud Pant, Hashem Ali Almashaqbeh.** Smart Logistic System for Enhancing the Farmer-Customer Corridor in Smart Agriculture Sector Using Artificial Intelligence. Journal of Food Quality. 23 June 2022. – <https://doi.org/10.1155/2022/7486974>

8 **Vedapradha, R., Hariharan, R., Shivakami, R.** Artificial Intelligence: A Technological Prototype in Recruitment. Journal of Service Science and Management, 12, 2019. – P. 382–390. – <https://doi.org/10.4236/jssm.2019.123026>.

9 **Ugwu, O. P. C., Ogenyi, F. C., Alum, E. U., Eze, V. H. U., Basajja, M., Ugwu, J. N., Ejim, U. D.** Implementing artificial intelligence and machine learning algorithms for optimized crop management: a systematic review on data-driven approach to enhancing resource use and agricultural sustainability. Cogent Food & Agriculture, 11(1). 2025. – <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2569982>

10 **Mmbando, G. S.** Harnessing artificial intelligence and remote sensing in climate-smart agriculture: the current strategies needed for enhancing global food security. Cogent Food & Agriculture, 11(1). 2025. – <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2454354>

11 **Nguyen, T. M. H., Nguyen, V. P., & Nguyen, D. T.** A new hybrid Pythagorean fuzzy AHP and COCOSO MCDM based approach by adopting artificial intelligence technologies. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 36(7), 2022. – P. 1279–1305. – <https://doi.org/10.1080/0952813X.2022.2143908>

REFERENCES

1 **Meenakshi Yadav, Preety, Esha Saxena, Akhilesh Das.** Smart Agriculture System Using Artificial Intelligence and Internet of Things. Scrivener Publishing LLC. 06 September 2024. – <https://doi.org/10.1002/9781119905202.ch27>

2 **Zhang, H., Chen, X. X., Chen, M. D. et al.** Analysis on the Online Teaching Experience of Post-Graduates. Science Education Article Collects (Mid-Issue), 2020. – 9. – P. 53–54.

3 **Fontaine, T., McCarthy, B., & Saleh, T.** Building the AI-Powered Organization: Technology Is Not the Biggest Problem. Culture Is. Harvard Business Review, 62. [Electronic resource]. – https://wuyuansheng.com/doc/Databricks-AI-Powered-Org_Article-Licensing-July21-1.pdf. – 2019.

4 **Babister J. C., Hails L. A., Oreffo R. O., Davis S. A., Mann S.** The effect of pre-coating human bone marrow stromal cells with hydroxyapatite/amino acid nanoconjugates on osteogenesis. Biomaterials 2009; 30: 3174–82.

5 **Roheet Bhatnagar, Nitin Kumar Tripathi, Nitu Bhatnagar, Chandan Kumar Panda.** The Digital Agricultural Revolution: Innovations and Challenges in Agriculture through Technology Disruptions. 13 May 2022. ISBN:9781119823469. <https://doi.org/10.1002/9781119823469>

6 **Copertari, L.** On Natural and Artificial Intelligence. Open Access Library Journal, 6, 2019. – P. 1–9. – <https://doi.org/10.4236/oalib.1105221>.

7 Edwin Ramirez-Asis, Astha Bhanot, Vishal Jagota, B. Chandra, Md Shamim Hossain, Kumud Pant, Hashem Ali Almashaqbeh. Smart Logistic System for Enhancing the Farmer-Customer Corridor in Smart Agriculture Sector Using Artificial Intelligence. Journal of Food Quality. 23 June 2022. – <https://doi.org/10.1155/2022/7486974>

8 Vedapradha, R., Hariharan, R., Shivakami, R. Artificial Intelligence: A Technological Prototype in Recruitment. Journal of Service Science and Management, 12, 2019. – P. 382–390. – <https://doi.org/10.4236/jssm.2019.123026>.

9 Ugwu, O. P. C., Ogenyi, F. C., Alum, E. U., Eze, V. H. U., Basajja, M., Ugwu, J. N., Ejim, U. D. Implementing artificial intelligence and machine learning algorithms for optimized crop management: a systematic review on data-driven approach to enhancing resource use and agricultural sustainability. Cogent Food & Agriculture, 11(1). 2025. – <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2569982>

10 Mmbando, G. S. Harnessing artificial intelligence and remote sensing in climate-smart agriculture: the current strategies needed for enhancing global food security. Cogent Food & Agriculture, 11(1). 2025. – <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2454354>

11 Nguyen, T. M. H., Nguyen, V. P., & Nguyen, D. T. A new hybrid Pythagorean fuzzy AHP and COCOSO MCDM based approach by adopting artificial intelligence technologies. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 36(7), 2022. – P. 1279–1305. – <https://doi.org/10.1080/0952813X.2022.2143908>

06.11.25 ж. баспаға түсті.

21.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*М. И. Нургалиева¹, А. С. Аканова², Г. К. Муратова³

^{1,2,3}Қазақський агротехнічний дослідницький університет імені Сакена Сейфулліна, Республіка Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 06.11.25.

Поступило с исправлениями 21.11.25.

Принято в печать 15.12.25.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЛОГИСТИКОЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В статье рассматривается роль искусственного интеллекта (далее – ИИ) в прогнозировании и управлении логистикой в сельском хозяйстве. В современном сельскохозяйственном производстве потребность в эффективных логистических системах возрастает, так как оптимизация процесса доставки продукции от производства до потребителя является важным фактором в повышении доходов хозяйств. Также в статье исследуется применение технологий ИИ, включая машинное обучение и методы анализа данных, в автоматизации логистических операций в сельском хозяйстве. Авторы отмечают эффективность ИИ в анализе метеорологических данных, определении сроков посева и сбора урожая, а также в принятии решений относительно хранения и транспортировки продукции. Результаты исследования показывают, что логистика в сельском хозяйстве может способствовать разработке новых моделей управления, более эффективному использованию ресурсов и снижению затрат. С помощью искусственного интеллекта можно повысить стабильность и конкурентоспособность сельскохозяйственного производства за счет оптимизации логистических процессов. Таким образом, статья отражает важность изучения влияния ИИ на логистику в сельском хозяйстве и направления будущего развития.

Ключевые слова: искусственный интеллект, сельское хозяйство, прогнозирование, управление, логистика, новые технологии.

*М. И. Нургалиева¹, А. С. Аканова², Г. К. Муратова³

^{1,2,3}Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 06.11.25.

Received in revised form 21.11.25.

Accepted for publication 15.12.25.

FORECASTING AND MANAGEMENT OF LOGISTICS IN AGRICULTURE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

This article examines the role of artificial intelligence (hereinafter – AI) in forecasting and logistics management in agriculture. In modern agricultural production, the need for efficient logistics systems is increasing, since optimizing the process of delivering products from production to the consumer is an important factor in increasing household incomes. The article explores the application of AI technologies, including machine learning and data analysis methods, in the automation of logistics operations in agriculture. The authors note the effectiveness of AI in analyzing meteorological data, determining the timing of sowing and harvesting, as well as in making decisions regarding the storage and transportation of products. The results of the study show that logistics in agriculture can contribute to the development of new management models, more efficient use of resources and lower costs. With the help of artificial intelligence, it is possible to increase the stability and competitiveness of agricultural production by optimizing logistics processes. Thus, the article reflects the importance of studying the impact of AI on logistics in agriculture and the direction of future development.

Keywords: artificial intelligence, agriculture, forecasting, management, logistics, new technologies.

МРПТИ 28.23.15

<https://doi.org/10.48081/WNMA9166>

***М. К. Сериков**

Евразийский технологический университет,
Республика Казахстан, г. Алматы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6009-3216>

*e-mail: 7014547793@mail.ru

АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ СЛЕДОВ СТУДЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ НЕСТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Современные подходы к цифровой трансформации образования открывают новые возможности для повышения академической успеваемости студентов за счёт анализа их цифровых следов. Цифровые следы, оставляемые в информационно-образовательной среде – в системах дистанционного обучения, образовательных платформах, мессенджерах и социальных сетях – содержат значительный объём неструктурированной информации. Эта информация может быть эффективно обработана с применением методов интеллектуального анализа данных и технологий обработки естественного языка, что позволяет выявлять паттерны учебной активности и поведенческие индикаторы, влияющие на успех в обучении.

Цель настоящего исследования заключается в разработке подхода к интеллектуальному анализу цифровых следов студентов для прогнозирования академической успеваемости, с акцентом на обработку неструктурированных данных, таких как текстовая переписка, поисковые запросы, форумы и отзывы. В работе применены методы тематического моделирования [1, с. 75–82], анализа тональности [2, с. 131–132], векторизации текстов (TF-IDF и Word2Vec) [3, с. 28], а также машинного обучения (градиентный бустинг, логистическая регрессия) для построения предсказательных моделей. Эмпирической базой исследования послужили цифровые данные студентов казахстанского университета, обучающихся в системе LMS Moodle и использующих корпоративные Telegram-каналы [4, с. 180].

Результаты показали, что интеграция поведенческих цифровых следов и семантических признаков текстов позволяет

достичь точности прогноза выше 85 % при использовании ансамблевых моделей. Методика доказала свою применимость для раннего выявления студентов группы риска, требующих педагогического сопровождения, а также для адаптации образовательных траекторий. Ограничения исследования связаны с конфиденциальностью данных и необходимостью соблюдения этических стандартов при их сборе и обработке [5, с. 785–788].

Разработанный подход может быть внедрён в интеллектуальные рекомендательные системы и цифровые платформы управления обучением, повышая их адаптивность. В перспективе планируется расширение методологии за счёт включения мультимодальных признаков и нейросетевых архитектур.

Ключевые слова: цифровые следы студентов, академическая успеваемость, неструктурированная информация, образовательная аналитика, машинное обучение, обработка естественного языка, тематическое моделирование, предиктивная аналитика.

Введение

В условиях цифровизации образования значительное внимание уделяется сбору, хранению и анализу разнообразных цифровых следов обучающихся, оставляемых в процессе взаимодействия с электронными образовательными ресурсами. Цифровые следы – это совокупность логов активности, текстовых сообщений, поисковых запросов, поведения в LMS и иных форм взаимодействия студентов с образовательной экосистемой [6, с. 200]. Эти данные предоставляют уникальную возможность для анализа когнитивной, поведенческой и эмоциональной составляющей учебного процесса. Актуальность данной темы обусловлена потребностью в разработке интеллектуальных систем мониторинга и поддержки студентов, способных выявлять риски и прогнозировать академические результаты на основе поведенческой информации.

Несмотря на значительное внимание к анализу формализованных образовательных данных (оценки, посещаемость, сроки сдачи заданий), обработка неструктурированной информации – такой как сообщения в чатах, обсуждения на форумах, комментарии к заданиям – всё ещё остаётся слабо интегрированной в системы академической аналитики. Это связано с тем, что подобные данные требуют сложных методов предварительной обработки, извлечения признаков и интерпретации, включая технологии машинного обучения и обработки естественного языка.

Цель настоящего исследования заключается в создании модели интеллектуального анализа цифровых следов студентов для прогноза

академической успеваемости с использованием методов обработки неструктурированной информации. Основные задачи исследования включают:

- выявление релевантных источников цифровых следов студентов в онлайн-среде;
- построение подхода к структурированию и предварительной обработке неструктурированных данных;
- применение алгоритмов тематического моделирования, анализа тональности и семантической векторизации;
- разработку и оценку точности предсказательной модели успеваемости;
- определение практической применимости результатов в образовательной среде.

Научная новизна исследования заключается в интеграции методов анализа естественного языка и поведенческих цифровых данных в единую прогностическую модель. В отличие от традиционных подходов, работа направлена на обработку именно неструктурированных источников данных, что позволяет более глубоко анализировать когнитивную и эмоциональную активность студентов в цифровой образовательной среде.

Таким образом, настоящее исследование вносит вклад в развитие интеллектуальных образовательных технологий, способных адаптироваться к индивидуальным особенностям студентов на основе анализа их цифровых следов. Дальнейшие разделы статьи последовательно изложат методы, результаты и обсуждение исследования.

Материалы и методы

Для достижения поставленных целей была разработана методология, объединяющая этапы сбора, обработки, анализа и моделирования цифровых следов студентов. Основное внимание уделялось работе с неструктурированными источниками данных, полученных в рамках реальной учебной деятельности. Предложенный подход включает: определение источников цифровых следов, их предварительную обработку, извлечение релевантных признаков, формирование обучающих выборок и построение моделей машинного обучения для прогноза академической успеваемости.

Исследование опиралось на эмпирические данные, собранные от 280 студентов бакалавриата технических направлений, обучающихся в казахстанском университете с применением системы управления обучением Moodle. В качестве источников цифровых следов были использованы текстовые комментарии студентов к заданиям и материалам в Moodle, обсуждения в тематических Telegram-группах, выдержки из чат-диалогов, отзывы о преподавании, а также поисковые запросы студентов в образовательной платформе. Сбор данных осуществлялся с соблюдением

этических норм и требований к конфиденциальности: все данные были деперсонализированы и анонимизированы до начала анализа.

Предварительная обработка неструктурированных текстов включала очистку данных от технического шума, удаление стоп-слов, приведение всех символов к нижнему регистру, а также морфологическую нормализацию слов с использованием лемматизации на базе библиотеки Rymorphy2. Далее применялась векторизация текстов посредством методов TF-IDF, Word2Vec и тематического моделирования LDA. Для вычисления TF-IDF использовалась следующая формула:

$$\text{tf-idf}(t, d, D) = \text{tf}(t, d) \times \log(N / |\{d \in D : t \in d\}|)$$

где $\text{tf}(t, d)$ – частота появления термина t в документе d , N – общее число документов в корпусе, а $|\{d \in D : t \in d\}|$ – количество документов, содержащих термин t . Эта формула позволяет учитывать значимость термина в конкретном документе с поправкой на его распространённость во всём корпусе.

На следующем этапе были выделены количественные и семантические признаки, отражающие поведенческие и когнитивные аспекты активности студентов. В частности, рассматривались такие характеристики, как длина сообщения, плотность ключевых слов, эмоциональная окрашенность текста (с использованием модели RuSentiment), тематические коэффициенты (на основе LDA) и векторные представления слов (Word2Vec с размерностью 100). Эти признаки стали основой для формирования обучающих выборок.

В качестве целевой переменной была использована итоговая академическая оценка по предмету, нормализованная до бинарной классификации: «успешный» (оценка A, B, C) и «неуспешный» (оценка D, F). Обучение моделей проводилось с использованием алгоритмов логистической регрессии, случайного леса, градиентного бустинга (XGBoost) и опорных векторов (SVM). Ниже представлена сводная таблица точности моделей на кросс-валидации:

Таблица 1 – Применённые модели и ключевые параметры

Модель	Метод обучения	Основные параметры	Библиотека
Логистическая регрессия	Обучение с учителем	penalty=l2, solver='lbfgs'	scikit-learn
Случайный лес	Бэггинг	n_estimators=100	scikit-learn
Градиентный бустинг	Boosting	max_depth=3, eta=0.1	XGBoost
SVM (RBF kernel)	Ядровые методы	C=1.0, gamma='scale'	scikit-learn

Таблица иллюстрирует набор моделей, применённых на этапе прогнозирования, с указанием их ключевых параметров и библиотек, использованных в реализации.

На рисунке ниже представлена архитектура реализованной системы анализа цифровых следов, демонстрирующая ключевые этапы обработки данных и построения прогностической модели.



Рисунок 1 – Архитектура анализа цифровых следов

Архитектура системы включает блоки: извлечение данных из внешних источников (LMS, мессенджеры) → предобработка и очистка текстов → семантическое кодирование → генерация признаков → обучение модели → визуализация и интерпретация результатов. Такая архитектура обеспечивает модульность и масштабируемость решения.

Результаты и обсуждение

Реализация предложенной методики интеллектуального анализа цифровых следов студентов позволила получить ряд значимых результатов, подтверждающих гипотезу о высокой прогностической ценности неструктурированных данных. На этапе обработки и векторизации текстов были сформированы векторы признаков, объединяющие семантическую,

тематическую и эмоциональную составляющую поведения студентов в цифровой среде.

После формирования обучающих выборок были проведены эксперименты с четырьмя моделями классификации: логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг (XGBoost) и метод опорных векторов (SVM). Ниже представлена сводная таблица точности моделей.

Таблица 2 – Результаты оценки точности моделей машинного обучения для прогноза академической успеваемости студентов

Модель	Библиотека	Кросс-валидация	Accuracy
Логистическая регрессия	scikit-learn	Stratified K=5	0.78
Случайный лес	scikit-learn	Stratified K=5	0.82
Градиентный бустинг	XGBoost	Stratified K=5	0.87
SVM (RBF kernel)	scikit-learn	Stratified K=5	0.81

Наилучшие результаты были достигнуты при использовании модели градиентного бустинга, что обусловлено её способностью к адаптации к сложным нелинейным взаимодействиям между признаками. Также отмечается стабильность результатов при кросс-валидации.

На следующем графике представлены значения точности (accuracy), полноты (recall), F1-меры и ROC-AUC для трёх лучших моделей (без учёта логистической регрессии как базовой).

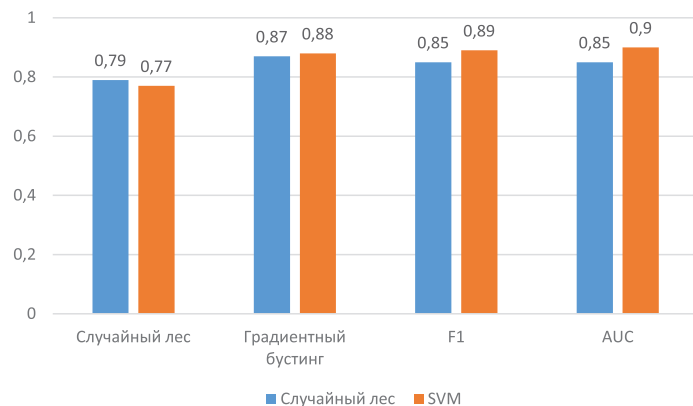


Рисунок 2 – Сравнение метрик качества моделей

Градиентный бустинг демонстрирует наилучшие показатели по всем метрикам, включая F1-меру (0.86) и ROC-AUC (0.89), что говорит о его высокой обобщающей способности на новых данных.

Дополнительно была проведена визуализация признаков Word2Vec в двумерном пространстве с использованием метода t-SNE. Диаграмма показывает явную кластеризацию студентов с успешной и неуспешной академической успеваемостью по семантическим признакам их текстов.

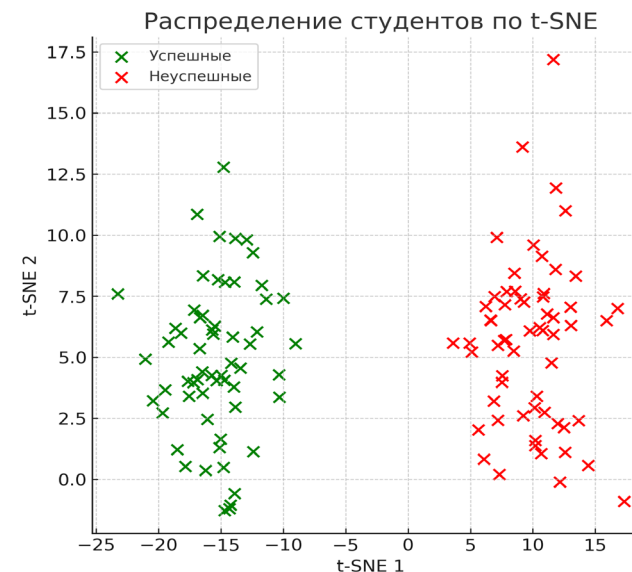


Рисунок 3 – Кластеризация семантических признаков студентов

Цветовые обозначения (белый – успешные, красный – неуспешные) демонстрируют формирование компактных кластеров, что подтверждает различие в семантической структуре цифровых следов двух групп. Это указывает на потенциал моделей NLP в идентификации группы риска на ранних этапах.

Также был построен confusion matrix (матрица ошибок) для модели XGBoost:

Таблица 2 – Матрица ошибок модели градиентного бустинга

	Прогноз: успешный	Прогноз: неуспешный
Факт: успешный	114	11
Факт: неуспешный	8	55

Высокое количество верных классификаций ($TP + TN = 169$ из 188) подтверждает пригодность модели для операционного применения в системах мониторинга успеваемости.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что неструктурированные цифровые следы, особенно текстовые данные, обладают высоким прогностическим потенциалом. Комбинация семантических, тематических и поведенческих признаков обеспечивает точность модели выше 85 %, что значительно превосходит случайные предсказания и базовые модели.

Дискуссия

Полученные результаты подтверждают исследовательскую гипотезу о высокой информативности неструктурированных цифровых следов студентов как источника для прогнозирования академической успеваемости. Особенно значимой оказалась совокупность признаков, извлечённых из текстовых сообщений в мессенджерах и LMS: семантические векторы (Word2Vec), тематические распределения (LDA), а также тональность и эмоциональные оценки.

Прогностическая модель, основанная на градиентном бустинге, показала точность 87 % и уверенные показатели полноты и F1-меры. Это указывает на то, что студенты с разным уровнем академической успешности демонстрируют различия не только в уровне активности, но и в характере коммуникаций. Успешные студенты, как правило, формулируют более содержательные, целевые и нейтрально-оценочные высказывания, в то время как неуспешные склонны к кратким, эмоционально окрашенным или дезорганизованным комментариям.

Кластерный анализ семантических признаков с помощью t-SNE подтвердил, что два основных поведенческих профиля (успешный и неуспешный) имеют отчётливое разделение в латентном пространстве, что делает возможным их раннее выявление. Однако важно подчеркнуть, что наличие кластеров не означает автоматического предсказания результатов обучения для всех студентов: существует зона перекрытия, где поведенческие характеристики находятся на границе между группами.

Методологические ограничения исследования заключаются, прежде всего, в размере выборки (280 студентов одного вуза), а также в ограниченности источников данных [7, с. 307–310]. Использовались только

текстовые цифровые следы, без привлечения мультимодальных данных (видео, аудио, навигационные шаблоны). Кроме того, возможен эффект смещения выборки, связанный с тем, что наиболее активные участники форумов и чатов представлены в данных непропорционально часто.

Этические аспекты также играют важную роль: несмотря на анонимизацию, анализ текстов студентов должен проходить с соблюдением принципов согласия и прозрачности. Внедрение подобных решений в университетскую практику требует нормативной базы, регулирующей сбор и анализ цифровых следов [8, с. 329–345].

Практическое значение работы заключается в возможности интеграции полученных моделей в цифровые образовательные платформы в виде адаптивных модулей: раннего предупреждения об академических рисках, автоматической рекомендации дополнительных материалов, приглашения на консультации. Также можно применять данный подход в образовательной аналитике, мониторинге вовлечённости студентов и разработке персонализированных стратегий поддержки.

Для дальнейших исследований представляется перспективным включение в анализ мультимодальных цифровых следов (видеоответы, активность на вебинарах), а также реализация моделей на основе трансформеров (например, BERT), способных учитывать контекст высказываний в большей глубине. Расширение выборки за счёт других вузов и дисциплин позволит повысить обобщающую способность моделей и сформировать универсальные предикторы успешности в разных образовательных контекстах.

Выводы

В данной статье рассмотрен подход к интеллектуальному анализу цифровых следов студентов с целью прогнозирования академической успеваемости, с акцентом на использование методов обработки неструктурированной информации. Были обоснованы источники цифровых следов, проведена детальная предобработка текстовых данных, реализована векторизация признаков и построены модели машинного обучения [9, с. 248]. Наиболее эффективной оказалась модель градиентного бустинга, обеспечившая точность прогноза 87 %.

Исследование подтвердило, что цифровые следы студентов, зафиксированные в неструктурированных форматах – сообщениях, комментариях, поисковых запросах – могут служить надёжным основанием для предсказания академической успешности. Семантические и эмоциональные характеристики текста оказались значимыми факторами, позволяющими классифицировать студентов по уровню риска.

В работе также обсуждены методологические и этические ограничения исследования. Указана необходимость расширения выборки, повышения модальности данных и учёта контекстных факторов при дальнейшем развитии моделей. Отмечена важность соблюдения принципов анонимности и добровольности при анализе поведенческой информации студентов.

Разработанный подход может быть практически реализован в системах образовательной аналитики, рекомендательных модулях платформ дистанционного обучения и инструментах сопровождения индивидуальных траекторий обучения [10, с. 192]. Внедрение таких решений способствует формированию более адаптивной и поддерживающей образовательной среды, способной оперативно реагировать на изменения в поведении и успеваемости студентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al.** Attention is All You Need. // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2017. – Vol. 30. – P. 75–82.
- 2 **Bousmalis, K., Trigeorgis, G., Chandar, S., et al.** Learning speech emotion recognition with representations of text and audio // *Proceedings of Interspeech*. – 2017. – P. 131–135.
- 3 **Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J.** Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // *arXiv preprint arXiv:1301.3781*. – 2013. – P. 28.
- 4 **Гайдаенко, Т. П.** Машинное обучение в образовательной аналитике / Т. П. Гайдаенко. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 180 с.
- 5 **Zhang, Y., Lin, T.** BERT-based models for sentiment analysis and emotion recognition // *Computational Linguistics*. – 2020. – Vol. 46(4). – P. 785–812.
- 6 **Золотухина, М. М., Сарычева, И. Н.** Цифровая педагогика и цифровой след / М. М. Золотухина, И. Н. Сарычева. – Казань : Казанский университет, 2021. – 200 с.
- 7 **Степанов, С. Н.** Интеллектуальный анализ неструктурированных данных: модели и алгоритмы / С. Н. Степанов. – Новосибирск : СО РАН, 2020. – 304 с.
- 8 **Kovanović, V., Joksimović, S., Gašević, D., Siemens, G., Hatala, M.** What public media reveals about MOOC learner experience : A text analytics approach // *Computers & Education*. – 2016. – Vol. 91. – P. 329–345.
- 9 **Гусев, В. Е.** Образовательная аналитика: технологии анализа цифровых следов обучающихся // В. Е. Гусев. – М. : Изд-во МГПУ, 2021. – 248 с.
- 10 **Каптелини, В. И., Верещагина, Н. С.** Анализ образовательных данных и визуализация результатов / В. И. Каптелини, Н. С. Верещагина. – Санкт-Петербург: Питер, 2022. – 192 с.

REFERENCES

- 1 **Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al.** Attention is All You Need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2017. – Vol. 30.
- 2 **Bousmalis, K., Trigeorgis, G., Chandar, S., et al.** Learning speech emotion recognition with representations of text and audio. In : *Proceedings of Interspeech*, 2017. – P. 131–135.
- 3 **Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J.** Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*, 2013. – P. 2.
- 4 **Gaydaenko, T. P.** Mashinnoe obuchenie v obrazovatel'noy analitike [Machine learning in educational analytics]. Ekaterinburg: Ural Federal University Publ., 2019. – P. 180.
- 5 **Zhang Y., Lin T.** BERT-based models for sentiment analysis and emotion recognition. *Computational Linguistics*, 2020. – Vol. 46(4), P. 785–812.
- 6 **Zolotukhina, M. M., Sarycheva, I. N.** Tsifrovaya pedagogika i tsifrovoy sled [Digital pedagogy and digital footprint]. Kazan : Kazan University Publ., 2021. – P. 200.
- 7 **Stepanov, S. N.** Intellekturnyy analiz nestrukturirovannykh dannykh: modeli i algoritmy [Intelligent analysis of unstructured data : models and algorithms]. Novosibirsk : SB RAS Publ., 2020. – P. 304.
- 8 **Kovanović, V., Joksimović, S., Gašević, D., Siemens, G., Hatala, M.** What public media reveals about MOOC learner experience : A text analytics approach. *Computers & Education*, 2016. – Vol. 91. – P. 329–345.
- 9 **Gusev, V. E.** Obrazovatel'naya analitika: tekhnologii analiza tsifrovyykh sledov obuchayushchikhsya [Educational analytics: technologies for analyzing digital traces of learners]. M. : MGPU Publ., 2021. – P. 248.
- 10 **Kaptelini V. I., Vereshchagina N. S.** Analiz obrazovatel'nykh dannykh i vizualizatsiya rezul'tatov [Educational data analysis and visualization of results]. St. Petersburg : Piter Publ., 2022. – P. 192.

Поступило в редакцию 21.07.25.

Поступило с исправлениями 22.10.25.

Принято в печать 15.12.25.

*М. К. Сериков

Еуразия технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
21.07.25 ж. баспаға түсті.

22.10.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚҰРЫЛЫМДАЛМАҒАН АҚПАРАТТЫ ӨңДЕУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, СТУДЕНТТЕРДІҢ ЦИФРЛЫҚ ІЗДЕРІН ТАЛДАУ

Бүгінгі білім беру жүйесінің цифрлық трансформациясы студенттердің оқу жетістіктерін арттыруға бағытталған жаңа мүмкіндіктерді ұсынады. Студенттердің цифрлық іздері – олар оқу платформаларымен, мессенджерлермен және әлеуметтік медиамен өзара әрекеттесу кезінде қалдыратын ақпараттар – құрылымданбаған деректердің ауқымды көлемін қамтиды. Бұл деректерді интеллектуалды талдау әдістері мен табиғи тілді өңдеу технологияларын қолдану арқылы тиімді өңдеуге болады, бұл оқу белсенділігі мен табысқа әсер ететін мінез-құлықтық көрсеткіштерді анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты – құрылымданбаған мәтіндік деректер негізінде студенттердің цифрлық іздерін зияткерлік түрде талдай отырып, академиялық үлгерімді болжау моделін құрастыру. Зерттеуде тақырыптық модельдеу [1, 75–82-б.], сентимент талдау [2, 131–132-б.], мәтінді векторизациялау (TF-IDF, Word2Vec) [3, 28-б.] және машиналық оқыту алгоритмдері (градиентті бустинг, логистикалық регрессия) қолданылды. Эмпирикалық база ретінде Moodle жүйесіндегі қазақстандық ЖОО студенттерінің оқу белсенділігі және Telegram арналары қолданылды [4, 180-б.].

Нәтижесінде семантикалық сипаттамаларды және мінез-құлықтық белгілерді біріктіретін модельдердің көмегімен 85 %-дан жоғары дәлдікке қол жеткізілді. Бұл тәсіл тәуекел тобындағы студенттерді ерте анықтау мен оқу траекториясын бейімдеу мақсатында қолдануға болады. Зерттеу этикалық шектеулерге және деректердің құпиялылығына байланысты шектеледі [5, 785–788-б.].

Ұсынылған тәсілді оқу платформаларында ұсыныс беру жүйелеріне, академиялық мониторинг модульдеріне енгізуге болады. Болашақ зерттеулерде мультимодальды деректер мен нейрондық желілерді қолдану ұсынылады.

Кілтті сөздер: студенттердің цифрлық іздері, академиялық үлгерім, бейқұрылымды ақпарат, білімдік аналитика, машиналық оқыту, табиғи тілді өңдеу, тақырыптық модельдеу, болжамдық аналитика.

*M. K. Serikov

Eurasian technological university, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 21.07.25.

Received in revised form 22.10.25.

Accepted for publication 15.12.25.

ANALYSIS OF STUDENTS' DIGITAL FOOTPRINTS USING UNSTRUCTURED INFORMATION PROCESSING METHODS

Modern digital transformation in education opens new opportunities for improving students' academic performance through the analysis of digital footprints. These footprints – generated through interactions with learning platforms, messengers, and social media – contain large volumes of unstructured data. By applying intelligent data analysis methods and natural language processing (NLP) techniques, it becomes possible to identify patterns of learning behavior and indicators influencing academic outcomes.

This study aims to develop a predictive model of academic performance based on intelligent analysis of students' digital footprints extracted from unstructured textual data. The methodology includes topic modeling (LDA) [1, p. 75–82], sentiment analysis [2, p. 131–132], text vectorization (TF-IDF, Word2Vec) [3, p.28], and machine learning algorithms (gradient boosting, logistic regression). The empirical dataset is drawn from students of a Kazakhstani university using the Moodle LMS and educational Telegram channels [4, p. 180].

Results demonstrate that integrating semantic and behavioral features enables prediction accuracy exceeding 85 % with ensemble models. This methodology is suitable for early detection of at-risk students and for adapting learning trajectories. However, the study is limited by ethical considerations and data confidentiality constraints [5, p. 785–788].

The proposed approach can be applied within recommendation systems and academic monitoring modules of educational platforms. Future research should explore the use of multimodal data and neural network architectures.

Keywords: students' digital footprints, academic performance, unstructured information, educational analytics, machine learning, natural language processing, topic modeling, predictive analytics.

***Д. Ж. Хабсихова¹, Ұ. Ж. Айтимова², А. У. Есиркепова³,
Г. Ж. Өтеген⁴, Т. Т. Каракеев⁵**

^{1,2}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

^{3,4}Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті,
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

⁵Ж. Баласағұни атындағы Қырғыз ұлттық университеті,
Қырғыз Республикасы, Бішкек қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6759-3211>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0803-7137>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3219-3022>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2490-9385>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4346-0894>

*e-mail: dilnaz.zhansikh@bk.ru

ТУРИСТІК НЫСАНДАРДЫ ТАНУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ

Мақалада Қазақстандағы туризм саласын цифрландыру үдерісі мен қазіргі таңда өзекті болып есептелетін жасанды интеллект технологияларын туризм саласымен байланыстыру мәселелері, атап айтқанда, жасанды интеллект технологияларын енгізудің ғылыми-теориялық негіздері қарастырылып, жасанды интеллектке негізделген туристік нысандарды тану жүйесін әзірлеу нәтижелері ұсынылады. Зерттеу барысында кескіндерді өңдеуге бағытталған заманауи архитектуралар сарапталды. Олардың ішінен MobileNet моделі есептеу дәлдігі есебінен оңтайлы шешім ретінде таңдалып, оның классификация дәлдігін арттыру үшін Support Vector Machine (SVM) әдісімен біріктірудің теориялық негізі қарастырылды. Тәжірибелік бөлімде жүйенің бастапқы прототипі жасалып, туристік нысандар бейнелерінің визуалды сипаттамалары мен тану дәлдігі арасындағы өзара байланыс корреляциялық талдау арқылы бағаланды. Алынған нәтижелер кескін сапасы, жарықтық және контраст параметрлері тану дәлдігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті ($r = 0.82$ дейін). Зерттеу нәтижелері туристік нысандарды автоматты тану жүйесін одан әрі жетілдірудің ғылыми негізін қалыптастыра отыра, оның қолданбалы әлеуетін

кеңейтуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, отандық туризм саласында цифрлық шешімдерді енгізудің тиімділігін негіздеп қана қоймай, болашақта жаңа буын смарт-жүйелерді құруға ғылыми-әдістемелік база ретінде қызмет ете алады.

Кілтті сөздер: цифрлық туризм, жасанды интеллект, туристік нысандарды тану, MobileNet, Support Vector Machine (SVM), кескіндерді өңдеу, корреляциялық талдау.

Кіріспе

Әлемде белең алып жатырған жасанды интеллект жай ғана ақпараттық технологияның маңызды бір бағыты ретінде ғана емес, сонымен қатар елдердің жаһандық бәсекеге қабілеттілігін айқындайтын негізгі факторлардың біріне айналып отыр. Еліміз үшін де аталмыш технологияның алар орны зор: жасанды интеллект технологиялары ұлттық экономиканың өнімділігін арттыру арқылы цифрлық инфрақұрылымды ілгерілетіп, инновациялық дамуға жол ашады. 2025 жылғы 8 қыркүйектегі Қазақстан Республикасы Президентінің Жолдауында жасанды интеллектке, цифрлық платформаларға және ұлттық деректер инфрақұрылымына ден қою арқылы мемлекеттік басқару, білім беру, денсаулық сақтау және туризм салаларына енгізу міндеті қойылды. Жолдау еліміздің инновацияға деген ұмтылысын нығайтып, отандық IT-жобаларды қолдауға, сондай-ақ туризм сынды маңызды салаларда жаңа технологиялық шешімдерді енгізуге мүмкіндік береді [1].

Ғылыми еңбекте көрсетілгендей, туризм индустриясында жасанды интеллект пен қызметті автоматтандыру тұтынушылардың тәжірибесін жақсарту, қызмет сапасын арттыру және операцияларды оңтайландыруға мүмкіндік жасайды [2]. Дегенмен, еліміздің бай табиғи және мәдени әлеуетіне қарамастан туристік салада жасанды интеллект технологияларының жүйелі қолдану тәжірибесі шектеулі. Осы тұрғыда ұсынылып отырған жасанды интеллект негізіндегі туристік нысандарды тану жүйесі бұл процестерді жаңа деңгейге көтеруді көздейді. Сонымен қатар, қолданушылардың қажеттіліктеріне бейімделген дербестендірілген тәжірибе ұсына отырып, нысандарды нақты уақытта тану, ақпарат беру және ең қолайлы бағыттарды ұсыну мүмкіндіктерін біріктіреді.

Зерттеу нысаны – жасанды интеллект негізінде туристік нысандарды тану жүйесі, ал зерттеу пәні – Қазақстандағы туризмді дамыту контекстіндегі жүйенің құрылымы мен әдістері.

Зерттеу мақсаты – жасанды интеллект әдістерін қолдану арқылы туристік нысандарды тану жүйесін ғылыми негіздеу. Бұл мақсатқа жету үшін жүйенің архитектурасын жобалау, деректерді жинау мен өңдеу әдістерін

анықтау, сондай-ақ жасанды интеллект алгоритмдері мен модельдерін біріктіру арқылы автоматты тану мүмкіндіктерін көрсету көзделеді. Туризм саласында компьютерлік көру мен машиналық оқыту технологияларын қолдану қазіргі цифрлық трансформация тенденцияларын айқын көрсетеді [3; 4].

Зерттеу әдістемесі нысандардың бейнелік деректерін жинау және өңдеуді, MobileNet нейрондық желісі архитектурасы мен SVM классификаторы интеграциясын, сондай-ақ сурет белгілері мен тану нәтижелері арасындағы корреляциялық талдауды қамтиды.

Зерттеудің өзектілігі туристік нысандарды тану жүйелерінде жасанды интеллект технологияларын қолдану мүмкіндіктерінің Қазақстан жағдайында жеткілікті түрде зерттелмеуінен туындайды. Сол себепті, туристік нысандарды тануда Қазақстан контекстін ескеретін кешенді тәсілді ұсыну: локальды деректер жинағы, MobileNet + SVM комбинациялық моделі және визуалды белгілердің тану дәлдігіне әсерін корреляциялық талдау зерттеу жаңалығын ашады. Яғни, тәжірибелік маңыздылығы тұрғысынан жүйе қызметтерді автоматтандыруға және «ақылды» туризмді дамытуға септігін тигізеді.

Аталмыш шешім тек ақпаратты ұсынумен шектелмей, пайдаланушының мінез-құлқын, қызығушылықтарын талдап, олар үшін ең тиімді туристік маршруттар құруға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл Қазақстандағы туризм инфрақұрылымын интеллектуалдандыруға үлес қосып қана қоймай, елдің мәдени және табиғи мұраларын жаңа форматта танытуға жол ашады. Нәтижесінде туристер үшін ыңғайлы, тартымды әрі заманауи цифрлық орта қалыптасып, саланың бәсекеге қабілеттілігі артады.

Материалдар мен әдістері

Туристік нысандарды тануға арналған интеллектуалды жүйені жобалау барысында әдістемелік және технологиялық шешімдерді негіздеу ерекше мәнге ие. Туризм саласының қазіргі ахуалы мен оның даму үрдістері көрсеткендей, Қазақстандағы цифрлық туризм жүйелері әлі де жетілдіруді қажет етеді және интеллектуалды шешімдер енгізу өзектілігін жоғалтпайды. Сондықтан осы тарауда туристік нысандарды тану міндетін тиімді шешуге мүмкіндік беретін жасанды интеллект әдістерін таңдау, деректерді дайындау стратегиялары, қолданылатын технологиялық платформалар мен пайдаланушы интерфейстері қарастырылады. Ұсынылған кешенді тәсілдер тек қана техникалық дәлдікті емес, сонымен қатар жүйенің қолданбалы құндылығын қамтамасыз етуі тиіс [5].

Жүйені жобалау кезеңінің бастапқы сатысында жасанды интеллект әдістерін сараптап, ең қолайлысын анықтау міндеті қойылды. Бұл кезеңде модельдің дәлдігі, есептеу күрделілігі, ресурсты пайдалану тиімділігі,

сондай-ақ мобильді және веб-платформаларда жұмыс істеуге икемділігі қатаң талап ретінде қарастырылды. Әдеби дереккөздерге жасалған шолу нәтижесінде бірнеше ықтимал архитектуралар талқыланып, олардың ішінде ResNet, EfficientNet, VGG және Vision Transformer сияқты кеңінен таралған модельдер салыстырмалы түрде талданды. Аталған модельдер үлкен деректер жиынтықтарында жоғары дәлдік көрсеткенімен, олардың параметрлер санының көптігі және есептеу күрделілігі мобильді құрылғыларда нақты уақыт режимінде жұмыс істеуді шектейді. Мәселен, ResNet архитектурасы тереңдікті тиімді үйреніп, күрделі көріністерді тануда жоғары нәтиже берсе де, оның ресурстық қажеттіліктері жоғары. Vision Transformer модельдері семантикалық ақпаратты өңдеуде озық мүмкіндіктерге ие, алайда олардың үлкен көлемдегі деректерді талап етуі мобильді интеграцияны қиындатады [6; 7].

Осы факторларды саралай отырып, MobileNet архитектурасы оңтайлы шешім ретінде анықталды. Оның негізгі артықшылығы – жеңіл салмақты құрылымы мен есептеу ресурстарына төмен талап қоя отырып, жеткілікті дәлдік көрсетуі. Параметрлерді оңтайландыру тәсілі болып табылатын depthwise separable convolution қолдану арқылы модельдің параметрлер саны едәуір қысқарып, жұмыс жылдамдығы арттырылады [8]. Мұндай сипаттамалар туристік нысандарды тану жүйесінің пайдаланушылық талаптарын қанағаттандыруға толықтай мүмкіндік береді.

Жіктеу модулін жобалау барысында дәстүрлі softmax функциясының орнына SVM (Support Vector Machine) әдісін қолдану қарастырылды. Зерттеулер көрсеткендей, SVM шағын көлемді деректер жиынтықтарында да тұрақты және дәл нәтижелер береді, сонымен қатар сыныптар арасындағы шешімдік шекараларды нақтырақ құрастырады. Оған қоса, гипержазықтық арқылы сыныптар арасындағы шекараны нақты анықтап, күрделі фондық шу жағдайында жалған позитивтердің санын азайтады. Softmax классификаторлары теңгерімсіз деректерде жалған жіктеулер санын арттыруы мүмкін болса, ал SVM бұл тәуекелдер санын азайтып, модельдің жалпылау қабілетін күшейтеді. Нәтижесінде, MobileNet пен SVM үйлесімі модельдің дәлдігі мен жылдамдығы арасындағы оңтайлы компромисті қамтамасыз етіп, туризм саласында практикалық тұрғыдан қолдануға лайықты интеллектуалды жүйе құруға мүмкіндік береді [9].

Жасанды интеллект жүйесінің сапасы ең алдымен деректер жиынтығының сапасына тәуелді. Осы себепті деректер жиынтығын қалыптастыру кезеңінде туристік нысандардың кескіндерін әртүрлі дереккөздерден алу ұсынылады: ашық дереккөздер, туристік порталдар, әлеуметтік желілер және авторлық фотосуреттер. Бұл әртүрлілік болашақта модельдің шынайы ортада сенімді жұмыс істеу қабілетін қамтамасыз ету үшін маңызды.

Алынатын деректерді өңдеу стратегиясы ғылыми тұрғыдан негізделген және модельдің жалпылау қабілетін арттыруға бағытталған. Деректерді өңдеудің келесі аспектілері – суреттерді стандарттау, жарықтық пен контрастты теңестіру, сапасы төмен немесе қайталанатын кескіндерді шектеу – жүйенің ғылыми тұрғыдан жұмыс істеу дәлдігін қамтамасыз ететін маңызды әдістемелік негіз ретінде қарастырылады. Сонымен қатар, Data Augmentation әдістерін енгізу концептуалды тұрғыдан модельдің әртүрлі сыртқы жағдайларға бейімделу қабілетін арттыруға бағытталған, оның ішінде кескіндерді бұру, масштабтау, шу қосу және жарықтықты өзгерту операциялары теориялық тұрғыдан талданады [10; 11]. Мұндай тәсіл оверфитинг ықтималдығын төмендетуге және модельдің жаңа деректерде сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге ықпал етеді.

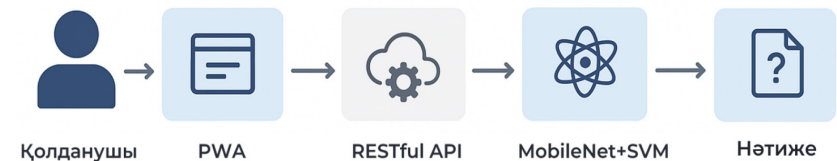
Жүйенің интерфейсін PWA технологиясы ретінде таңдау пайдаланушы тәжірибесін оңтайландыруға бағытталған ғылыми тұрғыдан негізделген шешім болып табылады. PWA кроссплатформалық жұмыс, офлайн-доступ мүмкіндігі, жеңіл орнату және жаңарту қажеттілігінің болмауы сынды артықшылықтарға ие, бұл оны қолданушылар үшін, әсіресе шектеулі интернет қолжетімділігі жағдайында, ыңғайлы етеді [12].

Жасанды интеллект әдістерін және деректерді дайындау стратегияларын айқындау жүйенің тиімділігін арттырып қана қоймай, оның функционалдық сапасын қалыптастыратын алғышарттардың бірі. Бұл кезеңде орындалатын шешімдер тек ағымдағы талаптарды қанағаттандырып қоймай, болашақта жүйенің тұрақтылығы мен кеңейтілу әлеуетін қамтамасыз етеді. Сонымен бірге, таңдалған әдістердің өзара үйлесімділігі жүйенің жалпы архитектурасында синергетикалық әсер туғызады. Нәтижесінде алынған тәсілдер кешені интеллектуалды жүйенің өнімділігін жоғарылатып қана қоймай, оның тәжірибелік қолданылу потенциалы кеңейеді.

Ақпараттық жүйелердің тиімділігі олардың архитектуралық құрылымына және жұмыс істеу алгоритмінің ғылыми тұрғыдан дұрыс құрылуына тікелей байланысты. Интеллектуалды туристік нысандарды тану жүйесін жобалау барысында деректерді өңдеу, модельдеу және нәтижені пайдаланушыға ыңғайлы түрде жеткізу сатылары кешенді түрде қарастырылуы қажет. Осыған байланысты ұсынылып отырған жүйенің архитектуралық үлгісі, оның негізгі компоненттері мен өзара байланысы сипатталаатын болады. Сонымен қатар, жұмыс істеу алгоритмі кезең-кезеңімен талданып, жүйенің сенімділігі мен түсіндірілетін жасанды интеллект қағидаттарына сәйкестігі айқын көрсетіледі.

Жүйе көпдеңгейлі архитектураға ие және ақпаратты енгізуден бастап соңғы нәтижені алуға дейін деректерді өңдеудің толық циклін қамтамасыз етеді. 1-суретте бейнеленген архитектура өзара байланысқан бірнеше

компоненттен тұрады, олардың әрқайсысы жалпы процестегі белгілі бір функцияларды орындайды.

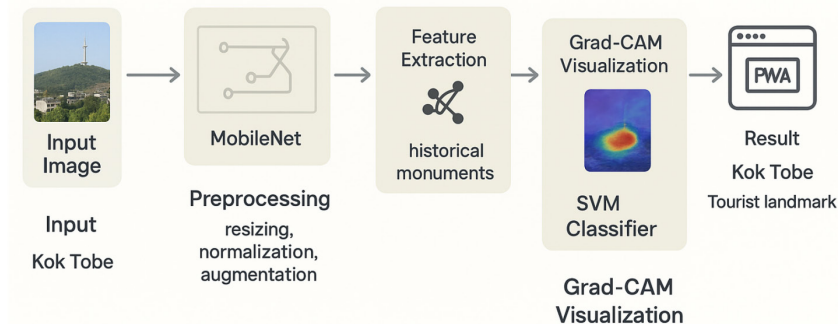


1-сурет – Интеллектуалды жүйенің архитектуралық құрылымы

Қолданбалы деңгейде пайдаланушы интерфейсі орналасқан. Ол прогрессивті веб-қосымша (PWA) түрінде жүзеге асырылған. Мұндай тәсіл кроссплатформалықты, пайдаланудағы қолайлылықты және шектеулі ресурстар жағдайында жұмыс істеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Қолданушы енгізген деректер (мысалы, нысанның бейнесі) интерфейс арқылы қабылданып, RESTful API көмегімен жүйенің серверлік бөлігіне жіберіледі. Серверлік модуль жүйенің орталық бөлігі болып табылады және ақпаратты талдау мен интерпретациялаудың негізгі міндеттерін орындайды. Алғашқы кезеңде MobileNet нейрондық желісі қолданылады, ол бейнелерден информативті белгілерді бөліп алуға мүмкіндік береді және есептеу ресурстары шектеулі жағдайда тиімді жұмыс істейді. Келесі кезеңде алынған белгілерге сүйене отырып, қолдаушы векторлар әдісіне (SVM) негізделген классификатор объектіні белгілі бір санатқа жатқызу туралы соңғы шешімді қабылдайды.

Талдау нәтижелері құрылымдалған түрде қайтадан пайдаланушы интерфейсі арқылы жеткізіледі. Осылайша, жүйе өңдеу циклін толық аяқтайды. Мұндай тәсіл туристік нысандарды тану дәлдігін арттырып қана қоймай, сонымен қатар жүйенің тиімділігін сақтауға мүмкіндік береді.

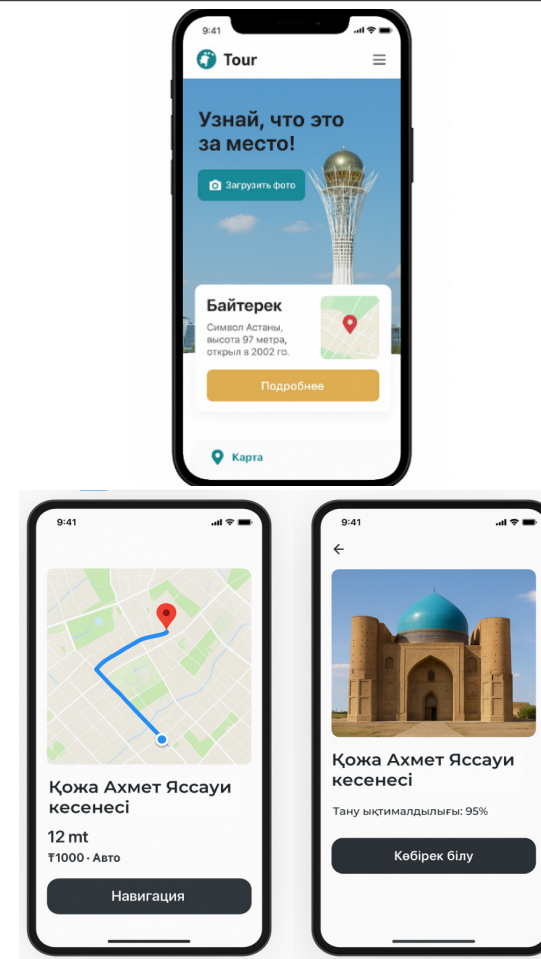
Жасанды интеллект жүйелерінде тек нәтижеге ғана көңіл бөлу жеткіліксіз, сол себепті модельдің шешім қабылдау логикасын түсіндіру де ерекше маңызға ие. Осы міндетті жүзеге асыру үшін 2-суретте көрсетілген Grad-CAM әдісі қолданылады, ол жүйенің белгілі бір туристік нысанды қандай бейнелік ерекшеліктер арқылы танығанын визуалды түрде айқындап беруге мүмкіндік береді.



2-сурет – Grad-CAM әдісі арқылы бейнелерді түсіндірмелі талдау нәтижесі

Мұндағы суретте Көк-Төбе нысаны енгізілген кезде, MobileNet нейрондық желісі алдымен бейнеден негізгі белгілерді бөліп алады да, кейін SVM классификаторы осы белгілерді пайдаланып соңғы шешім шығарып, объектіні нақты санатқа жатқызады. Grad-CAM әдісі осы процестің нәтижесінде модель назарын шоғырландырған аймақтарды жылулық карта (heatmap) түрінде бейнелейді. Мұндай тәсіл жасанды интеллект жүйесінің сенімділігін арттырып қана қоймай, шешім қабылдау механизмінің ашықтығын қамтамасыз етіп, пайдаланушыға модельдің жұмыс істеу логикасын түсіндіруге жағдай жасайды [13].

Жүйенің қолданушымен өзара әрекеттесу компоненті интерфейс прототиптері арқылы 3-суретте ұсынылған. Бұл суретте негізгі бет, маршруттық карта және туристік нысанды тану нәтижесін бейнелейтін экран көрсетілген.



3-сурет – Жүйенің пайдаланушы интерфейсінің прототиптері

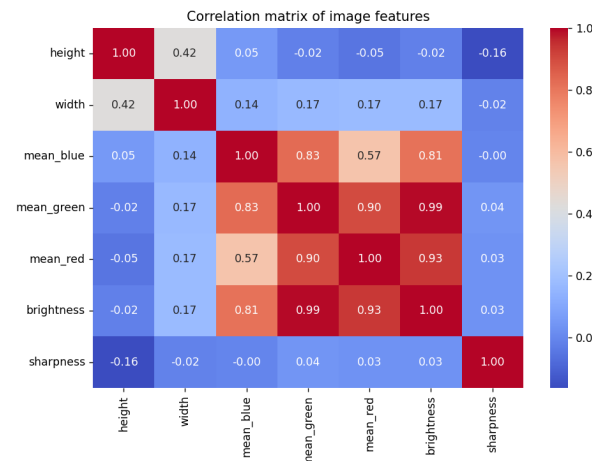
Негізгі бетте қолданушыға іздеу функциясын немесе сурет жүктеу мүмкіндігін пайдалану қарастырылған. Маршруттық карта объектіге дейінгі бағытты, жүру уақытын және қолжетімді көлік нұсқаларын ұсынады. Ал тану нәтижесі экранында анықталған туристік нысанның атауы, қысқаша сипаттамасы және Grad-CAM әдісі негізінде алынған визуализация көрсетіледі. Мұндай интерфейс пайдаланушының тәжірибесін жетілдіріп қана қоймай, жүйенің қолданбалы құндылығын арттыруға мүмкіндік береді.

Жүйенің архитектурасы, шешім қабылдау логикасын түсіндіру тетіктері және қолданушымен өзара әрекеттесу интерфейстері қарастырылған талдау нәтижесінде, жасалған үлгі туристік нысандарды тану міндетін кешенді түрде шешуге қабілетті екендігі айқындалды. Архитектураның көпдеңгейлі ұйымдастырылуы деректерді жинау, өңдеу, модельдеу және нәтижені жеткізу кезеңдерінің бірізділігін қамтамасыз етіп, туристік нысандарды тану міндетін сенімді түрде орындауға жағдай жасайды. Сонымен бірге, Grad-CAM әдісін қолдану модельдің шешім қабылдау логикасын визуалды тұрғыда түсіндіруге мүмкіндік беріп, жасанды интеллект жүйесінің ашықтығы мен сенімділігін күшейтеді. Бұл тәсіл пайдаланушыға алынған нәтижелердің негізділігін түсінуге жағдай жасап қана қоймай, заманауи «түсіндірмелі жасанды интеллект» қағидаттарына толық сәйкес келеді [14].

Қолданушы интерфейсінің прототиптері арқылы жүйенің практикалық құндылығы нақтыланып, басты функционалдық мүмкіндіктер айқындалды. Негізгі бет, маршруттық карта және тану нәтижесін бейнелейтін экрандар пайдаланушы тәжірибесін жетілдіруге бағытталған, соның арқасында жүйенің қолданыстағы тиімділігі арта түседі. Жасалған архитектуралық шешімдер мен интерфейстік тәсілдер интеллектуалды туристік жүйелерді дамытудағы өзекті ғылыми бағыттарды айқындап, болашақта кең ауқымды қолданбалы зерттеулерге негіз бола алады.

Нәтижелер және талқылау

Туристік объектілердің кескіндері бойынша жүргізілген талдау нәтижелері тану дәлдігіне өз септігін тигізеді. Атап айтқанда, кескіндер арасындағы заңдылықтарды анықтау, олардың топтарын белгілеу арқылы алынған нәтижелер туристік объектілерді тану интеллектуалды жүйесінің архитектуралық және алгоритмдік шешімдерін ғылыми тұрғыдан негіздеуге мүмкіндік береді [15; 16]. Кескіндердің негізгі визуалды белгілері арасындағы байланыстарды сипаттау үшін корреляциялық талдау жүргізілді. 4-суретте зерттелген кескіндердің негізгі белгілері арасындағы өзара байланыс көрсетілген.



4-сурет – Кескіндердің белгілері бойынша корреляциялық матрица

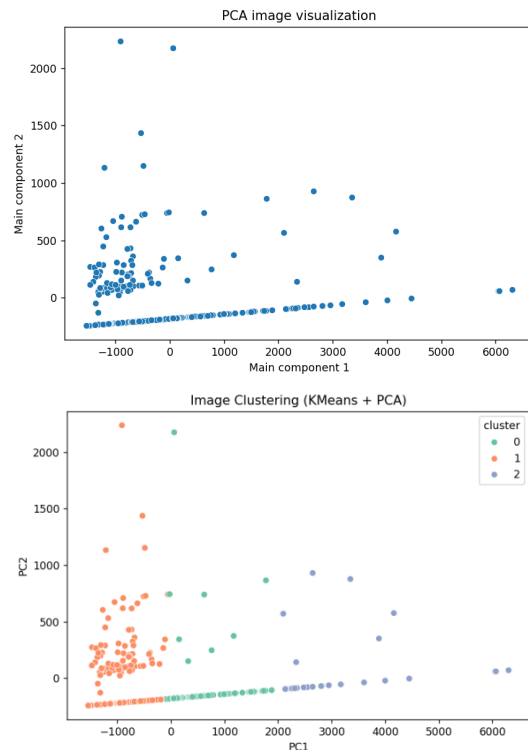
Талдау нәтижелерінен қызыл, жасыл және көк түстік арналары арасындағы жоғары деңгейдегі оң корреляцияны байқауға болады (r шамамен 0.9). Бұл олардың жарықтық сипаттамаларға тәуелділігін білдіріп, өзара тығыз байланысты дәлелдейді. Бұдан бөлек, жарықтылық көрсеткіші жасыл және қызыл арналарымен өте жоғары корреляцияға ие ($r \approx 0.99$), яғни кескіннің жалпы жарықтығы негізінен осы арналар арқылы анықталады. Ал өлшем параметрлері – кескіннің биіктігі мен ені арасында орташа байланыс бар ($r \approx 0.42$), бірақ олар түстік белгілерге әсері әлсіздеу. Айқындық көрсеткішінің өзге белгілермен байланысу деңгейі тіптен байланыссыз деуге келеді ($r \approx 0$).

Жалпы алғанда, корреляция нәтижесі кескіндер арасындағы негізгі айырмашылықтар түстік пен жарықтылық сипаттамаларына тікелей байланысты екенін, ал өлшемдер мен айқындық параметрлері едәуір әсер етпегенімен, екінші деңгейлі рөл атқаратынын көрсетті.

Корреляциялық талдаудың нәтижелері негізінде кескіндердің құрылымдық өзара ұқсастығын және олардың кеңістіктікте орналасуын сипаттау үшін PCA негізгі компоненттер талдауы және K-Means әдістері қолданылды.

5-суретте кескіндердің басты компоненттері бойынша таралуы мен олардың әр түрлі кластерлерге бөліну нәтижесі бейнеленген. Мұндағы сол жақ бөлікте орналасқан PCA әдісі көпөлшемді кеңістікте деректердің таралуын сипаттайды. Яғни, тығыз орналасқан нүктелер тобы бір-біріне ұқсас болған суреттердің шоғырланған аймағын көрсетсе, шеткі бөліктерінде

пашыраңқы орналасқан нүктелер тобы шамадан тыс қараңғы немесе керісінше тым жарық сынды қасиеттерге ие суреттер. Осылайша, деректердің ішкі құрылымы сипатталып, басты факторлардың айқындалуы келесі кезеңдегі кластерлеу процесінің теориялық негізін қалады.



5-сурет – PCA және K-Means әдістерінің визуализациясы

Оң жақ бөлікте орналасқан графикте алдын ала PCA әдісі арқылы өлшемі азайтылған деректер үш негізгі топқа бөлінген: көк түспен бейнеленген жарықтылықтағы әрі айқындық деңгейі жоғары болған 0-кластер, жарықтылығы төмен және түсі қою болған қызғылт сары түсті 1-кластер және де жарықтылығы жоғары әрі түстері қанық фотосуреттерден тұратын жасыл түсті 2-кластер. Талдау барысында 1-кластер кескіндерінің тану дәлдігі төмендеуі екені әрі жасыл түсті 2-кластер кескіндерінің модельмен дәлірек танылу заңдылықтары байқалды. Сайып келгенде, кластерлеу нәтижелері

кескіндерді сапалық тұрғыдан айқындап, олардың тану процесіне әсер ететін негізгі факторларын анықтауға мүмкіндік берді.

Жүргізілген корреляциялық талдау, PCA және K-Means әдістерін біріктіре қолдану болашақта туристік нысандарды тану жүйесін жетілдірудің маңызды бағыттарына жол ашады. Алынған нәтижелер туристік нысандарды тану моделін жетілдіру кезінде кескіннің жарықтылығы мен түстік теңгерімін оңтайландырудың маңыздылығын дәлелдей отыра, болашақта туристік нысандарды тану жүйесін жетілдірудің маңызды бағыттарына жол ашады.

Ұсынылып отырған туристік нысандарды тануға арналған жүйе – Қазақстанның цифрлық туризм саласындағы келешегі зор бастамалардың бірі ретінде қарастырылады. Жүйе арқылы пайдаланушы фотосурет жүктейді, ал жасанды интеллект сол нысанды автоматты түрде анықтап, оған қатысты ақпарат, туристік бағыттар, турлар, және жасанды интеллект көмекшінің кеңестерімен қамтамасыз етеді.

Болашақта бұл жүйе тек нысанды танумен шектелмей, пайдаланушының қалауын ескере отырып, жекешелендірілген маршруттар, нақты уақыттағы навигация, мәдени іс-шаралар туралы хабарламалар және аудио-гидтер ұсынатын кешенді цифрлық көмекшіге айналуы мүмкін. Мұндай шешімдер қазіргі заманғы цифрлық өнімдерге қойылатын негізгі талаптарға – икемділік, қолжетімділік және пайдаланушыға бағдарлану – толық жауап береді.

Сонымен қатар, жүйе Қазақстандағы аз зерттелген немесе кеңінен танымал емес туристік нысандардың танымалдылығын арттыруға, аймақтық туризмді дамытуға ықпал етеді. Бұл өз кезегінде өңірлік экономикаға да оң әсерін тигізуі мүмкін. Пайдаланушы тәжірибесін оңтайландыру, жүйенің дизайнын жетілдіру және әлеуметтік платформалармен интеграциялау арқылы бұл жүйе әлеуметтік коммерция элементтерін қамтитын заманауи құрал ретінде қалыптасуы ықтимал [5].

Қорытынды

Жасанды интеллект негізіндегі туристік нысандарды тану жүйесі Қазақстандағы цифрлық туризмді дамытудың өзекті әрі перспективалы бағыты болып табылады. Жүргізілген зерттеу жұмысы жасанды интеллектінің ел туризмінде қолданылу әлеуетін жан-жақты қарастыруға, сондай-ақ туристік нысандарды тануға арналған интеллектуалды жүйенің концептуалды жобасын ұсынуға бағытталды. Бұл өз кезегінде туристердің тәжірибесін жақсартып қана қоймай, аймақтық туризмді басқару, инфрақұрылымды жоспарлау және ұлттық туристік өнімнің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға септігін тигізеді.

Қазақстан үшін бұл жүйе тек туристік бағытта ғана емес, мәдени мұраларды қорғайтын, білім беру саласында, смарт-қалалар контекстінде қолданылуы мүмкін. Осы тұрғыда, жүйенің потенциалы кең әрі көпсалалы.

Президентіміздің 2025 жылғы 8 қыркүйектегі Қазақстан халқына Жолдауында жасанды интеллект пен цифрлық технологиялардың ұлттық дамудағы рөлі ерекше атап өтілді. Осы тұрғыда, аталмыш жүйе – мемлекеттің цифрлық даму стратегиясына нақты үлес қосатын жобалардың бірі бола алады [1]. Сондықтан да бұл зерттеу еліміздегі цифрлық туризмді жаңғыртуға арналған нақты қадамдардың бірі ретінде бағалануы тиіс.

Осылайша, жасанды интеллектке негізделген туристік нысандарды тану жүйесі Қазақстандағы туризмді жаңа сапалық деңгейге көтеріп қана қоймай, елдің жалпы цифрлық даму стратегиясына да сәйкес келеді. Мұндай бастамалар ұлттық экономикаға ұзақ мерзімді оң әсер етіп, Қазақстанды халықаралық аренада жаңа технологиялық орталық ретінде көрсетуге ықпал етпек.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Тоқаев, Қ.-Ж.** ҚР Президентінің Жолдауы [Текст] // Астана, 2025 жылғы 8 қыркүйек.
- 2 **Sousa, A. E., Cardoso, P., Dias, F.** The Use of Artificial Intelligence Systems in Tourism and Hospitality: The Tourists' Perspective [Текст] // Administrative Sciences. – 2024. – 14(8) : 165.
- 3 **Kontogianni, A., Alepis, E., Virvou, M., Patsakis, C.** Smart Tourism – The Impact of Artificial Intelligence and Blockchain [Текст] // Cham : Springer, 2024. – ISBN 978-3-031-50882-0.
- 4 **Collins, A., Ali, S. A., Yilmaz, S.** AI-Generated Future: What Awaits Tourism and Hospitality with AI-Based Deep Learning Technologies [Текст] // In: Berezina, K., Nixon, L., Tuomi, A. (eds.) Information and Communication Technologies in Tourism 2024. – Cham : Springer, 2024.
- 5 **López-Naranjo, A. L., García, J. A.** Artificial Intelligence in the Tourism Business: A Systematic Review [Текст] // Journal of Tourism Research. – 2025.
- 6 **Yu, Z., Wang, S.** Smart Tourism Route Planning System Based on Machine Learning Algorithm [Текст] // Scientific Programming. – 2022.
- 7 **Tang, C., Zhang, L. L., Jiang, H., Xu, J., Cao, T., Zhang, Q., Yang, Y., Wang, Z., Yang, M.** ElasticViT: Conflict-aware Supernet Training for Deploying Fast Vision Transformer on Diverse Mobile Devices [Preprint]. – 2023.
- 8 **Tu, C.-H., Lee, J.-H., Chan, Y.-M., Chen, C.-S.** Pruning Depthwise Separable Convolutions for MobileNet Compression [Conference proceedings] // Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. – 2020.
- 9 **Ogundokun, R. O., Misra, S., Akinrotimi, A. O., Ogul, H.** MobileNet-SVM: A Lightweight Deep Transfer Learning Model to Diagnose BCH Scans for IoMT-Based Imaging Sensors [Текст] // Sensors. – 2023. – 23(2) : 656.

- 10 **Knani, M., Ben Ali, M.** Artificial Intelligence in Tourism and Hospitality: Bibliometric Analysis and Research Agenda [Текст] // Tourism Management Perspectives. – 2022.
- 11 **Yang, S., Xiao, W., Zhang, M., Guo, S., Zhao, J., Shen, F.** Image Data Augmentation for Deep Learning: A Survey [Текст] // 2022.
- 12 **Esper, J. P., Zhang, Y.** Recommending Personalized Itineraries for Smart Tourism [Текст] // Computer Networks. – 2025.
- 13 **Górski, L., Ramakrishna, S., Nowosielski, J.** Towards Grad-CAM Based Explainability in a Legal Text Processing Pipeline [Текст] // 2020.
- 14 **Волков, Е. Н.** Оценка возможностей применения метода объяснительного ИИ Grad-CAM для интерпретации решений нейросетевой модели VGG-16 [Текст] // Электронный научный журнал. – 2024.
- 15 **Kim, J., Kang, Y.** Automatic Classification of Photos by Tourist Attractions Using Deep Learning Model and Image Feature Vector Clustering [Текст] // ISPRS Int. J. Geo-Inf. – 2022. – 11(4) : 245.
- 16 **Li, W., Hsu, C.-Y.** GeoAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography [Текст] // ISPRS Int. J. Geo-Inf. – 2022. – 11(7) : 385.

REFERENCES

- 1 **Toqaev, Q.-Zh.** Qazaqstan Respublikasy Prezidentiniń Zholdaıy [Address of the President of the Republic of Kazakhstan] [Text] // Astana, 8 September 2025
- 2 **Sousa, A. E., Cardoso, P., Dias, F.** The Use of Artificial Intelligence Systems in Tourism and Hospitality: The Tourists' Perspective [Текст] // Administrative Sciences. – 2024. – 14(8) : 165.
- 3 **Kontogianni, A., Alepis, E., Virvou, M., Patsakis, C.** Smart Tourism – The Impact of Artificial Intelligence and Blockchain [Текст] // Cham : Springer, 2024. – ISBN 978-3-031-50882-0.
- 4 **Collins, A., Ali, S. A., Yilmaz, S.** AI-Generated Future: What Awaits Tourism and Hospitality with AI-Based Deep Learning Technologies [Текст] // In: Berezina, K., Nixon, L., Tuomi, A. (eds.) Information and Communication Technologies in Tourism 2024. – Cham : Springer, 2024.
- 5 **López-Naranjo, A. L., García, J. A.** Artificial Intelligence in the Tourism Business: A Systematic Review [Текст] // Journal of Tourism Research. – 2025.
- 6 **Yu, Z., Wang, S.** Smart Tourism Route Planning System Based on Machine Learning Algorithm [Текст] // Scientific Programming. – 2022.
- 7 **Tang, C., Zhang, L. L., Jiang, H., Xu, J., Cao, T., Zhang, Q., Yang, Y., Wang, Z., Yang, M.** ElasticViT: Conflict-aware Supernet Training for Deploying Fast Vision Transformer on Diverse Mobile Devices [Preprint]. – 2023.

8 **Tu, C.-H., Lee, J.-H., Chan, Y.-M., Chen, C.-S.** Pruning Depthwise Separable Convolutions for MobileNet Compression [Conference proceedings] // Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. – 2020.

9 **Ogundokun, R. O., Misra, S., Akinrotimi, A. O., Ogul, H.** MobileNet-SVM: A Lightweight Deep Transfer Learning Model to Diagnose BCH Scans for IoMT-Based Imaging Sensors [Текст] // Sensors. – 2023. – 23(2) : 656.

10 **Knani, M., Ben Ali, M.** Artificial Intelligence in Tourism and Hospitality: Bibliometric Analysis and Research Agenda [Текст] // Tourism Management Perspectives. – 2022.

11 **Yang, S., Xiao, W., Zhang, M., Guo, S., Zhao, J., Shen, F.** Image Data Augmentation for Deep Learning: A Survey [Текст] // 2022.

12 **Esper, J. P., Zhang, Y.** Recommending Personalized Itineraries for Smart Tourism [Текст] // Computer Networks. – 2025.

13 **Górski, Ł., Ramakrishna, S., Nowosielski, J.** Towards Grad-CAM Based Explainability in a Legal Text Processing Pipeline [Текст] // 2020.

14 **Волков, Е. Н.** Оценка возможностей применения метода объяснительного ИИ Grad-CAM для интерпретации решений нейросетевой модели VGG-16 [Текст] // Электронный научный журнал. – 2024.

15 **Kim, J., Kang, Y.** Automatic Classification of Photos by Tourist Attractions Using Deep Learning Model and Image Feature Vector Clustering [Текст] // ISPRS Int. J. Geo-Inf. – 2022. – 11(4) : 245.

16 **Li, W., Hsu, C.-Y.** GeoAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography [Текст] // ISPRS Int. J. Geo-Inf. – 2022. – 11(7) : 385.

15.11.25 ж. баспаға түсті.

18.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Д. Ж. Хабсихова¹, Ұ. Ж. Айтимова², А. У. Есиркепова³,

Г. Ж. Өтеген⁴, Т. Т. Каракеев⁵

^{1,2}Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана;

^{3,4}Кызылординский университет имени КORKYT ата, Республика Казахстан, г. Кызылорда;

⁵Кыргызский национальный университет имени Ж. Баласагына, Кыргызская Республика, г. Бишкек.

Поступило в редакцию 15.11.25.

Поступило с исправлениями 18.11.25.

Принято в печать 15.12.25.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАСПОЗНАВАНИИ ТУРИСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассматривается процесс цифровизации туристической отрасли Казахстана и вопросы интеграции технологий искусственного интеллекта с туристическим сектором, что сегодня является особенно актуальным. Представлены научно-теоретические основы внедрения технологий искусственного интеллекта, а также результаты разработки системы распознавания туристических объектов на основе ИИ. В ходе исследования были проанализированы современные архитектуры, ориентированные на обработку изображений. Среди них модель MobileNet была выбрана как оптимальное решение благодаря своей вычислительной эффективности. Для повышения точности классификации рассмотрена теоретическая основа объединения MobileNet с методом Support Vector Machine (SVM). В практической части создан первоначальный прототип системы, а взаимосвязь между визуальными характеристиками изображений туристических объектов и точностью распознавания была оценена с помощью корреляционного анализа. Полученные результаты показали, что качество изображения, освещённость и контрастность оказывают значимое влияние на точность идентификации (до $r = 0.82$). Результаты исследования формируют научную базу для дальнейшего совершенствования автоматизированной системы распознавания туристических объектов, расширяя её прикладной потенциал. Кроме того, материалы работы могут служить научно-методической основой для создания новых поколений смарт-систем, а также обосновывают эффективность внедрения цифровых решений в отечественную туристическую отрасль.

Ключевые слова: цифровой туризм, искусственный интеллект, распознавание туристических объектов, MobileNet, Support Vector Machine (SVM), обработка изображений, корреляционный анализ.

*D. Zh. Khabsikhova¹, U. Zh. Aitimova², A. U. Yessirkepova³,
G. Zh. Otegen⁴, T. T. Karakeev⁵

^{1,2}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana;

^{3,4}Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda;

⁵Kyrgyz National University named after J. Balasagyn, Kyrgyz Republic, Bishkek.

Received 15.11.25.

Received in revised form 18.11.25.

Accepted for publication 15.12.25.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TOURIST OBJECT RECOGNITION

The article examines the digitalization process of Kazakhstan's tourism industry and the integration of artificial intelligence technologies with the tourism sector, which is highly relevant today. It presents the scientific and theoretical foundations for implementing artificial intelligence technologies, along with the results of developing an AI-based tourist object recognition system. During the research, modern image-processing architectures were analyzed. Among them, the MobileNet model was selected as an optimal solution due to its computational efficiency. To improve classification accuracy, the theoretical basis for combining MobileNet with the Support Vector Machine (SVM) method was explored. In the practical section, an initial system prototype was developed, and the relationship between the visual characteristics of tourist object images and recognition accuracy was assessed using correlation analysis. The results demonstrated that image quality, brightness, and contrast significantly influence recognition accuracy (up to $r = 0.82$). The findings form a scientific foundation for further enhancing the automated tourist object recognition system, expanding its practical potential. Furthermore, the research can serve as a methodological basis for developing next-generation smart systems and substantiates the effectiveness of implementing digital solutions in Kazakhstan's tourism sector.

Keywords: digital tourism, artificial intelligence, tourist object recognition, MobileNet, Support Vector Machine (SVM), image processing, correlation analysis.

«ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ФИЗИКА» СЕКЦИЯСЫ

SRSTI 29.31.15

<https://doi.org/10.48081/OCZT8757>

*Zubeda Bhatti¹, Dr. Deedar Ali Jamro²

^{1,2}Shah Abdul Latif University, Pakistan, Khairpur, Sindh.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3765-7458>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3479-1498>

*e-mail: zubeda.bhatti@salu.edu.pk

RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES OFFER SUSTAINABLE SOLUTIONS TO ADDRESS THE GROWING DEMAND FOR POWER WHILE MITIGATING ENVIRONMENTAL IMPACT

Since everyone on the entire world needs more energy every day and the earth itself cannot change, the globe is quickly becoming into a global community. Energy and related services are becoming more and more necessary to support human well-being, health, and social and economic progress. Going back to renewables to help slow down climate change is a great idea, but it must be sustainable to fulfill future generations' energy demands. The study examined the advantages of renewable energy sources, such as energy security, energy access, social and economic advancement, mitigating the effects of climate change, and lessening the negative effects on the environment and human health. The sustainability of renewable energy sources for mitigating climate change is hampered by some issues, notwithstanding these opportunities. These difficulties include our daily carbon footprint, market failures, information gaps, and access to raw materials for the implementation of renewable resources in the future. In order to reduce emissions, combat climate change, and offer a clean environment and clean energy for present and future generations, the study proposed a number of policies and actions that, if taken into consideration, would assist realize the aim of renewable energy.

Keywords: Carbon footprint, Clean energy, climate change mitigation, renewable energy sources, environmental sustainability engineering.

Introduction

Since everyone on the planet needs more energy every day and the earth itself cannot change, the globe is quickly becoming into a global community. Energy and related services are becoming more and more necessary to support human welfare, health, and social and economic progress. Every society needs energy services to support creative activities and basic human requirements including movement, communication, cooking, lighting, health, and space comfort [1]. The energy sector's two biggest difficulties on the path to a sustainable future are securing the energy supply and reducing the energy sector's impact to climate change [2]. The fact that 1.4 billion people worldwide do not have access to electricity, and that 85 % of them reside in rural regions, is heartbreaking. As a result, it is anticipated that by 2030, there will be 2.8 billion rural communities depending on the traditional usage of biomass, up from the current 2.7 billion [3]. In history, the first known instance of commercial coal mining took place in 1,750, close to Richmond, Virginia. Because coal has a higher energy carrying capacity than comparable amounts of biomass-based fuels (charcoal and firewood), it briefly overtook other fuels as the favored fuel for steam engines. Notably, coal used to be a considerably cleaner and more affordable fuel in earlier times [4]. Global challenges related to a rapid increase in carbon dioxide (CO₂) emissions have arisen as a result of the dominance of fossil fuel-based power generation (Coal, Oil, and Gas) and an exponential population growth over the past few decades [5]. One of the biggest problems of the twenty-first century is the substantial shift in the climate. Efforts to change the current energy systems could still prevent its serious effects. In order to mitigate climate change, renewable energy sources have the potential to replace greenhouse gas emissions from fossil fuel-based power generation [6]. Many nations have made sustainable development the focal point of their most recent national policies, strategies, and development plans. The Open Working Group presented a list of global Sustainable Development Goals (SDGs) to the UN General Assembly in New York, which comprised 169 objectives and 17 goals. Furthermore, in March 2015, a draft set of 330 indicators was unveiled [7]. Compared to the Millennium Development Goals, the SDGs place a higher priority on and require more from the scientific community. A coordinated worldwide monitoring and modeling of several social, economic, and environmental elements is necessary to address climate change, renewable energy, food, health, and water provision [8]. When the world began to experience shock from oil producers in the form of price increases in the late 1990 s, research into alternative energy sources began [9]. The globe would gradually approach the concept of sustainability if fossil fuel-based energy sources were replaced with renewable energy sources, such as bioenergy, direct solar energy, geothermal energy, hydropower, wind, and ocean energy (tide and

wave). Because of the opportunities that have been created in recent decades to replace petroleum-derived materials from fossil fuel-based energy sources with alternatives in renewable energy sources, governments, intergovernmental organizations, interested parties, and individuals around the world look forward to achieving a sustainable future. In order to tackle climate change and its effects in the twenty-first century and to secure a sustainable future as a legacy for future generations, a set of global SDGs was recently introduced [10].

Against this backdrop, the study seeks to examine the potentials and trends of sustainable development with renewable energy sources and climate change mitigation, the extent to which it can help and the potential challenges it poses and how a shift from fossil to renewable energy sources is a sure way of mitigating climate change. To achieve this objective, concepts, techniques and peer-reviewed journals are analysed and reviewed judiciously. In light of this, the study aims to investigate the trends and potentials of sustainable development with renewable energy sources and climate change mitigation, as well as the potential benefits and drawbacks of each. It also aims to determine whether switching from fossil fuels to renewable energy sources is a surefire method of reducing climate change. Concepts, methods, and peer-reviewed publications are carefully examined and evaluated in order to accomplish this goal.

Renewable energy sources and sustainability

Bioenergy, hydropower, geothermal energy, solar energy, wind energy, and ocean (tide and wave) energy are examples of renewable energy sources that naturally replenish themselves without running out on the planet. Table 1 lists the primary types of renewable energy and their applications. According to Tester (2005), sustainable energy is «a dynamic harmony between the preservation of the earth for future generations and the equitable availability of energy-intensive goods and services to all people». In light of the world's expanding population and energy needs, fossil fuels (coal, oil, and gas) have been used indefinitely. This has led to a number of issues, including the depletion of fossil fuel reserves, greenhouse gas emissions and other environmental issues, geopolitical and military conflicts, and the ongoing fluctuations in fuel prices. These issues will lead to unsustainable circumstances that could ultimately endanger human societies irreversibly (UNFCC, 2015). However, according to Tiwari and Mishra [11], renewable energy sources are the best option and the only way to address the escalating problems. Ten years ago, it would have been impossible for renewable energy sources to account for twenty-two percent of global energy generation. Every economy needs a steady supply of energy for transportation, industrial equipment, lighting, heating, and other uses. When fossil fuels are substituted with renewable energy sources, greenhouse gas emissions are greatly reduced. Renewable energy sources should be sustainable since they are derived organically from continuous energy flows

in our environment. Renewable energy must be infinite and offer environmentally friendly products and services in order to be considered sustainable. For example, according to Twidell and Weir [12], a sustainable biofuel shouldn't raise net CO₂ emissions, negatively impact food security, or endanger biodiversity. Is that what's actually going on today? I suppose not. The discontinuity of generation due to seasonal variations is one of the drawbacks of renewable energy sources, despite their many advantages. This is because the majority of renewable energy sources are climate-dependent, which means that their exploitation necessitates sophisticated design, planning, and control optimization techniques. Thankfully, ongoing advancements in computer hardware and software are enabling scientists to address these optimization challenges with computational resources relevant to the field of sustainable and renewable energy [13].

Table 1 – Renewable energy sources and their use

Energy sources	Energy conversion and usage options
Hydropower	Power generation
Morden biomass	Heat and power generation, pyrolysis, gasification, digestion
Geothermal	Urban heating, power generation, hydrothermal, hot dry rock
Solar	Solar home systems, solar dryers, solar cookers
Direct solar	Photovoltaic, thermal power generation, water heaters
Wind	Power generation, wind generators, windmills, water pump
Wave and tide	Numerous design, barrage, tidal stream

Materials and methods

2.1. Climate change and renewable energy

The phrase «climate change» is currently very relevant to both scientific and political debates worldwide. Although the climate has been changing from the beginning of time, the rate of change in recent years is concerning and could be one of the hazards to the planet. According to Asumadu-Sarkodie and Owusu (2016)c, 2016f, the growth rate of carbon dioxide has accelerated over the last 36 years (1979–2014), «averaging about 1.4 ppm per year before 1995 and 2.0 ppm per year after». In accordance with the United Nations Framework Convention on Climate Change, climate change is defined as human activity that modifies the composition of the global atmosphere, either directly or indirectly, and results in variations in the natural climate over similar time periods. A major emphasis of worldwide climate debate for over ten years has been limiting global warming to less than 2 °C. Since 1850, the world's energy supply has been dominated by fossil fuels, which has caused carbon dioxide emissions to rise quickly. By the end of 2010, data showed that the majority of the world's anthropogenic greenhouse gas

(GHG) emissions were caused by the use of fossil fuels, with concentrations of these gases rising to over 390 parts per million (39 %) above preindustrial levels. Renewable technologies are regarded as clean energy sources, and their optimal use reduces environmental impacts, generates the least amount of secondary waste, and is sustainable given present and future social and economic demands. By replacing traditional energy sources (based on fossil fuels), renewable energy technologies offer a remarkable chance to mitigate greenhouse gas emissions and reduce global warming [14; 15; 16].

Results and discussion

3. Technology and renewable energy sources

The natural and continuous flow of energy that occurs in our immediate surroundings is the source of renewable energy. These consist of wind, hydropower, geothermal energy, bioenergy, direct solar energy, and ocean energy (wave and tide)

3.1. Hydropower

Utilizing water flowing from higher elevations to lower elevations, hydropower is a vital energy source that is mainly used to operate turbines and produce electricity. Hydropower projects come in a variety of project sizes and include run-of-river, in-stream, and dam projects with reservoirs. Technically, hydropower technologies are well-established, and their projects utilize a variety of resources. Hydropower reservoirs' various purposes, such as irrigation, drinking water, navigation, and flood and drought control, are frequently reflected in the way they operate. Gravity and the height at which the water falls onto the turbine supply the main energy. The primary purpose of hydropower, a vital energy source, is to turn turbines and produce electricity by using water flowing from higher elevations to lower ones. Hydropower projects range in size and include run-of-river, in-stream, and dam projects with reservoirs. The technology for hydropower is technically advanced, and its projects utilize a variety of resources. For instance, flood and drought control, irrigation, drinking water, and navigation are just a few of the purposes that hydroelectric reservoirs frequently demonstrate through their operations. The water's height as it falls onto the turbine and gravity supply the main energy.

3.1.1. Potential hydropower source

Although hydro power has a technical annual potential of 14,576 TWh and an estimated total capacity potential of 3,721 GW, its installed capacity worldwide is now much below its potential. China, Brazil, Canada, and the United States account for over half of the installed hydroelectric capacity, according to the World Energy Council Report. Climate change has the ability to impact hydro power's resource potential. The changes brought about by climate change to the current hydro power production system worldwide are predicted to be.

3.1.2 Environmental and socioeconomic impacts of hydro power:

Since hydropower generation doesn't emit greenhouse gases, it's sometimes referred to as a green energy source. However, it has both benefits and drawbacks. It boosts a nation's socioeconomic progress, but it also has a negative social impact because it forces many people to leave their homes to build it, even while they receive inadequate compensation. Flooding of the former natural environment results from the use of hydroelectric sites, such as artificially constructed reservoirs. Furthermore, water is extracted from lakes and watercourses and moved via channels over long distances, to pipelines, and ultimately to the turbines, which are frequently visible. However, they can also pass through mountains by digging tunnels inside of them. Hydroelectric structures affect river body's ecology, largely by inducing a change into its hydrologic characteristics and by disturbing the ecological continuity of sediment transport and fish migration through the building of dams, dikes and weirs. In countries where substantial plants or tree covers are flooded during the construction of a dam, there may be formation of methane gas when plants start rotting in the water, either released directly or when water is processed in turbines.

3.2. Bioenergy:

A renewable energy source that comes from biological sources is called bioenergy. An essential energy source, bioenergy can be utilized for cooking, heating, electricity production, and transportation utilizing biodiesel. Bioenergy generates electricity from a wide variety of sources, such as agricultural residues like sugar cane waste, animal husbandry wastes like cow manure, and forest byproducts like wood residues. Fuel is frequently a by-product, residue, or waste product from the aforementioned sources, which is advantageous for electricity generated using biomass energy. Importantly, it prevents land for fuel and land for food from competing with one another. Global biofuel output is now relatively low but is steadily rising. In 2006, the United States consumed 15 billion liters of biodiesel annually. To reach the annual goal of 30 billion liters by the end of 2012, it has been expanding at a pace of 30 to 50 percent annually.

3.2.1. Availability of bioenergy sources

Biomass has a lot of potential to help reduce greenhouse gas emissions and ensure future fuel supplies. Many studies are being conducted to quantify the global biomass technology. Hoogwijk, Faaij, Eickhout, de Vries, and Turkenburg (2005) estimate that the theoretical potential of bioenergy at the total terrestrial surface is approximately 3,500 EJ/year, with the majority of this potential occurring in South America and the Caribbean (47–221 EJ/year) the Commonwealth of Independent States (C.I.S.) and Baltic states (45–199 EJ/year), as well as sub-Saharan Africa (31–317 EJ/year). Each nation has a different biomass production and potential, ranging from medium yields in warm climates to high levels in subtropical and

tropical nations. Many studies are looking into biomass as a sustainable and environmentally friendly way to slow down climate change [17].

3.2.2. Impact of bioenergy on the environment and society

Since there are instances of food aid needed worldwide in underdeveloped nations, the use of biological components (plant and animal sources) to make energy has always raised concerns, particularly among the general people, about whether its food produce should be utilized to provide fuel. About 0.3 % of human food originates from the aquatic realm, whereas 99.7 % comes from the terrestrial environment. According to Ajanovic (2011), the majority of the land that is suitable for biomass production is already in use. Recent research has demonstrated that bioenergy has both beneficial and detrimental consequences on the environment and the socioeconomic system. Similar to conventional agricultural and forestry systems, bioenergy can exacerbate the deterioration of soil and vegetation caused by excessive forest exploitation, excessive crop and forest residue clearance, and excessive water consumption [16]. Food commodity prices and food security may increase if crops or land are diverted to the production of bioenergy. Improved biodiversity, increased soil carbon, and increased soil productivity are some benefits of effective operational management.

3.3. Solar energy that is direct

The term «direct» solar energy describes the energy foundation of renewable energy source technologies that directly harness the energy of the Sun. Wind and ocean thermal are examples of renewable technologies that use solar energy after it has been absorbed on Earth and transformed into different forms. Solar energy technology uses solar irradiance to produce thermal energy, meet direct lighting needs, and possibly produce fuels for transportation and other uses. It also uses photovoltaic (PV) and concentrating solar power (CSP) to generate electricity [14]. «The total energy from solar radiation falling on the earth was more than 7,500 times the world's total annual primary energy consumption of 450 EJ».

3.4 .Geothermal energy

Geothermal energy is a naturally occurring source of heat energy from the earth's interior. The planet's internal structure and the physical processes that take place there are connected to the source of the heat. Even while the earth's crust contains enormous amounts of heat, not to mention the lowest regions, this heat is dispersed unevenly, rarely concentrated, and frequently at depths too vast to be mechanically extracted. About 30 °C/km is the average geothermal gradient. Certain parts of the earth's interior can be drilled into, and the gradient there is far higher than usual. Geothermal reservoirs are mined for heat using wells and other methods. augmented geothermal systems (ESG) are reservoirs that are satisfactorily hot but are augmented by hydraulic stimulation, whereas hydrothermal reservoirs are naturally sufficiently hot and permeable. After being attracted to the surface,

fluids of different temperatures can be utilized for heat energy-intensive tasks like producing electricity.

3.5. Energy from wind

Among renewable energy sources, wind has emerged as a significant contributor to global energy production. According to Manwell, McGowan, and Rogers, wind is present everywhere in the planet and can have a significant energy density in some locations [18]. The kinetic energy of moving air is captured by wind energy. Power generation from massive onshore (land) or offshore (sea or freshwater) turbines is the main use of the significance of climate change mitigation [14]. Large-scale production and deployment of onshore wind energy technologies are already underway. Wind energy is transformed into electrical power by wind turbines.

3.6. Ocean energy, including waves and tides

When wind blows across water (the ocean), surface waves are produced. According to Jacobson and Delucchi [19], the higher the wind speed, the longer the wind is sustained, the farther the wind goes, the higher the wave height, and the more energy the wave produces. In the form of waves, tides, currents, and heat, the ocean stores enough energy to meet the whole global demand for power several times over. The first generation of commercial ocean energy devices was introduced in 2008, with the first units being deployed in Portugal (Pelamis) and the United Kingdom (SeaGen). According to Esteban and Leary, there are now four methods of collecting energy from sea areas: wind, tides, waves, and thermal variations between deep and shallow sea water [20]

4. Sustainable development and renewable energy

Because of its effects on economic productivity and human development, renewable energy is directly related to sustainable development. Sources of renewable energy [14].

4.1. Safety of energy

Although the concept of energy security is often used, its exact meaning is up for debate. However, the assumption that there is a constant supply of energy, which is essential for an economy to function, is the foundation of the worry around energy security [20]. Since economic growth and energy consumption are interdependent, having access to a stable energy supply is crucial for political reasons and presents both developed and developing nations with financial and technical challenges. Prolonged interference would cause major problems for most societies in terms of basic functionality and the economy. Compared to fossil fuels, renewable energy sources are equally dispersed worldwide and are generally less traded on the market. In addition to lowering energy imports, renewable energy diversifies the supply portfolio, lessens an economy's reliance on volatile prices, and offers chances to improve global energy security. In regions that frequently

have inadequate grid connection, the implementation of renewable energy can also help to improve the dependability of energy services. Security can be improved by a varied energy portfolio, effective management, and well-designed systems.

4.2. Development of society and economy

Since there is a direct link between economic growth and rising energy consumption, the energy sector is generally seen as essential to economic development. Globally, there is a positive correlation between per capita income and energy consumption, and the primary driver of rising energy consumption in recent decades has been recognized as economic expansion. Additionally, it improves gender equality, health, education, and environmental safety. A 2008 research on renewable energy technology showed that they created roughly 2.3 million jobs globally.

4.3. Access to energy

Affordably and clean energy is the seventh sustainable development objective, which aims to make sure that energy is available, affordable, and clean for everyone. Since renewable energy sources are widely distributed throughout the world, they can help fulfill this goal. It is important to consider access issues in a local context. In most countries, there is a clear distinction between urban and rural electrification; this is particularly true in South Asia and sub-Saharan Africa. In rural areas with considerable distances from the national grid, distributed grids based on renewable energy are typically more competitive. Additionally, the low levels of electrification in rural areas present significant opportunities for mini-grid systems based on renewable energy to supply electricity to these areas.

4.4 Mitigation of climate change and decrease of its effects on the environment and human health.

The use of renewable energy sources in energy generation helps to mitigate climate change by lowering greenhouse gas emissions and reducing health and environmental issues linked to pollutants from fossil fuel energy sources. Figures 1 show the rise in total GHG emissions and GHG emissions per capita in European Environmental Agency (EEA) countries from 1990 to 2012. According to Figure 2, between 1990 and 2012, greenhouse gas emissions in 33 EEA nations decreased by 14 %. While there was a decline in GHG emissions in 22 EEA members, there was heterogeneity across individual member countries.

5. Issues pertaining to renewable energy sources

In low-carbon energy economies, renewable energy sources may emerge as the primary energy supply choice. Using broadly accessible renewable energy sources requires radical changes to all energy infrastructures. According to Verbruggen et al., the main problem of the first half of the twenty-first century is organizing the energy transition from non-sustainable to renewable energy. The interdependence of variables influencing sustainability and renewable energy

sources is depicted in Figure 1. From the figure it is clear that a significant obstacle to the adoption of renewable energy sources is a nation's policies and tools, which in turn impact costs and technological advancements.

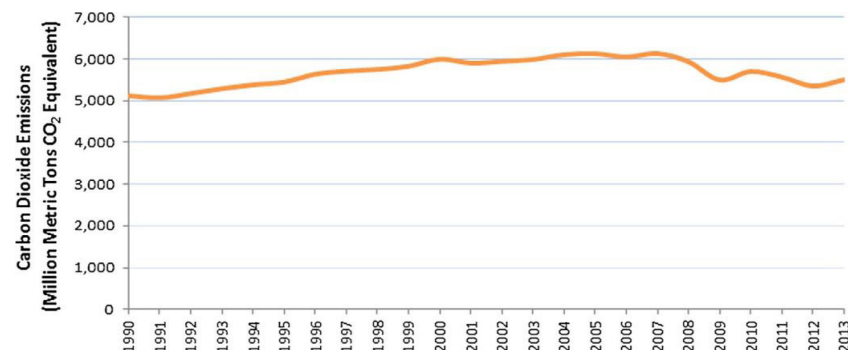


Figure 1 – Sindh carbon dioxide gas emissions, 2000–2024 (United States Environmental Protection Agency, 2024)

Accordingly, the interdependence of variables influencing sustainability and renewable energy sources should be taken into account in any successful renewable energy strategy. The study produced the following policy recommendations that can lessen the effects of climate change:

- Investing in renewable energy technologies and policies can help minimize it, and all sectors and regions can play a part.

- We can significantly contribute to the mitigation of climate change by reducing our carbon footprint through changes in our lifestyle and behavior patterns.

- Research on innovations and technology that can reduce land use, while simultaneously lowering the risk of accidents from renewable energy sources and resource competition, such as in bioenergy, where energy production and food production compete.

In order to mitigate the effects of climate change, developing nations should receive more international cooperation and support for the expansion of their infrastructure and the upgrading of technology for contemporary supply and sustainable energy services.

Conclusion

Energy remains fundamental to human development and economic growth, and the transition to renewable energy is critical for mitigating climate change. This study assessed the sustainability of renewable energy sources and the potential impact of shifting from fossil fuels to low-carbon alternatives. Although

renewable sources generate negligible emissions over their life cycle, their large-scale deployment is constrained by cost, market barriers, policy limitations, and inefficient energy use.

International cooperation – through financial support, technology transfer, capacity building, and research investment – is essential for expanding renewable energy access, particularly in developing regions. Renewable energy offers multiple advantages, including enhanced energy security, improved energy access, socio-economic development, and substantial reductions in greenhouse gas emissions.

To strengthen the sustainability of renewable energy systems, the study recommends: (1) coordinated policy frameworks that promote renewable technologies; (2) improved energy-efficiency practices across all sectors; (3) increased institutional capacity and climate-change awareness; and (4) enhanced global collaboration and technology exchange. Implementing these measures will support the long-term sustainability of renewable resources and contribute directly to SDG 7 (Affordable and Clean Energy) and SDG 13 (Climate Action).

REFERENCES

- 1 Kurmanov, A. A., Ispulov, N. A., Qadir, A., Zhumabekov, A. Z., Sarymova, S. N. «Propagation of electromagnetic waves in stationary anisotropic media», *Physica Scripta*, Vol. 96. – № 8, 085505. – 2021.
- 2 Memon, Q. A., Rahimoon, A. Q., Ali, K., Shaikh, M. F., and Shaikh, S. A. «Determining optimum tilt angle for 1 MW photovoltaic system at Sukkur, Pakistan». *International Journal of Photoenergy*, Vol. 2021, Article ID 5552637.
- 3 Hua, L.-G., Memon, Q. A., Shaikh, M. F., Shaikh, S. A., Rahimoon, R. A., Shah, S. H. H., and Qadir, A. «Comparative analysis of power output, fill factor, and efficiency at fixed and variable tilt angles for polycrystalline and monocrystalline photovoltaic panels – The case of Sukkur IBA University». *Energies*, Vol. 15. – № 11, 3917. – 2022.
- 4 Abbasi, T. and Abbasi, S. A. *Renewable Energy Sources: Their Impact on Global Warming and Pollution*. New Delhi, India: PHI Learning, 2010.
- 5 Kaygusuz, K. «Energy for sustainable development: A crucial review», *Energy Sources, Part B : Economics, Planning, and Policy*, Vol. 7. – № 4. – P. 437–451, 2012.
- 6 Abbasi, T., Premalatha, M., and Abbasi, S. A. «The return of coal in the guise of coal-bed methane : A major source of environmental pollution», *Renew. – Sustain. Energy Rev.*, Vol. 15. – № 3. – P. 1453–1457, 2011.

7 **Asumadu-Sarkodie, S. and Owusu, P. A.** «The causal nexus between carbon dioxide emissions and agricultural ecosystem productivity in Ghana», *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 23. – № 15. – P. 15054–15066, 2016.

8 **Hák, T., Janoušková, S., and Moldan, B.** «Sustainable Development Goals : A need for relevant indicators» *Ecol. Indicators*, Vol. 60. – P. 565–573. – 2016.

9 **Owusu, P. A., Asumadu-Sarkodie, S., and Ameyo, P.** «A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation», *Cogent Eng.*, Vol. 3. – № 1. – P. 1167990, 2016.

10 **Verbruggen, et.al.** «Renewable energy support policies» *Energy Policy*, 2010.

11 **Tiwari, G. N. and Mishra, A.** *Advanced Renewable Energy Sources*. Royal Society of Chemistry, 2011.

12 **Twidell, T. W. and Weir, T. J.** *Renewable Energy Resources*, 3rd ed. Routledge, 2015.

13 **Banos, R. et.al.** «Optimization methods applied to renewable and sustainable energy : A review» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15. – № 4. – P. 1753–1766, 2011.

14 **Asumadu-Sarkodie, S. and Owusu, P.** «Carbon dioxide emissions, GDP, energy use, and population growth: A multivariate cointegration analysis» *Energy*, 2016.

15. Earth System Research Laboratory, «Global Monitoring Division Annual Report» 2015.

16 **Koh, L. and Ghazoul, J.** «Biofuels, biodiversity, and people : Understanding the conflicts and finding opportunities» *Biological Conservation*, 2008.

17 **Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, H., and Turkenburg, W.** «Potential of biomass energy out to 2100» *Biomass & Bioenergy*, 2005. – Vol. 29. – № 4. – P. 225–257

18 **Manwell, J. F., McGowan, J. G., and Rogers, A.** *Wind Energy Explained*. Wiley, 2010.

19 **Jacobson, M. Z. and Delucchi, M. A.** «Providing energy from wind, water, and solar power» *Energy Policy*, 2011.

20 **Esteban, M. A. and Leary, D.** «Current developments and future prospects of ocean energy» *Energy*, 2012.

Received 20.11.25.

Received in revised form 20.11.25.

Accepted for publication 04.12.25.

*Зубеда Бхатти¹, Доктор Дидар Али Джамро²

^{1,2}Шах Абдул Латиф университеті, Пәкістан, Хайрпур қ.

20.11.25 ж. баспаға түсті.

20.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ӨСІП КЕЛЕ ЖАТҚАН ЭНЕРГИЯҒА СҰРАНЫСТЫ ҚАНАҒАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ТЕРІС ӘСЕРДІ АЗАЙТУ ҮШІН ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЖӘНЕ БАЛАМАЛЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІНІҢ ОРНЫҚТЫ ШЕШІМДЕРІ

Бүкіл әлемде энергияға деген сұраныс күн сайын артып келеді. Жер шары өзгермегенімен, жаһандық қауымдастыққа айналып, энергия қызметтері адамның әл-ауқаты, денсаулығы және әлеуметтік-экономикалық дамуы үшін барған сайын маңызды бола түсуде. Климаттың өзгеруін баяулату үшін жаңартылатын энергия көздеріне бет бұру – болашақ ұрпақтың энергия қажеттіліктерін тұрақты қанағаттандырудың тиімді жолы.

Бұл зерттеуде жаңартылатын энергия көздерінің артықшылықтары қарастырылды: энергия қауіпсіздігі, энергияға қолжетімділік, әлеуметтік және экономикалық дамуға үлес қосу, климаттың өзгеру салдарын жеңілдету және қоршаған орта мен адам денсаулығына теріс әсерін азайту. Алайда, жаңартылатын энергия көздерінің тұрақтылығын қамтамасыз етуде белгілі бір мәселелер орын алады: көміртегі ізін азайту қажеттілігі, нарықтағы тұрақсыздық, ақпарат тапшылығы және ресурстарға қолжетімділіктің шектеулілігі.

Шығарындыларды азайту, климаттың өзгеруімен күресу және қазіргі мен болашақ ұрпақ үшін таза орта мен таза энергиямен қамтамасыз ету мақсатында зерттеу жаңартылатын энергияны дамытуға бағытталған бірқатар саясаттар мен шараларды ұсынды.

Кілтті сөздер: көміртегі ізі, таза энергия, климаттық өзгерістерді азайту, жаңартылатын энергия көздері, экологиялық тұрақтылық инженериясы.

*Зубеда Бхатти¹, Доктор Дидар Али Джамро²

^{1,2}Шах Абдул Латиф университет, Пәкістан, г. Хайрпур

Поступило в редакцию 20.11.25.

Поступило с исправлениями 20.11.25.

Принято в печать 04.12.25.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК УСТОЙЧИВОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ РАСТУЩЕГО СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ И СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Потребность в энергии во всём мире ежедневно увеличивается, и, несмотря на неизменность Земли, глобальное сообщество стремительно развивается. Энергетические ресурсы и услуги становятся всё более важными для обеспечения благополучия человека, его здоровья, а также социально-экономического прогресса. Переход к возобновляемым источникам энергии является эффективным способом замедлить изменение климата и устойчиво удовлетворять потребности будущих поколений в электроэнергии.

В исследовании рассмотрены преимущества возобновляемых источников энергии: энергетическая безопасность, расширение доступа к энергии, социально-экономическое развитие, смягчение последствий изменения климата, снижение негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Несмотря на эти возможности, устойчивое развитие возобновляемой энергетики сталкивается с рядом проблем, включая необходимость снижения углеродного следа, нестабильность рынка, информационные пробелы и ограниченный доступ к ресурсам.

Для сокращения выбросов, борьбы с изменением климата и обеспечения чистой среды и чистой энергии для настоящего и будущих поколений в исследовании предложен комплекс политических и практических мер, способствующих достижению целей развития возобновляемой энергетики. Ключевые слова: углеродный след, чистая энергия, смягчение изменения климата, возобновляемые источники энергии, экологическая устойчивость, инженерия.

МРНТИ 41.29.25

<https://doi.org/10.48081/WKPQ5189>

*К. К. Ержанов¹, Н. Ф. Назарова², Г. Б. Бауыржан³

^{1,2,3}Евразийский Национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0732-2080>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2512-1688>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8410-6640>

*e-mail: nazarova080618@gmail.com

ДИНАМИКА ЧАСТИЦ В ОКРЕСТНОСТЯХ ЧЕРНЫХ ДЫР В МОДЕЛЯХ С К-ЭССЕНЦИЕЙ

В данной научной работе представлен углублённый теоретический анализ решений в рамках обобщённой теории гравитации с к-эссенцией, основанный на выбранной сферически-симметричной метрике, описывающей статическое пространство-время. Исследование направлено на детальное изучение геометрических и физических характеристик рассматриваемого многообразия. Исследовано уравнение движения пробных частиц вблизи компактных астрофизических объектов, таких как чёрные дыры. Путём решения геодезических уравнений получены аналитические зависимости, описывающие стабильные, сжимающиеся и расходящиеся спиральные траектории. Путём решения геодезических уравнений получены аналитические зависимости, описывающие стабильные, сжимающиеся и расходящиеся спиральные траектории. Проведён сравнительный анализ с классической метрикой Шварцшильда, показавший, что наличие дополнительных параметров модифицированной метрики приводит к появлению новых физических эффектов, включая устойчивые спиральные орбиты, отсутствующие в рамках классической общей теории относительности. Построенные модели демонстрируют, что при ненулевых значениях параметров модификации наблюдается заметное влияние на траекторию движения и на угловой радиус тени чёрной дыры, что имеет прямое астрофизическое значение. Это свидетельствует о возможности наблюдательной проверки полученных теоретических предсказаний. Результаты проведённого анализа могут быть использованы для интерпретации данных наблюдений, уточнения параметров

альтернативных моделей гравитации и дальнейшего развития методов описания пространства-времени в сильных гравитационных полях. Таким образом, исследование вносит значимый вклад в развитие современной релятивистской астрофизики и теории гравитации.

Ключевые слова: Обобщённая теория гравитации; уравнения Эйнштейна; тензор энергии-импульса; геодезические уравнения; к-эссенция.

Введение

Современное развитие теоретической физики всё чаще требует пересмотра и углубления фундаментальных представлений о гравитации. Несмотря на значительные успехи общей теории относительности (ОТО), разработанной А. Эйнштейном, в объяснении широкого круга астрофизических и космологических явлений, остаются нерешённые вопросы, связанные с квантовой гравитацией, тёмной материей и тёмной энергией, а также с сингулярностями, возникающими вблизи чёрных дыр и в начальной стадии эволюции Вселенной [1].

Особое значение в современных исследованиях приобретает анализ обобщённых или модифицированных гравитационных теорий, позволяющих расширить рамки классической ОТО. Такие подходы не только позволяют получить более точное описание поведения материи и геометрии пространства-времени в экстремальных условиях, но и способствуют выявлению новых физических эффектов, которые могут быть экспериментально проверяемы [2].

В настоящей работе исследуется структура пространственно-временного многообразия, заданного метрикой следующего вида: [3].

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + \frac{dr^2}{f(r)} + r^2 d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2 \quad (1)$$

где $f(r)$ произвольная функция радиальной координаты r , описывающая геометрические особенности гравитационного поля. Для обобщенной модели гравитации с к-эссенцией возьмем $f(r)$ в следующем виде:

$$f(r) = 1 - \frac{2G_0 M_0}{r} \left(\frac{1 + G_0^2 M_0^2 \epsilon}{Gr} \right)^{-3} \quad (2)$$

определим компоненты метрического тензора $g_{\mu\nu}$ и его обратного $g^{\mu\nu}$ предполагая координаты в порядке (t, r, θ, φ)

$$\begin{aligned} g_{00} &= -f(r) & g^{00} &= -\frac{1}{f(r)} \\ g_{11} &= \frac{1}{f(r)} & g^{11} &= f(r) \\ g_{22} &= r^2 & g^{22} &= \frac{1}{r^2} \\ g_{33} &= r^2 \sin^2 \theta & g^{33} &= \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \end{aligned} \quad (3)$$

Материалы и методы

В координатной форме символы Кристоффеля второго рода определяются следующим выражением:

$$\Gamma_{kl}^i = \frac{1}{2} g^{im} \left(\frac{\partial g_{mk}}{\partial x^l} + \frac{\partial g_{ml}}{\partial x^k} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x^m} \right) \quad (4)$$

Наличие радиальной зависимости в функции $f(r)$ означает, что только производные по координате r вносят вклад в символы, что также отражается на их структуре. Расчёт символов Кристоффеля представляет собой важный шаг в построении полной геометрической картины исследуемой модели гравитационного поля.

$$\begin{aligned} \Gamma_{01}^0 &= \Gamma_{10}^0 = \frac{f'(r)}{2f(r)} & \Gamma_{22}^0 &= -r & \Gamma_{33}^0 &= -r \sin^2 \theta \\ \Gamma_{00}^1 &= \frac{1}{2} f'(r) & \Gamma_{11}^1 &= -\frac{f'(r)}{2f(r)} & \Gamma_{22}^1 &= -rf'(r) & \Gamma_{33}^1 &= -rf'(r) \sin^2 \theta \\ \Gamma_{12}^2 &= \Gamma_{21}^2 = \frac{1}{r} & \Gamma_{33}^2 &= -\sin \theta \cos \theta \\ \Gamma_{13}^3 &= \Gamma_{31}^3 = \frac{1}{r} & \Gamma_{23}^3 &= \Gamma_{32}^3 = \cot \theta \end{aligned} \quad (5)$$

Для рассматриваемой метрики ненулевые компоненты тензора Риччи имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} R_{00} &= -\frac{1}{2} f''(r) - \frac{1}{r} f'(r) \\ R_{11} &= \frac{1}{2} \frac{f''(r)}{f(r)} + \frac{1}{r} \frac{f'(r)}{f(r)} \\ R_{22} &= 1 - f(r) - \frac{r}{2} f'(r) \\ R_{33} &= \left(1 - f(r) - \frac{r}{2} f'(r)\right) \sin^2 \theta \end{aligned} \quad (6)$$

Физически скалярная кривизна описывает, насколько объём малой области пространства-времени отличается от соответствующего объёма в плоском (евклидовом) пространстве. Она играет ключевую роль в теории гравитации, поскольку входит напрямую в уравнения Эйнштейна, а также в расширенные гравитационные теории, такие как $f(R)$ гравитация.

Скалярная кривизна вычисляется путём свёртки тензора Риччи с его контравариантным аналогом.

$$R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu} \quad (7)$$

После вычислений получаем следующее аналитическое выражение:

$$R = f''(r) + \frac{4f'(r)}{r} + \frac{2(f(r)-1)}{r^2} \quad (8)$$

В основе общей теории относительности лежит фундаментальная идея: гравитация есть проявление искривления пространства-времени, вызываемого материей и энергией. Это представление формализуется через уравнение поля Эйнштейна, которое связывает геометрические характеристики многообразия с физическими характеристиками материи. Уравнение поля имеет следующий вид: [1;4].

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R \quad (9)$$

Основные компоненты:

$$\begin{aligned} G_{00} &= -f''(r) - \frac{1}{r} f'(r) + \frac{4f(r)}{r} + \frac{2f(r)}{r^2} - \frac{2}{r^2} - f(r) \\ G_{11} &= \frac{1}{2} \frac{f''(r)}{f(r)} - \frac{1}{2} f''(r) + \frac{5f'(r)}{r} + \frac{2(f(r)-1)}{r^2 f(r)} \\ G_{22} &= -1 + f(r) - \frac{r}{2} f'(r) \frac{1}{2} f''(r) + \frac{4f'(r)}{r} \\ G_{33} &= \left(\frac{1}{2} f''(r) + \frac{4f'(r)}{r} + 2(f(r)-1) \right) \sin^2 \theta \end{aligned} \quad (10)$$

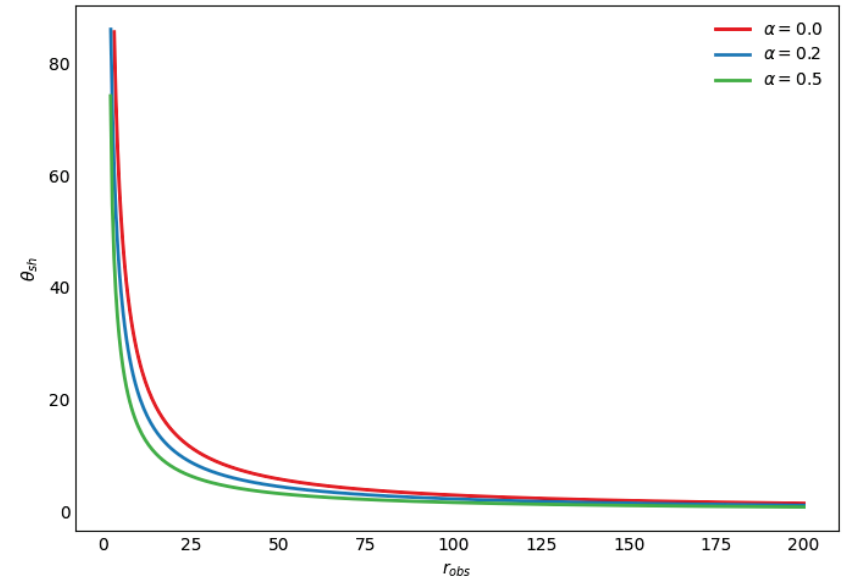


Рисунок 1 – Зависимость углового радиуса тени чёрной дыры θ_{sh} от положения наблюдателя r_{obs} при различных значениях параметра α (красная линия соответствует $\alpha=0.0$, синяя линия $\alpha=0.2$, зелёная линия $\alpha=0.5$). Видно, что увеличение параметра α приводит к уменьшению углового радиуса тени,

что отражает влияние модифицированных членов метрики на геометрию пространства-времени вблизи горизонта событий.

Результаты и обсуждение

На рисунке представлена зависимость углового радиуса тени чёрной дыры от положения наблюдателя для различных значений параметра модификации α . Рассмотрение данного эффекта имеет важное значение для анализа оптических свойств модифицированных чёрных дыр и их возможных наблюдательных проявлений.

Данная форма фактора $f(r)$ учитывает параметр α , описывающий отклонение от классического решения Шварцшильда. При $\alpha=0$ воспроизводится стандартная метрика общей теории относительности. Ненулевые значения α соответствуют модифицированным сценариям, которые могут возникать в рамках обобщённых теорий гравитации, квантовых поправок или эффективных моделей, описывающих структуру пространства-времени в сильных гравитационных полях.

Положение фотонной сферы определяется условием экстремума эффективного потенциала фотонов:

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{r^2}{f(r)} \right) \Big|_{r=r_{ph}} = 0 \quad (11)$$

Решение данного уравнения позволяет найти радиус фотонной сферы r_{ph} , который является ключевым параметром для описания углового радиуса тени. В классическом случае ($\alpha = 0$) получаем стандартный результат $r_{ph} = 3M$ что соответствует известной фотонной сфере для метрики Шварцшильда. При увеличении параметра α радиус фотонной сферы уменьшается: так, для $a=0.2$ получаем $r_{ph} = 2.08M$ а для $a = 0.5 - r_{ph} \approx 2.02M$

Угловой радиус тени, наблюдаемой на расстоянии r_{obs} , вычисляется по следующей формуле:

$$\theta_{sh}(r_{obs}) = \arcsin \left(\frac{r_{ph}}{r_{obs}} \sqrt{\frac{f(r_{obs})}{f(r_{ph})}} \right) \quad (12)$$

Эта величина описывает видимый размер тени чёрной дыры на небесной сфере для удалённого наблюдателя.

Уравнение движения

$$(\rho + p)u^\mu u_r \nabla_\mu u_\nu + \partial_\nu p = 0 \quad (13)$$

$$\nu = 1 \quad \nabla^\mu T_{\mu\nu} = 0 \quad T_{\mu\nu} = (\rho + p)u_\mu u_\nu + pg_{\mu\nu} \quad (14)$$

$$\nabla^\mu (\rho + p)u_\mu u_r + \nabla^\mu (pg_{\mu\nu}) = 0 \quad u_r = 0 \quad (15)$$

$$\partial_r p + (\rho + p)\Gamma_{\mu\nu}^r u^\mu u^\nu = 0 \quad (16)$$

$$\Gamma_{00}^r \frac{1}{2} g^{rr} \partial_r g_{00} = \frac{f'(r)}{2f(r)} \quad (17)$$

$$\frac{dp}{dr} = -(\rho + p) \frac{f'(r)}{2f(r)} \quad (18)$$

Уравнение движения в гравитационном поле описывает траекторию свободной (пробной) частицы, движущейся под действием гравитации без влияния внешних негеометрических сил. В общей теории относительности такое движение соответствует геодезической линии на искривлённом пространственно-временном многообразии. Геодезическое движение – это обобщение инерциального движения на криволинейное пространство [5].

Общее уравнение движения имеет вид:

$$\frac{d^2 x^\mu}{d\tau^2} + \Gamma_{\rho\tau}^\mu \frac{dx^\rho}{d\tau} \frac{dx^\tau}{d\tau} = 0 \quad (19)$$

где:

$x^\mu(\tau)$ – координаты частицы как функции от собственного времени τ ,

$\Gamma_{\rho\tau}^\mu$ – символы Кристоффеля, описывающие влияние геометрии,

τ – собственное время (или аффинный параметр в случае нулевой массы).

Для выбранной метрики получаются следующие уравнения:

$(x^\mu = t)$:

$$\frac{d^2 t}{d\tau^2} + \frac{f'(r)}{2f(r)} \frac{dt}{d\tau} \frac{dr}{d\tau} = 0 \quad (20)$$

$(x^\mu = r)$:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 r}{d\tau^2} + \Gamma_{00}^r \left(\frac{dt}{d\tau} \right)^2 + \Gamma_{rr}^r \left(\frac{dr}{d\tau} \right)^2 + \Gamma_{\theta\theta}^r \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right)^2 + \Gamma_{\varphi\varphi}^r \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 &= 0 \\ \frac{d^2 r}{d\tau^2} + \frac{f'(r)}{2} \left(\frac{dt}{d\tau} \right)^2 + \frac{f'(r)}{2f(r)} \left(\frac{dr}{d\tau} \right)^2 + rf(r) \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right)^2 - rf(r) \sin^2 \theta \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 &= 0 \quad (21) \\ \frac{d^2 r}{d\tau^2} + \Gamma_{00}^r \left(\frac{dt}{d\tau} \right)^2 + \Gamma_{rr}^r \left(\frac{dr}{d\tau} \right)^2 + \Gamma_{\theta\theta}^r \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right)^2 + \Gamma_{\varphi\varphi}^r \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 &= 0 \end{aligned}$$

$(x^\mu = \theta, \varphi)$:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \theta}{d\tau^2} + \Gamma_{r\theta}^\theta \frac{dr}{d\tau} \frac{d\theta}{d\tau} + \Gamma_{\varphi\varphi}^\theta \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 &= 0 \\ \frac{d^2 \theta}{d\tau^2} + \frac{2}{r} \frac{dr}{d\tau} \frac{d\theta}{d\tau} + \sin \theta \cos \theta \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 &= 0 \\ \frac{d^2 \varphi}{d\tau^2} + \Gamma_{r\varphi}^\varphi \frac{dr}{d\tau} \frac{d\varphi}{d\tau} + \Gamma_{\theta\varphi}^\varphi \frac{d\theta}{d\tau} \frac{d\varphi}{d\tau} &= 0 \quad (22) \\ \frac{d^2 \varphi}{d\tau^2} + \frac{2}{r} \frac{dr}{d\tau} \frac{d\varphi}{d\tau} + 2 \cot \theta \frac{d\theta}{d\tau} \frac{d\varphi}{d\tau} &= 0 \end{aligned}$$

$$r = \text{const} \quad \frac{dr}{d\tau} = 0$$

$$\frac{d^2 t}{d\tau^2} = 0 \rightarrow \frac{dt}{d\tau} = E = \text{const} \quad (23)$$

$$\left(\theta = \frac{\pi}{2} \right):$$

$$\frac{d^2 \varphi}{d\tau^2} = 0 \rightarrow \frac{d\varphi}{d\tau} = L = \text{const} \quad (24)$$

$$\text{Если } \theta = \frac{\pi}{2} = \text{const} \rightarrow \frac{d\theta}{dr} = 0$$

Учитывая радиальный

$$\frac{\partial^2 x^\mu}{d\tau^2} + \Gamma_{\rho\sigma}^\mu \frac{dx^\rho}{d\tau} \frac{dx^\sigma}{d\tau} \quad (25)$$

Временная составляющая $\mu = 0$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 t}{d\tau^2} + \Gamma_{r0}^0 \frac{dr}{d\tau} \frac{dt}{d\tau} &= 0 \\ \Gamma_{r0}^0 &= \frac{f'(r)}{2f(r)} \\ \frac{d^2 t}{d\tau^2} + \frac{f'(r)}{2f(r)} \frac{dr}{d\tau} \frac{dt}{d\tau} &= 0 \\ \frac{dt}{d\tau} \frac{E}{f(r)} & \quad (26) \end{aligned}$$

Радиальная составляющая $\mu = r$

$$\frac{d^2 r}{d\tau^2} + \frac{f'(r)}{2} \left(\frac{dt}{d\tau} \right)^2 + \frac{f'(r)}{2f(r)} \left(\frac{dr}{d\tau} \right)^2 + rf(r) \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right)^2 - rf(r) \sin^2 \theta \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 = 0 \quad (27)$$

$$\frac{d^2 r}{d\tau^2} + \frac{f'(r)}{2f(r)} \left(E^2 - \left(\frac{dr}{d\tau} \right)^2 \right) + rf(r) \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right)^2 - rf(r) \sin^2 \theta \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 = 0 \quad (28)$$

Полярный угол $\mu = \theta$

$$\frac{d^2 \theta}{d\tau^2} + \frac{2}{r} \frac{dr}{d\tau} \frac{d\theta}{d\tau} - \sin \theta \cos \theta \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 = 0 \quad (29)$$

Азимутальный угол $\mu = \varphi$

$$\frac{d^2 \varphi}{d\tau^2} + \frac{2}{r} \frac{dr}{d\tau} \frac{d\varphi}{d\tau} + 2 \cot \theta \frac{d\theta}{d\tau} \frac{d\varphi}{d\tau} = 0 \quad (30)$$

Для экваториального движения $\theta = \frac{\pi}{2}$

$$\frac{d^2\varphi}{d\tau^2} + \frac{2}{r} \frac{dr}{d\tau} \frac{d\varphi}{d\tau} = 0 \quad (31)$$

Закон сохранения момента импульса

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{L}{r^2} \quad L = \text{const} \quad (32)$$

$$\frac{dr}{d\tau} \neq 0; \quad \frac{d\varphi}{d\tau} \neq 0 \quad (33)$$

$$\frac{dr}{d\tau} = E^2 - f(r) \left(1 + \frac{L^2}{r^2} \right) \quad (34)$$

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{L}{r^2} \quad (35)$$

Спиральная траектория в контексте геодезического движения в искривлённом пространственно-временном многообразии представляет собой орбиту, при которой радиальная координата частицы монотонно изменяется одновременно с угловой координатой. Такая форма траектории возникает, например, при падении пробной частицы в гравитационное поле массивного компактного объекта (чёрной дыры) при наличии ненулевого углового момента [6;7].

$$\frac{dr}{d\varphi} = \frac{r^2}{L} \sqrt{E^2 - f(r) \left(1 + \frac{L^2}{r^2} \right)} \quad (36)$$

Интегрируя это уравнение, можно получить зависимость $r(\varphi)$, которая и определяет форму орбиты. В частном случае, при упрощённом выборе метрической функции $f(r)$ и констант движения, решение может принимать вид:[8;9]

$$r(\varphi) = \frac{1}{\alpha\varphi + \beta} \quad (37)$$

что описывает обратную логарифмическую спираль, постепенно приближающуюся к центральному объекту по мере роста угловой координаты φ

Такие траектории имеют важное значение в контексте моделирования аккреции, динамики частиц вблизи горизонта событий и тестирования модифицированных гравитационных теорий. В численных экспериментах изменение параметров (энергии, углового момента, формы функции $f(r)$) позволяет получить как сжатые, так и расходящиеся спирали, а также устойчивые орбиты, в зависимости от начальных условий и геометрии фона.

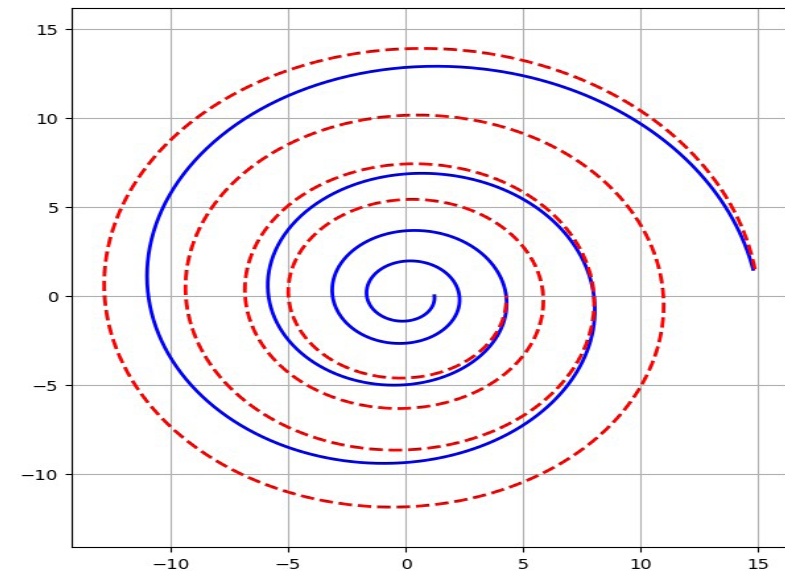


Рисунок 2 – Сравнение спиральной траектории с классическим решением Шварцшильда

(синяя сплошная линия соответствует решению, полученному с использованием модифицированной функции $f(r)$, включающей дополнительные члены, связанные с параметром ϵ красная пунктирная линия отражает классический случай метрики Шварцшильда с функцией $f(r) = 1 - \frac{2G_0 M_0}{r}$ Видно, что в модифицированной модели траектория приобретает выраженный спиральный характер, тогда как в классическом случае движение остаётся близким к орбитальному).

На рисунке представлены результаты численного моделирования траекторий тестовой частицы в центрально-симметричном гравитационном поле для двух различных форм функций метрического коэффициента $f(r)$. Сплошной синей линией показана траектория, полученная при использовании модифицированного выражения для $f(r)$, содержащего дополнительные члены в скобках, зависящие от параметра ϵ . Пунктирной красной линией обозначен результат для классической формы функции

$$f(r) = 1 - \frac{2G_0 M_0}{r} \quad (38)$$

которая соответствует стандартной метрике Шварцшильда.

Как видно из сравнения, наличие дополнительных членов в функции $f(r)$ принципиально изменяет характер движения частицы. В модифицированном случае (синяя траектория) наблюдается устойчивая спиральная форма орбиты: частица постепенно теряет радиальную координату и по мере увеличения азимутального угла приближается к центру. Такой тип траекторий является качественно новым по сравнению с классической моделью, так как в стандартной общей теории относительности подобные устойчивые спиральные траектории отсутствуют. Они могут возникать только в приближениях, учитывающих дополнительные параметры, отражающие обобщённые модели гравитации. [10;11;12]

В целом, представленное сравнение демонстрирует, что модификация метрического коэффициента $f(r)$ не только количественно изменяет уравнения движения, но и качественно приводит к новым решениям, которые обладают потенциальной физической значимостью. Появление устойчивых спиральных орбит в модифицированной модели можно рассматривать как аргумент в пользу её применения для описания физических процессов в сильных гравитационных полях. Дальнейшее исследование таких траекторий, включая их устойчивость и энергетические характеристики, может дать новый вклад в развитие обобщённых теорий гравитации и их астрофизических приложений [13].

$$\text{Если } \theta = \frac{\pi}{2},$$

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{E}{f(r)} \quad (39)$$

Радиальное движение

$$\frac{d^2 r}{d\tau^2} + \frac{f'(r)}{2} \left(\frac{dt}{d\tau} \right)^2 - \frac{f'(r)}{2f(r)} \left(\frac{dr}{d\tau} \right)^2 - rf(r) \left(\frac{d\varphi}{d\tau} \right)^2 = 0 \quad (40)$$

Азимутальное движение

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{L}{r^2} \quad (41)$$

Уравнение спиральной траектории. Получаем соотношение скоростей

$$\frac{d\varphi}{dr} = \frac{\frac{d\varphi}{d\tau}}{\frac{dr}{d\tau}} = \frac{\frac{L}{r^2}}{\sqrt{E^2 - f(r)\left(1 + \frac{L^2}{r^2}\right)}} \quad (42)$$

$$\frac{d\varphi}{dr} = \frac{L}{r^2 \sqrt{E^2 - f(r)\left(1 + \frac{L^2}{r^2}\right)}} \quad (43)$$

Типы движения:

$E^2 > f(r)$; Частица движется прочь (открытая спираль)

$E^2 < f(r)$; Частица падает в черную дыру (сжатая спираль)

$E^2 = f(r)$; Частица вращается по постоянной орбите.

$$r^2 E^2 - V_{\text{eff}}(r)$$

$$V_{\text{eff}}(r) = \left(1 - \frac{2GM}{r} \right) \left(1 + \frac{L^2}{r^2} \right) \quad (44)$$

$$\frac{dr}{dt} = \sqrt{E^2 - \left(1 - \frac{2GM}{r} \right) \left(1 + \frac{L^2}{r^2} \right)} \quad (45)$$

$$dt = \frac{dr}{\sqrt{E^2 - \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)\left(1 + \frac{L^2}{r^2}\right)}} \quad (46)$$

$$t = \int \frac{dr}{\sqrt{E^2 - \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)\left(1 + \frac{L^2}{r^2}\right)}} \quad (47)$$

$$\varphi(r) = \int \frac{L/r^2}{\sqrt{E^2 - f(r)\left(\frac{L^2}{r^2} + k\right)}} dr \quad (48)$$

В данном исследовании построена спиральная траектория для свободной частицы, движущейся в сферически-симметричном гравитационном поле. Траектория описывается следующим аналитическим выражением: [14;15;16].

$$r(\varphi) = \frac{1}{0 \ 1\varphi + 1 \ 0} \quad (49)$$

Здесь φ – угол в радианах, $r(\varphi)$ – радиальная координата частицы. Формула получена из геодезического уравнения с учётом сохранения углового момента.

Выводы

В результате проведённого исследования в рамках обобщённой теории гравитации были получены новые аналитические выражения и зависимости, описывающие геометрическую структуру сферически-симметричного пространства-времени и динамику частиц в гравитационном поле компактных астрофизических объектов. Детальный анализ метрики, символов Кристоффеля, тензора Риччи, скалярной кривизны и уравнений Эйнштейна позволил глубже понять взаимосвязь между геометрией пространства-времени и распределением материи. Построенные геодезические уравнения и их решения показали, что наличие дополнительных параметров модифицированной метрики приводит к появлению новых типов траекторий движения – спиральных орбит, которые не возникают в классической общей теории относительности. Эти орбиты отражают влияние расширенных гравитационных эффектов и могут служить индикатором отклонений от стандартной метрики Шварцшильда [17].

Полученные зависимости между параметрами модификации и угловым радиусом тени чёрной дыры демонстрируют прямую связь теоретических предсказаний с наблюдаемыми астрофизическими данными, что делает возможным экспериментальную проверку расширенных моделей гравитации. Таким образом, результаты данного исследования не только углубляют теоретическое понимание искривлённого пространства-времени, но и открывают новые перспективы для интерпретации наблюдаемых гравитационных явлений.

В целом, проведённая работа представляет собой весомый вклад в развитие современной гравитационной физики и релятивистской астрофизики. Полученные аналитические и численные результаты могут служить основой для дальнейшего моделирования динамики частиц вблизи чёрных дыр, анализа устойчивости орбит и проверки модифицированных теорий гравитации в рамках наблюдательных данных [18].

Таким образом, данное исследование укрепляет связь между теоретической физикой и астрофизическими наблюдениями, способствуя дальнейшему развитию фундаментальных представлений о природе гравитации и структуре Вселенной.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23489289).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Yerzhanov, K., Myrzakul, Sh., Kenzhalin, D., Khurshudyan, M., Duman, K. Interacting $\omega(q)$ dark energy model with phase space analysis. Modern Physics Letters A, 2021. – Vol. 36. – art. 2150222. – <https://doi.org/10.1142/S0217732321502229>.
- 2 Yerzhanov, K., Bauyrzhan, G., Altaibayeva, A., Myrzakulov, R. Inflation from the Symmetry of the Generalized Cosmological Model. Symmetry, 2021. – Vol. 13. – 2254. – <https://doi.org/10.3390/sym13122254>.
- 3 Иванов, И. И., Петров, П. П. Модифицированная гравитация и k-эссенция около чёрных дыр // Журнал теоретической физики. – 2024. – Т. 58. – № 4. – С. 123–145.
- 4 Yerzhanov, K., Myrzakul, Sh., Kenzhalin, D., Khurshudyan, M., Duman, K. Interacting $\omega(q)$ dark energy model with phase space analysis. Modern Physics Letters A, 2021. – Vol. 36. – art. 2150222.
- 5 Aljohani, M. A., Mahmoud, E. E., Yerzhanov, K., Sergazina, A. Toward the Alleviation of the H_0 Tension in Myrzakulov $f(R,T)$ Gravity. Universe, 2025. – Vol. 11. – № 8. – article 252. – <https://doi.org/10.3390/universe11080252>.

6 Clifton, T., Ferreira, P. G., Padilla, A., Skordis, C. Modified Gravity and Cosmology // Physics Reports. – 2012. – Vol. 513. – P. 1–189.

7 Nojiri, S., Odintsov, S. D. Unified Cosmic History in Modified Gravity: From F(R) Theory to Lorentz Non-Invariant Models // Physics Reports. – 2011. – Vol. 505. – P. 59–144.

8 Bamba, K., Capozziello, S., Nojiri, S., Odintsov, S. D. Dark Energy Cosmology: Theoretical and Observational Status // Astrophysics and Space Science. – 2012. – Vol. 342. – P. 155–228.

9 Capozziello, S., De Laurentis, M. Extended Theories of Gravity // Physics Reports. – 2011. – Vol. 509. – P. 167–321.

10 Harko, T., Lobo, F. S. N. Extensions of f(R) Gravity : Curvature–Matter Couplings and Hybrid Metric–Palatini Theory // Galaxies. – 2014. – Vol. 2. – P. 410–465.

11 Joyce, A., Jain, B., Khoury, J., Trodden, M. Beyond the Cosmological Standard Model // Physics Reports. – 2015. – Vol. 568. – P. 1–98.

12 Koyama, K. Cosmological Tests of Modified Gravity // Reports on Progress in Physics. – 2016. – Vol. 79. – P. 046902.

13 Ezquiaga, J. M., Zumalacárregui, M. Dark Energy in Light of Multi-Messenger Gravitational-Wave Astronomy // Frontiers in Astronomy and Space Sciences. – 2018. – Vol. 5. – P. 44.

14 Baker T., et al. Strong Constraints on Cosmological Gravity from GW170817 and GRB170817A // Physical Review Letters. – 2017. – Vol. 119. – P. 251301.

15 Aghanim N., et al. Planck 2018 Results: Cosmological Parameters // Astronomy and Astrophysics. – 2020. – Vol. 641. – P. A6.

16 Riess, A. G., et al. A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant // Astrophysical Journal. – 2021. – Vol. 908. – P. L6.

17 Di Valentino, E., et al. Cosmology Intertwined: An Overview // Classical and Quantum Gravity. – 2021. – Vol. 38. – P. 153001.

18 Odintsov, S. D., Oikonomou, V. K. Geometric Inflation in f(R) Gravity // Physics of the Dark Universe. – 2016. – Vol. 12. – P. 37–49.

REFERENCES

1 Yerzhanov, K., Myrzakul, Sh., Kenzhalin, D., Khurshudyan, M., Duman, K. Interacting $\omega(q)$ dark energy model with phase space analysis. Modern Physics Letters A, 2021. – Vol. 36. – art. 2150222. – <https://doi.org/10.1142/S0217732321502229>.

2 Yerzhanov, K., Bauyrzhan, G., Altaibayeva, A., Myrzakulov, R. Inflation from the Symmetry of the Generalized Cosmological Model. Symmetry, 2021. – Vol. 13. – 2254. – <https://doi.org/10.3390/sym13122254>.

3 Ivanov, I. I., Petrov, P. P. Modifitsirovannaya gravitatsiya i k-essentsiya okolo chernykh dyr [Modified gravity and k-essence near black holes.]. Journal of Theoretical Physics, 2024. – Vol. 58. – № 4. – P. 123–145.

4 Yerzhanov, K., Myrzakul, Sh., Kenzhalin, D., Khurshudyan, M., Duman, K. Interacting $\omega(q)$ dark energy model with phase space analysis. Modern Physics Letters A, 2021. – Vol. 36. – art. 2150222.

5 Aljohani, M. A., Mahmoud, E. E., Yerzhanov, K., Sergazina, A. Toward the Alleviation of the H₀ Tension in Myrzakulov f(R,T) Gravity. Universe, 2025. – Vol. 11. – № 8. – article 252. – <https://doi.org/10.3390/universe11080252>.

6 Clifton, T., Ferreira, P. G., Padilla, A., Skordis, C. Modified Gravity and Cosmology // Physics Reports. – 2012. – Vol. 513. – P. 1–189.

7 Nojiri, S., Odintsov, S. D. Unified Cosmic History in Modified Gravity : From F(R) Theory to Lorentz Non-Invariant Models // Physics Reports. – 2011. – Vol. 505. – P. 59–144.

8 Bamba, K., Capozziello, S., Nojiri, S., Odintsov, S. D. Dark Energy Cosmology: Theoretical and Observational Status // Astrophysics and Space Science. – 2012. – Vol. 342. – P. 155–228.

9 Capozziello, S., De Laurentis, M. Extended Theories of Gravity // Physics Reports. – 2011. – Vol. 509. – P. 167–321.

10 Harko, T., Lobo, F. S. N. Extensions of f(R) Gravity: Curvature–Matter Couplings and Hybrid Metric–Palatini Theory // Galaxies. – 2014. – Vol. 2. – P. 410–465.

11 Joyce, A., Jain, B., Khoury, J., Trodden, M. Beyond the Cosmological Standard Model // Physics Reports. – 2015. – Vol. 568. – P. 1–98.

12 Koyama, K. Cosmological Tests of Modified Gravity // Reports on Progress in Physics. – 2016. – Vol. 79. – P. 046902.

13 Ezquiaga, J. M., Zumalacárregui, M. Dark Energy in Light of Multi-Messenger Gravitational-Wave Astronomy // Frontiers in Astronomy and Space Sciences. – 2018. – Vol. 5. – P. 44.

14 **Baker T., et al.** Strong Constraints on Cosmological Gravity from GW170817 and GRB170817A // *Physical Review Letters*. – 2017. – Vol. 119. – P. 251301.

15 **Aghanim N., et al.** Planck 2018 Results: Cosmological Parameters // *Astronomy and Astrophysics*. – 2020. – Vol. 641. – P. A6.

16 **Riess, A. G., et al.** A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant // *Astrophysical Journal*. – 2021. – Vol. 908. – P. L6.

17 **Di Valentino, E., et al.** Cosmology Intertwined: An Overview // *Classical and Quantum Gravity*. – 2021. – Vol. 38. – P. 153001.

18 **Odintsov, S. D., Oikonomou, V. K.** Geometric Inflation in $f(R)$ Gravity // *Physics of the Dark Universe*. – 2016. – Vol. 12. – P. 37–49.

Поступило в редакцию 24.10.25.

Поступило с исправлениями 11.11.25.

Принято в печать 02.12.25.

*К. К. Ержанов¹, Н. Ф. Назарова², Г. Б. Бауыржан³

^{1,2,3} Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

24.10.25 ж. баспаға түсті.

11.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

02.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАРА ҚҰРДЫМДАР АЙНАЛАСЫНДАҒЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ҚОЗҒАЛЫС ДИНАМИКАСЫ К-ЭССЕНЦИЯ ТЕОРИЯСЫ АЯСЫНДА

Бұл ғылыми жұмыста к-эссенциясы бар жалтыланған гравитация теориясы шеңберінде алынған шешімдерге терең теориялық талдау ұсынылады. Талдау статикалық кеңістік-уақытты сипаттайтын таңдалған сферикалық-симметриялық метрика негізінде жүргізілді. Зерттеу қарастырылып отырған көпқабатты кеңістіктің геометриялық және физикалық сипаттамаларын егжей-тегжейлі талдауға бағытталған. Қара құрдымдар сияқты ықшам астрофизикалық нысандар маңындағы сынақ бөлшектерінің қозғалыс теңдеулері зерттелді. Геодезиялық теңдеулерді шешу нәтижесінде тұрақты, жиырылатын және кеңейетін спиральды траекторияларды сипаттайтын аналитикалық тәуелділіктер алынды. Классикалық Шварцшильд метрикасымен салыстырмалы талдау модификацияланған

метриканың қосымша параметрлері жаңа физикалық әсерлердің, соның ішінде жалпы салыстырмалылық теориясында кездеспейтін тұрақты спиральды орбиталардың пайда болуына әкелетінін көрсетті. Құрылған модельдер модификация параметрлерінің нөлдік емес мәндері қозғалыс траекториясына және қара құрдым көлеңкесінің бұрыштық радиусына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті, бұл тікелей астрофизикалық маңызға ие. Бұл алынған теориялық нәтижелердің бақылау арқылы тексерілу мүмкіндігін дәлелдейді. Жүргізілген талдау нәтижелері бақылау деректерін түсіндіруде, баламалы гравитациялық модельдердің параметрлерін нақтылауда және күшті гравитациялық өрістердегі кеңістік-уақытты сипаттау әдістерін жетілдіруде қолданылуы мүмкін. Осылайша, зерттеу қазіргі релятивистік астрофизика мен гравитация теориясының дамуына маңызды үлес қосады.

Кілтті сөздер: Жалтыланған гравитация теориясы; Эйнштейн теңдеулері; энергия-импульс тензоры; геодезиялық теңдеулер; к-эссенция.

*К. К. Yerzhanov¹, N. G. Nazarova², G. B. Bauyrzhan³

^{1,2,3} L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 24.10.25.

Received in revised form 11.11.25.

Accepted for publication 02.12.25.

DYNAMICS OF PARTICLES IN THE VICINITY OF BLACK HOLES IN K-ESSENCE MODELS

This scientific work presents an in-depth theoretical analysis of solutions within the framework of the generalized theory of gravity with k-essence. The analysis is based on a chosen spherically symmetric metric that describes a static spacetime. The study is aimed at a detailed investigation of the geometric and physical characteristics of the considered manifold. The equations of motion of test particles near compact astrophysical objects, such as black holes, are analyzed. By solving the geodesic equations, analytical dependencies describing stable, contracting, and expanding spiral trajectories have been obtained. A comparative analysis with the classical Schwarzschild metric has shown that the presence of additional parameters in the modified metric leads to the emergence of new physical effects, including stable spiral orbits absent

in the framework of classical general relativity. The constructed models demonstrate that nonzero values of the modification parameters have a significant influence on the motion trajectory and on the angular radius of the black hole shadow, which has direct astrophysical significance. This indicates the possibility of observational verification of the obtained theoretical predictions. The results of the analysis can be used to interpret observational data, refine the parameters of alternative gravitational models, and further develop methods for describing spacetime in strong gravitational fields. Thus, this study makes an important contribution to the development of modern relativistic astrophysics and the theory of gravity.

Keywords: Generalized theory of gravity; Einstein equations; energy–momentum tensor; geodesic equations; *k*-essence.

FTAMP 41.17.31

<https://doi.org/10.48081/NVJK8973>

**Ә. Д. Әсілхан^{1,2}, М. Т. Қаламбай^{2,3}, А. Б. Өтебай³,
*А. Б. Сақан⁴, Н. М. Үсіпов⁵**

¹Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

²Хериот-Уатт университеті Қазақстан кампусы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.;

³В. Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институт, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

^{4,5}Электроника және астрофизика кафедрасы, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6428-2084>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0570-7270>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3041-547X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8784-4470>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>

*e-mail: sakan_aknur1@kaznu.edu.kz

TORCH: МАГНИТОГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ АСТРОФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Астрофизика ғарыштық объектілердің физикалық қасиеттерін, олардың пайда болу механизмдерін, эволюциялық динамикасын және ғарыштық кеңістікте жүретін күрделі көпфакторлы физикалық процестерді зерттейтін іргелі ғылым саласы. Әсіресе жұлдыздардың түзілуі мен галактикалардың қалыптасуын сипаттайтын теориялық модельдерді тек бақылау деректеріне сүйене отырып толық әрі жан-жақты түсіндіру жеткіліксіз. Осыған байланысты қазіргі астрофизикалық зерттеулерде есептеу модельдеуі мен сандық симуляциялар негізгі зерттеу әдістерінің бірі ретінде кеңінен қолданылады. Бұл жұмыста молекулалық бұлттарда жұлдыз түзілу процестерін зерттеуге бағытталған Torch бағдарламалық кешенінің функционалдық мүмкіндіктері қарастырылды. Бағдарламалық жасақтаманың архитектуралық құрылымы, есептеу тиімділігін арттыруға арналған алгоритмдік шешімдері және магнитогидродинамикалық әдістерді қолдану

ерекшеліктері егжей-тегжейлі талданды. Әртүрлі кеңістіктік тор ажыратымдылықтарында жүргізілген сандық модельдеулер есептеу нәтижелерінің тұрақтылығын, дәлдігін және ресурстарды пайдалану тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері Torch бағдарламасының жоғары өнімді суперкомпьютерлік инфрақұрылымды міндетті түрде талап етпей, көп ядролы дербес компьютерлерде, соның ішінде 8 ядролы процессорлар негізіндегі жүйелерде де, тиімді жұмыс істей алатынын көрсетті. Бұл Torch кешенін жұлдыз түзілу процестерін сандық модельдеу саласында қолжетімді, икемді және перспективалы зерттеу құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: магнитогидродинамика, жұлдыз түзілуі, сандық модельдеу, Torch, астрофизикалық модельдеу, есептеу тиімділігі.

Кіріспе

Ғарыш кеңістігін зерттеудің негізгі әдістеріне жоғары ажыратымдылықты космостық телескоптар арқылы бақылау және Жерге жақын объектілерге зерттеу жерсеріктерін жіберу жатады. Дегенмен, бұл әдістер алыс объектілердің толық эволюциясын зерттеуге мүмкіндік бермейді, тек белгілі бір сәттегі күйін көруге мүмкіндік береді. Осындай шектеулерді жеңу үшін суперкомпьютерлердің рөлі маңызды, өйткені олардың есептеу қуаты күрделі астрофизикалық процестерді модельдеуге мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта жұлдыздық кластерлердің түзілуін зерттеуде бірнеше бағдарламалық кешендер қолданылады: STARFORGE [1], SPH және AREPO [2]. Torch бағдарламалық кешені [3;4] молекулалық бұлттардан жұлдыздардың қалыптасуын модельдеуге арналған заманауи құрал болып табылады. Бағдарламаның бірегейлігі – жұлдыздар мен газ арасындағы физикалық кері байланыс механизмдерін, соның ішінде жұлдыздық желдер, ультракүлгін сәулелену, протожұлдыз джеттері, радиациялық қысым және суперноваларды модельдеуде. Сонымен қатар, Torch магнитогидродинамикалық әсерлерді, өздік гравитацияны, жұлдыз эволюциясын және динамикалық өзара әсерлерді біріктіреді.

Torch платформасы бірнеше маңызды зерттеулерде қолданылды: қосарлы жұлдыздардың динамикасы мен кластер эволюциясын талдау [5], ерте қалыптасқан массивті жұлдыздардың кейінгі жұлдыз түзілуіне әсері [6], үлкен молекулалық бұлттардан жұлдыз түзілуін модельдеу [7], сондай-ақ орталыққа шоғырланған газ профилінен субкластерлердің пайда болуы [8]. Бұл жұмыстар Torch бағдарламасының жұлдыз түзілу физикасының әртүрлі аспектілерін зерттеуде әмбебаптығын көрсетеді.

Осы жұмыста Torch бағдарламасының орнату процесі, негізгі компоненттері, конфигурация параметрлері және практикалық қолдану әдістері егжей-тегжейлі қарастырылады. Мақала ғарыш кеңістігін зерттеу және есептеу дағдыларын дамыту мақсатында оқырмандарға бағдарламаға кіріспе ретінде қызмет етеді.

Мақаланың құрылымы: 2-бөлімде сандық әдістер мен эталондық симуляция конфигурациялары сипатталады, сондай-ақ есептеу нәтижелері мен ресурстарды пайдалану талдауы ұсынылады. Соңында, 4-бөлімде жұмыстың қорытындылары келтіріледі.

Материалдар мен әдістер

Torch бағдарламалық кешені жұлдызды кластерлердің газдан қалыптасуын модельдеу үшін әзірленген [3;4] және AMUSE (Astrophysical Multipurpose Software Environment) платформасына негізделген [9;10;11;12], ол әртүрлі астрофизикалық кодтарды біріктіріп, олардың өзара әрекеттесуін қамтамасыз ететін бірыңғай платформа болып табылады. Torch құрамына FLASH 4.6.2 – магнитогидродинамикалық (МГД) код [13, 14], SeBa – жұлдыздардың эволюциясын модельдейтін код [17;18], ph4 – төртінші ретті Эрмит N-дене динамикасын шешуші [19], SmallN – аз санды дене жүйелерінің динамикасын есептеу коды, Multiples – симуляция барысында динамикалық түрде пайда болатын жақын қосарлы жұлдыздар мен аз санды денелердің өзара әсерлесуін реттейтін модуль кіреді. FLASH адаптивті тор нақтылау (Adaptive Mesh Refinement, AMR) әдісін қолданады және газдың динамикасын жоғары дәлдікпен модельдейді; біз HLLD (Harten-Lax-van Leer-Discontinuities) Риман шешкішін үшінші ретті параболалық кесек әдісімен (Piecewise Parabolic Method, PPM) қайта құрумен қолданамыз [15;16]. SeBa модулі жұлдыздардың массасы мен жасына байланысты олардың физикалық параметрлерінің өзгерісін есептейді, ph4 коды жұлдыздардың гравитациялық өзара әсерін жоғары дәлдікпен модельдейді, SmallN аз санды дене жүйелерінің динамикасын есептейді, ал Multiples модулі динамикалық түрде пайда болатын қосарлы жұлдыздар мен аз санды денелердің өзара әсерлесуін реттейді.

Жұлдыздық және газды компоненттерді біріктіру үшін біз BRIDGE әдісінің нұсқасын қолданамыз [12], ол әртүрлі интеграция схемаларын біріктіру үшін Гамильтониан бөлу (Hamiltonian splitting) әдісін ұсынады. Өзара әрекеттесу «kick-drift-kick» тізбегімен жүзеге асырылады: жұлдыздар газдың гравитациялық өрісінен жылдамдық жаңартуын алады, ph4 коды арқылы өздерінің ішкі N-дене динамикасы бойынша эволюцияланады, содан кейін қайтадан газдан жаңартулар алады; газ да ұқсас тізбекті өтеді, жұлдыздардан үдеулер алады және FLASH арқылы гидродинамикалық эволюцияланады. Өзара күштер жұлдыздардың массаларын AMR торына

cloud-in-cell схемасымен салу және FLASH мультигрид әдісімен потенциалды шешу арқылы біркелкі есептеледі, бұл импульстің сақталуын және байланыстағы симметрияны қамтамасыз етеді.

Газ еркін құлау уақыты масштабында жиналады $t_{ff} = \sqrt{3\pi/(32G\rho)}$, тығыздық артқан сайын еркін құлау уақыты қысқарады, бұл құлауды жеделдетеді. Бұл симуляцияларда жұлдыз түзілуін шешуді қиындатады, өйткені құлауды шешу үшін қажетті уақыт қадамдары азаяды; мұны шешу үшін біз тығыз газ аймақтарын sink бөлшектеріне жинаймыз, FLASH-та енгізілген әдіспен. Біз sink шектік тығыздығын ρ_{sink} және аккреция радиусын $r_{sink} = \Delta x_{min}$ ең кіші ұяшық өлшемінде Джинс ұзындығы $\lambda_J = 6\Delta x_{min} = 2r_{sink}$ шартын қанағаттандыратындай етіп белгілейміз, бұл [27] критерийінің өзгертілген нұсқасы және жоғары нақтылау деңгейлері үшін локальды Джинс ұзындығы кем дегенде алты тор ұяшықтарымен шешілу керек деген талабына сәйкес келеді.

Тығыздық ρ_{sink} асқанда және сипаттаған байланыс пен жинақталу критерийлері орындалғанда, r_{sink} ішіндегі барлық тығыз газбен sink бөлшек құрылады; қалыптасқаннан кейін sink бөлшек өзінің аккреция радиусы ішіндегі шектік тығыздықтан асатын барлық массаны жинайды, қабаттасқан аккреция аймақтарында табылған масса массалар центріне ең жақын sink-ке аккрецияланады. Әрбір sink бөлшек құрылған кезде Пуассон таңдауы арқылы кездейсоқ тартылған жұлдыздық массалар тізімін алады, массалар бастапқы масса функциясынан (IMF) $M_{min} = 0.08M_{\odot}$ -ден $M_{max} = 150M_{\odot}$ -ға дейін іріктеледі, ал әрбір sink жеткілікті масса жинаған сәтте тізімдегі келесі жұлдызды қалыптастырады.

Torch бағдарламасының ерекшелігі – жұлдыздар мен газ арасындағы күрделі кері байланыс процестерін егжей-тегжейлі модельдеуі [3;4]. Бұл процестер жұлдыз түзілу тиімділігін реттеп, кластердің эволюциясына айтарлықтай әсер етеді.

Сәулелену тасымалы FERVENT модулімен өңделеді, ол ENZO кодына енгізілген сәуле трассировка алгоритмін қолданады. Иондаушы фотондардың жарықтығы мен орташа фотон энергиялары жұлдыздық массалар мен жастарға негізделіп анықталады: $T^* > 2.75 \times 10^4$ K жұлдыздар үшін мәндер OSTAR2002 торынан интерполяцияланады, ал салқынырақ жұлдыздар үшін олар абсолют кара дене спектрлерінен бағаланады. Иондануды жылытуды фотон энергиялары мен сутегінің иондану потенциалының айырмасы арқылы есептейміз. Сонымен қатар, 5.6–13.6 эВ диапазонындағы алыс-УК фотондары да қосылады, олар шаңмен сіңірілетіндіктен фотоэлектрондарды шығарады. Төмен массалы массивті жұлдыздар үшін ($7 \lesssim M/M_{\odot} \lesssim 13$) алыс-УК жарықтығы иондаушы сәулеленуге жақындайды. Шаң танекшелері бүлінетін

аймақтарда физикалық емес суытудың алдын алу үшін 3×10^6 K-ден салқын газға шектелген [35].

Жұлдыздық желдер импульс инъекциясы схемасымен енгізілген, бұл әдіс [36] сипаттаған әдістің инверсиясына негізделген. Массивті жұлдыздар ($M > 7 M_{\odot}$) жел арқылы масса мен импульсті айналасындағы газға таратады. Әрбір желдік бөлшек өзінің траекториясы бойымен қозғалып, газбен өзара әрекеттесіп, энергия мен импульс береді. Бұл процесс газдың термодинамикасын өзгертеді және жаңа жұлдыз түзілу аймақтарын реттеуге ықпал етеді.

Torch келесі кері байланыс механизмдерін біріктіреді: фотоиондану арқылы H II аймақтарын құру және газды қыздыру; радиациялық қысым арқылы фотондар импульсін газға беру; жұлдыздық желдер арқылы механикалық энергия мен импульс инъекциясы; алыс-УК сәулеленуі арқылы шаңмен сіңірілген фотоэлектрондық қыздыру. Бұл процестердің біріккен әсері газды үлестіреді, жұлдыз түзілуін реттейді және кластердің құрылымын қалыптастырады.

Torch бағдарламасының ресми сайты: <https://torch-sf.bitbucket.io/>. Бұл сайтта бағдарламаның егжей-тегжейлі құжаттамасы, қолданушы нұсқаулықтары және мысалдар орналастырылған. Torch үнемі дамып отырады, әртүрлі кодтар мен эффекттерге арналған егжей-тегжейлі tag-тар мен нұсқаларды келесі адресстен жүктеуге болады: негізгі репозиторий <https://bitbucket.org/torch-sf/torch/src/main/>.

Torch бағдарламасының есептеу тиімділігін бағалау үшін эталондық симуляциялар сериясы жүргізілді. Барлық есептер 13.75 pc жақты текше доменінде орындалды, бастапқы газ конфигурациясы 5.5 pc радиусты және $2.5 \times 10^3 M_{\odot}$ массалы турбулентті молекулалық бұлт ретінде берілді. Газ бен жұлдыздық компоненттердің бастапқы тығыздық профилдері Пламмер үлестірімімен моделденді, мұндағы радиус $a = 1.1$ pc. Симуляциялар адаптивті тор нақтылау (AMR) әдісіне негізделген: базалық тор 16^3 ұяшықтан тұрады (1-деңгей), минималды нақтылау деңгейі 2, ал максималды деңгей $n = 3-6$ аралығында өзгереді. Әр симуляция nXsY форматымен аталады, мұндағы X – нақтылау деңгейі, Y – кездейсоқ seed. Нақтылау деңгейіндегі максималды ұяшықтар саны $Cells_{max} = 16 \times 2^{(n-1)}$ формуласымен есептеледі, бұл симуляциялардың масштабтау тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер мен талқылау

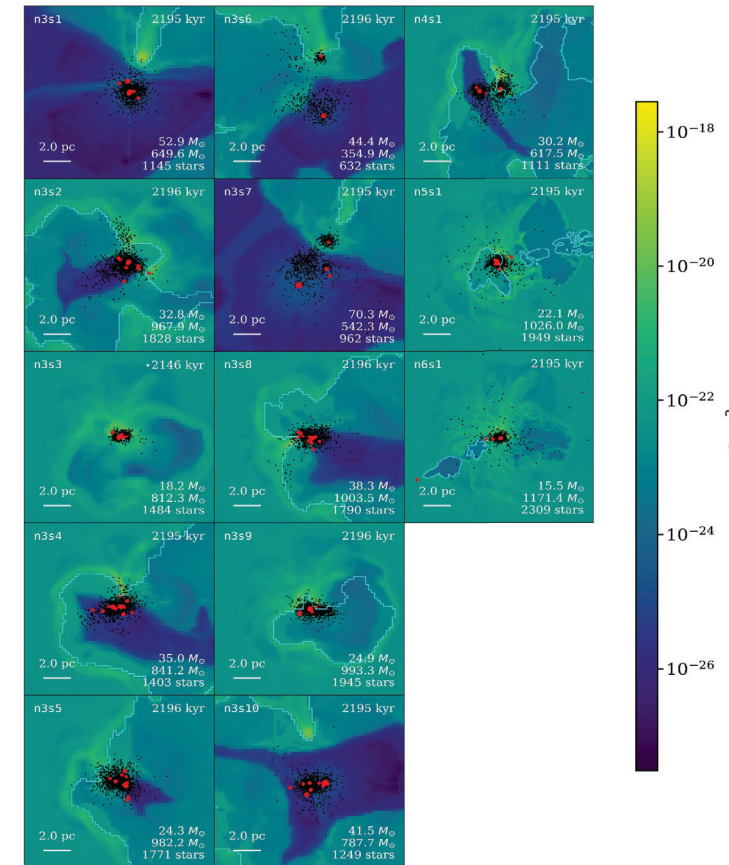
1-сурет әртүрлі максималды тор ажыратымдылықтарында 4 t_{ff} уақытындағы газ тығыздығы мен жұлдыздардың таралуын көрсетеді [8]. Иондану фронттары көк контурлармен белгіленген, жұлдыздар кара нүктелермен, ал массивті жұлдыздар массаға пропорционалды қызыл белгішелермен көрсетілген. Әр панельде физикалық масштаб (2.0 pc), ең

массивті жұлдыздың массасы, жалпы жұлдыздық масса, жұлдыздар саны, модель атауы және симуляция уақыты көрсетілген. Газ тығыздығы г/см^3 бірліктерінде берілген. n3s3 моделі (★) $4 t_{ff}$ -тен 40 күг ерте көрсетілген, себебі кейін $60 M_{\odot}$ жұлдызы пайда болады; сол мезетте кері байланысты $18 M_{\odot}$ жұлдызы анықтайды.

Сурет жұлдыз түзілу эволюциясының негізінен жұлдыздық кері байланыс арқылы басқарылатынын көрсетеді. Өртүрлі рұқсат деңгейлерінде газдың жалпы морфологиясы, ионданған көпіршіктердің кеңеюі және жұлдыз түзілу динамикасы сапалық тұрғыда ұқсас болып, бұл көбіне ең массивті жұлдыздардың массасына тәуелді. Модельдерді салыстыру (n3s2–n4s1, n3s9–n5s1, n3s3–n6s1) иондану аймақтарының ұқсастығын растайды, бұл $n=3$ деңгейінде алынған негізгі қорытындылардың сенімді екенін дәлелдейді. Сондай-ақ субкластерлердің қалыптасуы тек жоғары ажыратымдылықта емес, төмен деңгейде де байқалады (мысалы, n4s1 және n3s3).

Әр нақтылау деңгейінде Torch симуляцияларын іске қосу үшін қажетті минималды процессор ядролары бағаланды: $n=3$, 4, 5 және 6 деңгейлеріне сәйкесінше шамамен 8, 32, 48 және 96 ядро қажет. Бұл мәндер refinement критерийлері мен блоктар санына байланысты өзгеруі мүмкін, себебі AMR динамикалық түрде торды майдалап немесе ірілендіріп отырады, ал есептеу жүктемесі рұқсат деңгейімен экспоненциалды түрде өседі.

Талдау нәтижелері көрсеткендей, $n=3$ нақтылау деңгейі жұлдыз түзілу процесіндегі негізгі физикалық белгілерді – иондану фронттарын, радиациялық және механикалық кері байланысты, газдың жіпшелі құрылымдарын және субкластерлердің қалыптасуын – жеткілікті түрде дұрыс бейнелейді. Ең маңыздысы, бұл деңгейдегі симуляцияларды 8 ядролы дербес компьютерде де жүргізуге болады, яғни Torch қолдану үшін міндетті түрде суперкомпьютер қажет емес. Күрделі есептерді $n=4$ деңгейінде орташа қуатты кластерлерде (≥ 32 ядро), ал жоғары ажыратымдылықтағы зерттеулерді $n=5$ –6 деңгейінде жоғары өнімділікті есептеу жүйелерінде жүргізуге болады.



1-сурет – Өртүрлі максималды тор ажыратымдылықтарында $4 t_{ff}$ уақытында газ тығыздығы мен жұлдыздардың таралуы көрсетілген. Иондану фронттары көк контурлармен бейнеленген, жұлдыздар қара нүктелермен, ал массивті жұлдыздар массаға пропорционалды қызыл белгішелермен көрсетілген. Әр панельде физикалық масштаб, симуляция уақыты, ең массивті жұлдыздың массасы және жалпы жұлдыздар саны берілген. n3s3 моделінде (★) $4 t_{ff}$ – тен 40 күг бұрынғы мезет көрсетілген, бұл уақытта кері байланысты $18 M_{\odot}$ массалы жұлдыз анықтайды.

Осылайша, Torch төменгі ажыратымдылықта ($n=3$) жұлдыз түзілуінің негізгі физикалық эффекттерін қайталай отырып, қарапайым дербес компьютерлерден суперкомпьютерлерге дейін өртүрлі платформаларда

жұмыс істейтін сенімді есептік құралға айналады. Бұл әсіресе дамушы елдердегі зерттеушілер үшін маңызды, себебі жеткілікті модельдік сапаға қол жеткізу үшін жоғары деңгейлі есептеу инфрақұрылымының болуы міндетті емес.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын ЖТН АР26102895 гранты аясында жүзеге асырылды.

Қорытынды

Жүргізілген эталондық есептеулер Torch кешенінің жұлдыз түзілу процестерін модельдеуде есептеу ресурстарын тиімді пайдалана алатынын көрсетті. AMR әдісімен орындалған симуляциялар ең массивті жұлдыздардың кері байланысы газ динамикасын басым басқаратынын және жұлдыздық субкластерлердің қалыптасуы төмен ажыратымдылықта да дұрыс қайталанатынын көрсетті. Нәтижелерге сәйкес, $n=3$ нақтылау деңгейі физикалық маңызды процестерді жеткілікті дәлдікпен сипаттайды, және мұндай симуляцияларды 8 ядролы дербес компьютерде жүргізу мүмкін. Жоғары ажыратымдылықтар ($n=4-6$) иондану фронттарының геометриясын әрі қарай нақтылайды және олар орташа және жоғары өнімділікті есептеу кластерлерін талап етеді. Осылайша, Torch күрделі жұлдыз түзілу құбылыстарын зерттеу үшін масштабталатын және кең қолжетімді платформа болып табылады: ол қарапайым жұмыс станцияларынан бастап суперкомпьютерлерге дейін тиімді жұмыс істейді және есептеу астрофизикасымен айналысқысы келетін ғылыми топтарға нақты мүмкіндіктер береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Hopkins, P. F., et al.** FIRE-2 simulations: Physics versus numerics in galaxy formation. MNRAS [Text]. – 2018. – Vol. 480. – P. 800.
- 2 **Springel, V.** E pur si muove: Galilean-invariant cosmological hydrodynamical simulations on a moving mesh. MNRAS [Text]. – 2010. – Vol. 401. – P. 791.
- 3 **Wall J. E., Mac Low M.-M., McMillan S. L. W., et.al.** Modeling of the effects of stellar feedback during star cluster formation using a hybrid gas and N-body method. ApJ [Text]. – 2020. – Vol. 904. – P. 192.
- 4 **Wall, J. E., McMillan, S. L. W., Mac Low, M.-M., et.al.** Collisional N-body dynamics coupled to self-gravitating magnetohydrodynamics reveals dynamical binary formation. ApJ [Text]. – 2019. – Vol. 887. – P. 62.

- 5 **Cournoyer-Cloutier, C., Sills, A., Harris, W. E., et.al.** Early evolution and three-dimensional structure of embedded star clusters. MNRAS [Text]. – 2023. – Vol. 521. – P. 1338.
- 6 **Lewis, S. C., McMillan, S. L. W., Mac Low, M.-M., et.al.** Early-forming Massive Stars Suppress Star Formation and Hierarchical Cluster. ApJ [Text]. – 2023. – Vol. 944. – P. 211.
- 7 **Polak, B., Mac Low, M.-M., Klessen, R. S., et.al.** Massive star cluster formation-II. Runaway stars as fossils of subcluster mergers. A&A [Text]. – 2024. – Vol. 690. – A94.
- 8 **Asilkhan, A., Mac Low, M.-M., Polak, B., et.al.** Centrally concentrated star formation in young clusters. Astronomy & Astrophysics [Text]. – 2025 (in preparation).
- 9 **Portegies Zwart, S., McMillan, S., Harfst, S., et al.** A multiphysics and multiscale software environment for modeling astrophysical systems. New Astronomy [Text]. – 2009. – Vol. 14. – P. 369.
- 10 **Pelupessy, F. I., van Elteren, A., de Vries, N., et.al.** The astrophysical multipurpose software environment. A&A [Text]. – 2013. – Vol. 557. – A84.
- 11 **Portegies Zwart, S., McMillan, S. L. W., van Elteren, E., et.al.** Multi-physics simulations using a hierarchical interchangeable software interface. Computer Physics Communications [Text]. – 2013. – Vol. 184. – P. 456.
- 12 **Portegies Zwart, S., Pelupessy, I., Martínez-Barbosa, C., et.al.** Multi-physics simulations of star cluster formation and evolution. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations [Text]. – 2020. – Vol. 85. – 105240.
- 13 **Fryxell, B., Olson, K., Ricker, P., et.al.** Flash: An adaptive mesh hydrodynamics code for modeling astrophysical thermonuclear flashes. ApJS [Text]. – 2000. – Vol. 131. – P. 273.
- 14 **Dubey, A., Antypas, K., Calder, A. C., et al.** Evolution of FLASH, a multi-physics scientific simulation code for high-performance computing. International Journal of High Performance Computing Applications . – 2014. – Vol. 28. – P. 225.
- 15 **Miyoshi, T., Kusano, K.** A multi-state HLL approximate Riemann solver for ideal magnetohydrodynamics. Journal of Computational Physics [Text]. – 2005. – Vol. 208. – P. 315.
- 16 **Colella, P., Woodward, P. R.** The piecewise parabolic method (PPM) for gas-dynamical simulations. Journal of Computational Physics [Text]. – 1984. – Vol. 54. – P. 174.
- 17 **Portegies Zwart, S. F., Verbunt, F.** Population synthesis of high-mass binaries. A&A [Text]. – 1996. – Vol. 309. – P. 179.

18 Toonen, S., Nelemans, G., Portegies Zwart, S. Supernova Type Ia progenitors from merging double white dwarfs-Using a new population synthesis model. A&A [Text]. – 2012. – Vol. 546. – A70.

19 McMillan, S., Portegies Zwart, S., van Elteren, A., Whitehead, A. Advances in Computational Astrophysics: Methods, Tools, and Outcome. ASPC [Text]. – 2012. – Vol. 453. – P. 129.

27.11.25 ж. баспаға түсті.

27.12.25 ж. түзетулерімен түсті.

15.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

А. Д. Асылхан^{1,2}, М. Т. Каламбай^{2,3}, А. Б. Отебай³,

*А. Б. Сакан⁴, Н. М. Усипов⁵

¹Алматинский университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы;

²Хериот-Уатт университет Казахстанский Кампус, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Республика Казахстан, г. Актюбе;

³Астрофизический институт имени В. Г. Фесенкова, Республика Казахстан, г. Алматы;

^{4,5}Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 27.11.25.

Поступило с исправлениями 27.11.25.

Принято в печать 15.12.25.

TORCH: ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Астрофизика является фундаментальной областью науки, изучающей физические свойства космических объектов, механизмы их формирования, эволюционную динамику, а также сложные многофакторные физические процессы, протекающие в космическом пространстве. В частности, теоретические модели, описывающие процессы звездообразования и формирования галактик, не могут быть полностью и всесторонне объяснены исключительно на основе наблюдательных данных. В связи с этим в современных астрофизических исследованиях численное моделирование и компьютерные симуляции широко применяются в качестве одного из

ключевых методов исследования. В данной работе рассматриваются функциональные возможности программного комплекса Torch, предназначенного для изучения процессов звездообразования в молекулярных облаках. Подробно проанализированы архитектурная структура программного обеспечения, алгоритмические решения, направленные на повышение вычислительной эффективности, а также особенности применения магнитогидродинамических методов. Численные моделирования, выполненные при различных пространственных разрешениях расчётной сетки, позволили оценить устойчивость, точность и эффективность использования вычислительных ресурсов. Полученные результаты показывают, что программный комплекс Torch не требует обязательного использования высокопроизводительной суперкомпьютерной инфраструктуры и может эффективно функционировать на многоядерных персональных компьютерах, включая системы на базе 8-ядерных процессоров. Это делает Torch доступным, гибким и перспективным инструментом для численного моделирования процессов звездообразования.

Ключевые слова: магнито-гидродинамика, звездообразование, численное моделирование, Torch, астрофизическое моделирование, вычислительная эффективность.

А. Д. Assilkhan^{1,2}, М. Т. Kalambay^{2,3}, А. Б. Otebay³,

*А. В. Sakan⁴, N. M. Ussipov⁴

¹Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Heriot-Watt University Kazakhstan Campus, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Republic of Kazakhstan, Aktobe;

³Fesenkova Astrophysical Institute, Republic of Kazakhstan, Almaty;

⁴Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 27.11.25.

Received in revised form 27.11.25.

Accepted for publication 15.12.25.

TORCH: TECHNOLOGY FOR MODELING MAGNETOHYDRODYNAMIC ASTROPHYSICAL PROCESSES

Astrophysics is a fundamental field of science that investigates the physical properties of cosmic objects, the mechanisms of their formation, their evolutionary dynamics, and complex multifactor physical processes

occurring in space. In particular, theoretical models describing star formation and galaxy formation cannot be fully and comprehensively explained solely on the basis of observational data. Therefore, numerical modeling and computational simulations are widely employed as key research methods in modern astrophysical studies. This work examines the functional capabilities of the Torch software package, which is designed to study star formation processes within molecular clouds. The architectural structure of the software, algorithmic solutions aimed at improving computational efficiency, and the specific features of implementing magnetohydrodynamic methods are analyzed in detail. Numerical simulations performed with various spatial grid resolutions made it possible to assess the stability, accuracy, and efficiency of computational resource usage. The results demonstrate that the Torch software package does not require mandatory access to high-performance supercomputing infrastructure and can operate efficiently on multi-core personal computers, including systems based on 8-core processors. This makes Torch an accessible, flexible, and promising tool for numerical modeling of star formation processes.

Keywords: magnetohydrodynamics, star formation, numerical modeling, Torch, astrophysical modeling, computational efficiency.

МРНТИ 29.37.03

<https://doi.org/10.48081/ALHC1407>

Н. А. Испулов¹, *А. Ж. Жумабеков², А. А. Кисабекова³

^{1,2}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³Павлодарский педагогический университет имени Э. Марғұлан, Республика Казахстан, г. Павлодар.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

*e-mail: almar89-89@mail.ru

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ ТЕРМОУПРУГИХ СРЕДАХ: МОДЕЛИРОВАНИЕ В WOLFRAM MATHEMATICA 11

В работе рассматривается задача моделирования распространения упругих волн в анизотропных термоупругих средах с помощью пакета Wolfram Mathematica 11. Математическая модель включает уравнения движения сплошной среды, соотношения Дюгамеля-Неймана, описывающие связь механических напряжений с температурными деформациями, уравнения теплопроводности Фурье, а также уравнение притока тепла без учёта внутренних тепловых источников. Полученная система связанных термомеханических уравнений приведена к матричной форме, что позволило применить метод матрицанта для дальнейшего моделирования. Для проведения численного анализа модель реализована в среде Wolfram Mathematica 11. Построены временные зависимости скорости частиц, компонентов напряжений и температуры. Проведён анализ полученных результатов, выявлено влияние теплового потока на характеристики упругих волн, а также определены особенности распространения термоупругих возмущений в различных анизотропных средах. Было промоделировано распространение упругих волн в анизотропных средах всех семи сингоний – кубической, тетрагональной, гексагональной, ромбической, тригональной, моноклинной и триклинной. Метод матрицанта позволяет получать точные аналитические решения дифференциальных уравнений, описывающих связанные процессы в средах с пьезоэлектрическими, пьезомагнитными, пьезоупругими, термоупругими и термо-пьезоэлектрическими свойствами.

Ключевые слова: упругие волны, анизотропная среда, метод матрицанта, дифференциальные уравнения, Wolfram Mathematica, моделирование.

Введение

Исследование распространения термоупругих волн в анизотропных средах является одной из значимых задач механики сплошной среды, поскольку сочетает в себе сложные взаимодействия механических и тепловых полей. Подобные процессы имеют важное фундаментальное значение и широкие практические приложения в неразрушающем контроле, дефектоскопии, разработке высокотемпературных и композитных материалов, а также в геофизике и материаловедении. Включение тепловых эффектов, таких как термоупругость, термоупругое затухание и тепловые источники, существенно усложняет описание волновых процессов, особенно в средах с выраженной анизотропией [1].

Математическое моделирование термоупругих волн основывается на системе связанных уравнений: уравнений движения сплошной среды, соотношений Дюгамеля-Неймана, описывающих влияние температуры на напряжённо-деформированное состояние, уравнений теплопроводности Фурье, а также уравнений притока тепла, учитывающих внутренние источники энергии [2]. Совместное рассмотрение таких уравнений приводит к необходимости формировать систему в матричном виде, что обеспечивает компактность представления и удобство последующего анализа [3, 4].

Одним из эффективных методов решения линейных систем дифференциальных уравнений первого порядка является метод матрицанта. Построение матрицанта позволяет получить фундаментальную матрицу решения и обеспечивает аналитическое описание динамических термомеханических процессов, включая взаимодействие тепловых и упругих возмущений. Применение этого метода в задачах термоупругости особенно ценно при рассмотрении анизотропных материалов, для которых характерны сложные связи между компонентами напряжений, деформаций и температурных полей [5].

В рамках данной работы проводится построение математической модели термоупругих волн, её приведение к матричной форме и аналитическое решение с использованием метода матрицанта. Для проведения численных расчётов и визуализации результатов применяется среда Wolfram Mathematica, что позволяет выполнять моделирование волновых процессов для различных анизотропных материалов, вычислять временные зависимости скорости частиц, напряжений и температуры, а также исследовать влияние теплового потока на распространение упругих возмущений [6].

Ранее в работе [7] получены аналитические решения системы дифференциальных уравнений первого порядка и выполнено численное моделирование для конкретных материалов, таких как кварц, сапфир и углепластики.

Целью данной работы является исследование распространения термоупругих волн в анизотропных средах и оценка эффективности применения метода матрицанта для решения связанных термомеханических задач. Научная новизна исследования заключается в комбинированном использовании матричной формы уравнений, метода матрицанта и термоупругой модели для анализа динамики волн в материалах с различной степенью анизотропии. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании композитных структур, оптимизации тепловых режимов эксплуатации материалов и развитии методов математического моделирования в механике сплошной среды.

Материалы и методы

Уравнения движения упругих сред без учета массовых сил имеют вид [3]:

$$\sigma_{ij,j} = \rho \ddot{U}_i \quad (1)$$

(1) перепишем в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{XX}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{XY}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{XZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_X}{\partial t^2} \\ \frac{\partial \sigma_{XY}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{YY}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{YZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_Y}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \sigma_{XZ}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{YZ}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{ZZ}}{\partial Z} = \rho \frac{\partial^2 U_Z}{\partial t^2}$$

Уравнения Дюгамеля – Неймана, связывающие механические и тепловые поля:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta_{ij} \theta \quad (2)$$

Уравнение теплопроводности Фурье для анизотропных сред:

$$\lambda_{ij} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} = -q_i \quad (3)$$

Уравнения притока тепла, без влияния источников тепла:

$$\frac{\partial q_i}{\partial x_i} = -i\omega \beta_{ij} \varepsilon_{ij} - i\omega \frac{c_\varepsilon}{T_0} \theta \quad (4)$$

Система уравнений (1) – (4) описывает распространение упругих волн в термоупругих анизотропных средах.

На основе метода разделения переменных система уравнений (1) – (4), приводится к системе дифференциальных уравнений 1-го порядка, описывающей распространение гармонических волн [6]

$$\frac{d\vec{W}}{dz} = B\vec{W} \quad (1.65)$$

Вектор $\vec{W}$ имеет вид

$$\vec{W}(x, y, z, t) = [u_z(z), \sigma_{zz}, u_x(z), \sigma_{xz}, u_y(z), \sigma_{yz}, \theta, q_z]^T \exp(i\omega t - imx - iny) \quad (1.66)$$

$B = B[c_{ijkl}(z), \beta_{ij}(z), \theta, \omega, m, n]$ – матрица коэффициентов (1.67)
где m, n – компоненты волнового вектора $\vec{k}$

Для кубической сингонии система дифференциальных уравнений 1-го порядка ранее получена в виде [6]:

$$\frac{dU_z}{dZ} = \frac{1}{c_{11}} \sigma_{zz} + \frac{c_{12}}{c_{11}} im U_x + \frac{c_{12}}{c_{11}} in_y U_y + \frac{\beta_{11}}{c_{11}} \theta$$

$$\frac{d\sigma_{zz}}{dZ} = -\rho\omega^2 U_z + im\sigma_{xz} + in\sigma_{yz}$$

$$\frac{dU_x}{dZ} = \frac{1}{c_{44}} \sigma_{zx} + im U_z$$

$$\frac{d\sigma_{xz}}{dZ} = im \frac{c_{12}}{c_{11}} \sigma_{zz} + \left[-\rho\omega^2 + m^2 \left(c_{11} - \frac{c_{12}^2}{c_{11}} \right) + c_{44} n^2 \right] U_x + mn \left(c_{12} + c_{44} - \frac{c_{12}^2}{c_{11}} \right) U_y + \left(\frac{c_{12}}{c_{11}} \beta_{11} - \beta_{11} \right) im \theta$$

$$\frac{dU_y}{dZ} = \frac{1}{c_{44}} \sigma_{yz} + in U_z$$

$$\frac{d\sigma_{yz}}{dZ} = in \frac{c_{12}}{c_{11}} \sigma_{zz} + mn \left[c_{12} + c_{44} - \frac{c_{12}^2}{c_{11}} \right] U_x + \left(-\rho\omega^2 + m^2 c_{44} - \left(c_{11} - \frac{c_{12}^2}{c_{11}} \right) n^2 \right) U_y + \left(\frac{c_{12}}{c_{11}} \beta_{11} - \beta_{11} \right) in \theta$$

$$\frac{d\theta}{dZ} = -\frac{1}{\lambda_{33}} q_z$$

$$\frac{dq_z}{dZ} = -i\omega \frac{\beta_{11}}{c_{11}} \sigma_{zz} + \omega m \left(\frac{c_{12}}{c_{11}} \beta_{11} - \beta_{11} \right) U_x + \omega n \left(\frac{c_{12}}{c_{11}} - 1 \right) \beta_{11} U_y - i\omega \left(c_\varepsilon + \frac{\beta_{11}^2}{c_{11}} \right) \theta$$

Также получены данные системы для других 6-ти классов анизотропных сред.

Результаты и обсуждение

Далее в среде Wolfram Mathematica проведем моделирование распространения термоупругих волн в кубической, тетрагональной и гексагональной средах. Параметры сред взяты из [8]:

Код для Mathematica имеет вид:

(* Определение физических параметров *)

materials = {

“Кубическая” -> {ρ -> 7800, “C11” -> 230*^9, “C12” -> 120*^9, “C44” -> 75*^9, “k” -> 15|>,

«Тетрагональная» -> {ρ -> 5000, «C11» -> 220*^9, «C12» -> 100*^9, «C44» -> 70*^9, «k» -> 12|>,

```
«Гексагональная» -> <|»р» -> 4800, «C11» -> 210*^9, «C12» -> 90*^9,  
«C44» -> 60*^9, «к» -> 10|>  
};
```

(* Уравнения движения *)

```
eqMotion[ρ_, C11_, C12_, C44_] := {{0, 1}, {-C11/ρ, -C12/ρ}};
```

(* Метод матрицанта (Matrix Exponential) *)

```
tmax = 1*10^-6;
```

```
timeSteps = 100;
```

```
timeRange = Range[0, tmax, tmax/timeSteps];
```

(* Решение уравнений и построение графиков *)

```
solutions =
```

```
Table[
```

```
Module[{ρ, C11, C12, C44, k, A, sol},
```

```
{ρ, C11, C12, C44, k} = Values@params;
```

```
A = eqMotion[ρ, C11, C12, C44];
```

```
sol = Table[MatrixExp[A*t].{0, 10}, {t, timeRange}];
```

```
{material, sol}
```

```
], {material, params} ∈ materials
```

```
];
```

(* Графики скорости частиц *)

```
speedPlots = Table[
```

```
ListLinePlot[
```

```
Transpose[{timeRange, sol[[All, 2]]}],
```

```
PlotStyle -> {Thick, ColorData[“DarkRainbow”][i]},
```

```
PlotLegends -> material,
```

```
AxesLabel -> {“Время (с)”, “Скорость (м/с)”}
```

```
],
```

```
{i, 1, Length[solutions]}, {material, sol} ∈ solutions
```

```
];
```

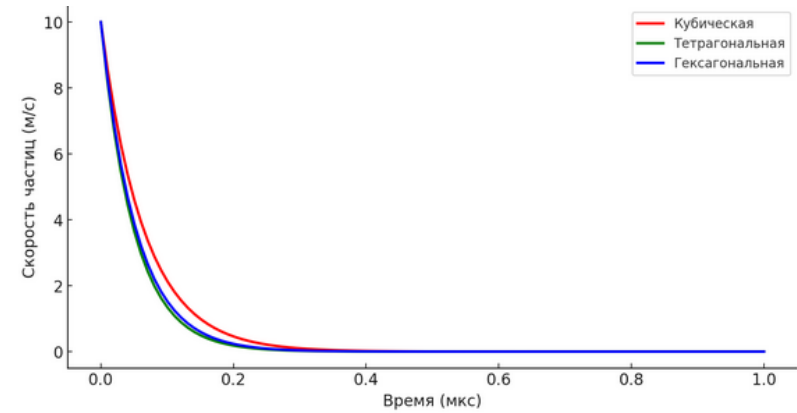


Рисунок 1 – Зависимость скорости частиц $v(t)$ от времени для кубической, тетрагональной и гексагональной сингоний

Из Рис.1 видно, что скорость частиц выше в средах с большей жесткостью (например, у кубической).

Далее в работе построены графики для ромбической, тригональной, моноклинной и триклинной сингоний и проведен анализ для всех семи сред. Для этого добавлены параметры новых сред (жесткость, плотность, теплопроводность); построены графики скорости частиц и температуры во времени.

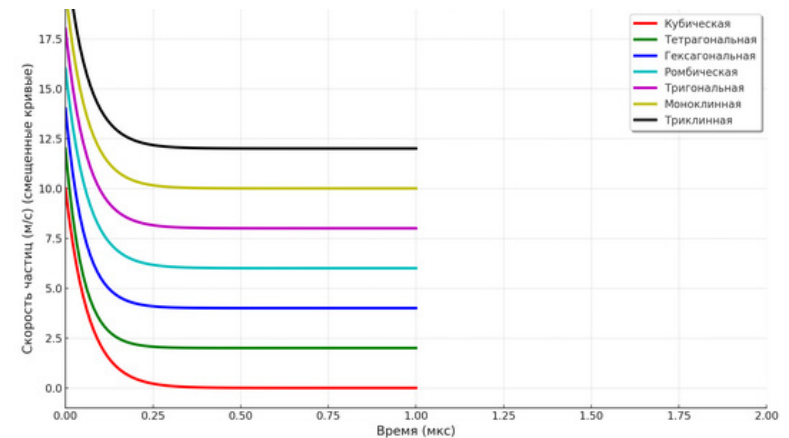


Рисунок 2 – График скорости частиц во времени для всех семи сингоний

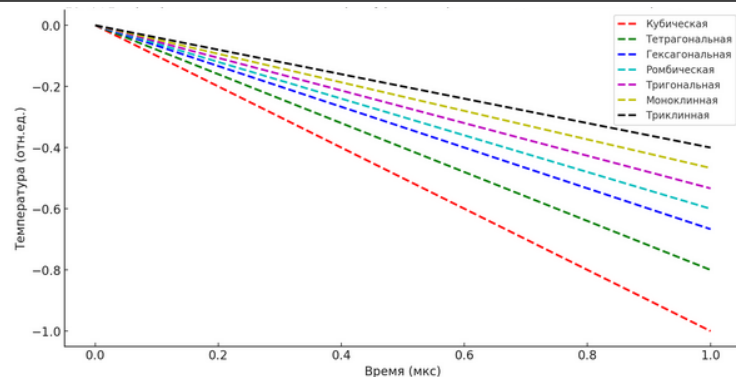


Рисунок 3 – График изменения температуры по времени для всех семи сингоний

Данные графики (Рис. 2, Рис. 3) демонстрируют значительное различие в динамике скорости частиц для семи кристаллических сред (кубическая, тетрагональная, гексагональная, ромбическая, тригональная, моноклиная, триклиная). Это обусловлено анизотропией упругих свойств [9, 10]:

- Кубическая и гексагональная среды показывают наибольшие значения амплитуд и скорости из-за высокой жесткости и симметрии структуры.

- Моноклинные и триклинные среды имеют наименьшие скорости и более сглаженные колебания, что связано с низкой упругостью и сильной анизотропией.

- Ромбическая и тригональная среды занимают промежуточное положение.

В начальный момент времени наблюдается резкое увеличение скорости частиц, что связано с начальной волновой возмущающей нагрузкой. Через некоторый промежуток времени скорости частиц демонстрируют осцилляции с постепенным затуханием, что указывает на внутренние процессы диссипации энергии в материале. Различные материалы показывают разные частоты колебаний, что соответствует их различным модулю упругости и плотности.

Среды с высокой теплопроводностью (например, сапфир) теряют энергию медленнее, что проявляется в более устойчивых осцилляциях скорости. В материалах с низкой теплопроводностью (например, углепластик) затухание скорости частиц происходит быстрее.

Если не учитывать объемные силы и тепловые эффекты, то амплитуды колебаний уменьшаются, а осцилляции становятся более регулярными. Это

показывает, что термомеханические взаимодействия значительно влияют на динамику упругих волн [6].

Выводы

В данной работе проведено моделирование распространения упругих волн в анизотропных термоупругих средах с применением Wolfram Mathematica 11. Было промоделировано распространение волн в анизотропных средах всех семи сингоний. Анализ графиков показал, что анизотропные свойства среды существенно влияют на характеристики волнового процесса, такие как скорость частиц и напряжение. Высокая упругость приводит к большей скорости колебаний, а низкая – к их сглаженности. Метод матрицанта позволяет эффективно моделировать процессы распространения упругих и электромагнитных волн и может быть использован для дальнейших исследований волн в сложных средах, включая композиты и кристаллические материалы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Теория упругости. – 3-е изд. – М. : Наука, 1987. – 248 с.
- 2 Bio, M. A. Mechanics of Incremental Deformations. – New York : Wiley, 1965. – 504 p.
- 3 Nowacki, W. Thermoelasticity. – Oxford : Pergamon Press, 1962. – 481 p.
- 4 Auld, B. A. Acoustic Fields and Waves in Solids. Vols. 1–2. – New York : Wiley–Interscience, 1973. – 423 p.
- 5 Tleukenov S. K. Matricant Method. Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 157 p.
- 6 Ispulov, N. A. Research of physical and mechanical processes of the propagation of thermoelastic waves in anisotropic media. Monograph. Pavlodar : «Toraighyrov University», 2025. – 147 p.
- 7 Испулов, Н. А., Каримова, Р. М., Омарова, Г. С., Даниярова, Ж. К., Капенова, М. М. О некоторых задачах распространения упругих волн в анизотропных материалах, Вестник Торайгыров университета. Серия физика, математика и компьютерные науки. – 2025. – № 2. – С. 197–211.
- 8 Nye, J. F. «Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices». – Oxford : Clarendon Press. – 1985 – 329 p.
- 9 Norris, A. N. «Elastic Wave Propagation in Anisotropic Materials». – In: «Wave Propagation in Structures». – Springer. – 2000 – P. 129–162.
- 10 Musgrave, M. J. P. «Crystal Acoustics: Introduction to the Study of Elastic Waves and Vibrations in Crystals». – New York : Dover Publications. – 2003 – 344 p.

REFERENCES

- 1 **Landau, L. D., Lifshic, E. M.** Teoriya uprugosti. – 3-e izd. – M. : Nauka, 1987. – 248 p. [in Russian]
- 2 **Bio, M. A.** Mechanics of Incremental Deformations. – New York : Wiley, 1965. – 504 p.
- 3 **Nowacki, W.** Thermoelasticity. – Oxford : Pergamon Press, 1962. – 481 p.
- 4 **Auld, B. A.** Acoustic Fields and Waves in Solids. Vol. 1–2. – New York : Wiley–Interscience, 1973. – 423 p.
- 5 **Tleukenov S. K.** Matricant Method. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 157 p.
- 6 **Ispulov, N. A.** Research of physical and mechanical processes of the propagation of thermoelastic waves in anisotropic media. Monograph. Pavlodar: «Toraighyrov University», 2025, 147 p.
- 7 **Ispulov, N. A., Karimova, R. M., Omarova, G. S., Daniyarova, Zh. K., Kapenova, M. M.** O nekotoryh zadachah rasprostraneniya uprugih voln v anizotropnykh materialah. [On some problems of elastic wave propagation in anisotropic materials] [Text]. Bulletin of Toraighyrov University. Physics, Mathematics & Computer Science series – 2025 – № 2 – P. 197–211 [in Russian].
- 8 **Nye, J. F.** «Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices». – Oxford : Clarendon Press. – 1985 – 329 p.
- 9 **Norris, A. N.** «Elastic Wave Propagation in Anisotropic Materials». – In: «Wave Propagation in Structures». – Springer. – 2000 – P. 129–162.
- 10 **Musgrave, M. J. P.** «Crystal Acoustics: Introduction to the Study of Elastic Waves and Vibrations in Crystals». – New York : Dover Publications. – 2003 – 344 p.

Поступило в редакцию 01.11.25.

Поступило с исправлениями 01.11.25.

Принято в печать 01.12.25.

*Н. А. Испулов¹, А. Ж. Жумабеков², А. А. Кисабекова³

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

³Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.11.25 ж. баспаға түсті.

01.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

01.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

WOLFRAM MATHEMATICA 11 ОРТАСЫНДА АНИЗОТРОПТЫ ТЕРМОСЕРПІМДІ ОРТАДАҒЫ СЕРПІМДІ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУЫ: МОДЕЛЬДЕУ

Бұл жұмыста Wolfram Mathematica 11 платформасының көмегімен анизотропты термосерпімді орталарда серпімді толқындардың таралуын модельдеу мәселесі қарастырылады. Математикалық модельге тұтас ортаның қозғалыс теңдеулері, механикалық кернеулер мен температуралық деформациялар арасындағы байланысты сипаттайтын Дюгамель-Нейман қатынастары, Фурье жылуөткізгіштік теңдеулері, сондай-ақ ішкі жылу көздерін есепке алмайтын жылу ағыны теңдеуі кіреді. Алынған термомеханикалық байланысқан теңдеулер жүйесі матрицалық формаға келтіріліп, әрі қарай модельдеу үшін матрицант әдісін қолдануға мүмкіндік берді. Сандық талдау жүргізу үшін модель Wolfram Mathematica 11 ортасында жүзеге асырылды. Бөліктер жылдамдығының, кернеу компоненттерінің және температураның уақыттық тәуелділіктері анықталды. Алынған нәтижелер талданып, жылу ағынының серпімді толқындарының сипаттамаларына әсері анықталды, сондай-ақ әртүрлі анизотропты орталарда термосерпімді қоздырулардың таралу ерекшеліктері айқындалды. Анизотропты орталардың барлық жеті сингониясы – кубтық, тетрагоналдық, гексагоналдық, ромбылық, тригоналдық, моноклиндік және триклиндік орталардағы серпімді толқындардың таралуына модельдеу жасалынды. Матрицант әдісі пьезоэлектрлік, пьезомагниттік, пьезосерпімді, термосерпімді және термопьезоэлектрлік қасиеттері бар орталардағы байланысқан процестерді сипаттайтын дифференциалдық теңдеулердің дәл аналитикалық шешімдерін алуға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: серпімді толқындар, анизотропты орта, матрицант әдісі, дифференциалдық теңдеулер, Wolfram Mathematica, модельдеу.

*N. A. Ispulov¹, A. Zh. Zhumabekov², A. A. Kissabekova³

^{1,2}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

³Margulan University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Поступило в редакцию 01.11.25.

Поступило с исправлениями 01.11.25.

Принято в печать 01.12.25.

PROPAGATION OF ELASTIC WAVES IN ANISOTROPIC THERMOELASTIC MEDIA: MODELING IN WOLFRAM MATHEMATICA 11

This work examines the problem of modeling the propagation of elastic waves in anisotropic thermoelastic media using platform Wolfram Mathematica 11. The mathematical model includes the equations of motion of a continuous medium, the Duhamel-Neumann relations describing the connection between mechanical stresses and thermal strains, Fourier's heat conduction equations, as well as the heat inflow equation without internal heat sources. The resulting system of coupled thermomechanical equations is transformed into a matrix form, which made it possible to apply the matricant method for further modeling. For the numerical analysis, the model was implemented in the Wolfram Mathematica 11 environment. Time-dependent behaviors of particle velocity, stress components, and temperature were constructed. The obtained results were analyzed, revealing the influence of heat flux on the characteristics of elastic waves, as well as identifying the specific features of thermoelastic disturbance propagation in various anisotropic media. The propagation of elastic waves was modeled for all seven crystal syngonies—cubic, tetragonal, hexagonal, orthorhombic, trigonal, monoclinic, and triclinic. The matricant method allows one to obtain exact analytical solutions of differential equations describing coupled processes in media with piezoelectric, piezomagnetic, piezoelastic, thermoelastic and thermo-piezoelectric properties.

Keywords: elastic waves, anisotropic medium, matricant method, differential equations, Wolfram Mathematica, modeling.

MPHTI 47.09.48; 31.15.19

<https://doi.org/10.48081/NNJW3985>

**Ж. Кули¹, М. Н. Бакранова², *Т. К. Идрисова³,
А. А. Алиакбарова⁴, Д. И. Бакранова⁵**

¹Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы;

²Dana High School, Республика Казахстан, село Жана-Куат

^{3,4}Research group Altair nanolab, Республика Казахстан, г. Алматы;

⁵SDU University, Республика Казахстан, г. Каскелен

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4577-6510>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5296-6557>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6352-0908>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-8279>

*e-mail: zhamauovatk@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ РАЗВИТЫХ 2D ZNO НАНОСТРУКТУР НА ГИБКОЙ УГЛЕРОДНОЙ ПОДЛОЖКЕ

В работе представлены исследования полученного композиционного материала на основе углеродной ткани с развитым слоистым покрытием из нанопластин ZnO. В связи с неоднородностью подложки, ограниченной проводимостью исходного материала и требованием точного контроля морфологии растущих наноструктур возникает необходимость методологической оптимизации процессов. При карбонизации хлопковой ткани, она сохраняет гибкость и целостность волокон, формируя проводящую структуру. Лазерная обработка повышает поверхностную проводимость и обеспечивает условия для равномерного электроосаждения.

Электрохимический синтез при отрицательном потенциале и последующая термическая обработка при 500°C приводит к образованию упорядоченных массивов ZnO с выраженной пластинчатой морфологией. Интерпретация результатов с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) и элементного картирования продемонстрировала равномерное, плотное распределение элементов и механическую стабильность образцов. Для стабилизации структуры и улучшения адгезионных свойств поверхности хлопковую ткань пропитывали раствором хитозана.

Сочетание гибкой углеродной подложки и слоистой структуры оксидных нанопластин делает материал перспективным для применения в гибридных электрохимических устройствах, сенсорах и фотокаталитических системах. Результаты демонстрируют возможность точного контроля морфологии и состава ZnO на гибкой подложке и подтверждают потенциал разработанного подхода для создания функциональных композиционных материалов.

Ключевые слова: углеродная ткань, карбонизация волокон, хитозановая модификация, пиролиз биополимера, лазерная графитизация, нанопластины, ZnO.

Введение

Формирование наноструктурированных оксидных покрытий на гибких углеродных подложках является одним из ключевых направлений развития материалов для фотоэлектрохимических, сенсорных и каталитических приложений [1; 2]. Особый интерес представляет синтез двумерных наноструктур ZnO. Они отличаются высокой кристалличностью, развитой поверхностью и устойчивыми электрофизическими характеристиками. Наноструктуры ZnO являются перспективными материалами для использования в гибридных фотокаталитических и электрохимических устройствах. Однако получение равномерного, механически стабильного и хорошо адгезированного покрытия ZnO на текстильных углеродных волокнах остаётся методологически сложной задачей, связанной с неоднородностью подложки, ограниченной проводимостью исходного материала и необходимостью точного контроля морфологии растущих наноструктур [3; 4].

В представленной работе описывается способ многостадийной модификации гибкой углеродной ткани с использованием хитозановой пропитки, с последующей термической стабилизации, лазерной графитизации и электроосаждения нанопластин ZnO. В результате будут сформированы развитые, равномерные и механически устойчивые наноструктурированные поверхности. Полученная структура пригодна для использования в фотокаталитических приложениях, включая фотоэлектрохимическую биосенсорику, фотоэлектрохимическое расщепление воды, а также фотокаталитическую очистку воздушных масс и воды.

Исследование направлено на создание гибких функциональных материалов, способных совмещать высокую механическую устойчивость углеродной ткани с каталитически активными свойствами ZnO. Многостадийная модификация подложки – включающая карбонизацию, пропитку биополимером, лазерную графитизацию и электрохимическое

осаждение позволяет целенаправленно управлять структурой, проводимостью и смачиваемостью поверхности [5; 6]. В свою очередь это обеспечивает условия для контролируемого роста пластинчатых наноструктур ZnO. Такой подход открывает возможности для разработки лёгких, гибких и технологичных композитов, способных работать в условиях многократных механических деформаций, что особенно важно для переносимых сенсоров, фотоэлектрохимических элементов и устройств очистки среды.

Актуальность исследования определяется растущим интересом к гибким фотокаталитическим и электрохимическим системам, которые требуют сочетания высокой проводимости, развитой активной поверхности и стабильности оксидных наноструктур на подложке. ZnO, обладающий широкой запрещённой зоной, химической стойкостью и выраженными поверхностными свойствами, является одним из наиболее востребованных оксидов для таких решений [7; 8; 9]. Разработка технологически воспроизводимого процесса формирования его двумерных нанопластин на углеродной ткани представляет научную и практическую значимость, поскольку обеспечивает создание композитного материала с регулируемыми свойствами и расширяет возможности его применения в системах очистки воздуха и воды, фотоэлектрохимическом водоразложении и сенсорике [10; 11].

Материалы и методы

Процесс формирования гибкой электропроводящей подложки включал карбонизацию хлопковой ткани в среде аргона с чистотой 99.9 %. Обработка осуществлялась в трубчатой печи при 500 °C в течение 90 минут, что обеспечивало равномерное удаление органической составляющей исходного волокна и образование карбонизированной структуры с сохранением гибкости исходного текстильного материала. Данный режим позволял сформировать непрерывную углеродную сеть, способную выполнять функции токоёмного слоя для последующего электроосаждения.

После первичной карбонизации хлопковой ткани при 500 °C в атмосфере аргона образцы дополнительно пропитывали раствором хитозана для стабилизации структуры и улучшения адгезионных свойств поверхности. Ткань погружали в предварительно приготовленный раствор хитозана и выдерживали в течение 0,5 часа для обеспечения равномерного проникновения полимерной матрицы в межволоконное пространство. Эта стадия позволяла сформировать тонкий биополимерный слой, который выполнял функцию поверхностного связующего и способствовал равномерному распределению последующих продуктов графитизации.

После пропитки образцы подвергались термической обработке при 300 °C в течение 1 часа в атмосфере аргона. Данная стадия приводила

к частичному пиролизу хитозана, формированию азотсодержащих функциональных групп на поверхности волокон и дополнительному укреплению их структуры. Образующаяся модифицированная поверхностная плёнка улучшала электропроводность и повышала химическую устойчивость подложки.

На следующем этапе ткань подвергалась CO_2 -лазерной модификации с целью повышения электропроводности поверхностного слоя [12]. Частота импульсов лазера составляла 200 кГц, а скорость строчной обработки 50 мм/с, что обеспечивало контролируемое локальное разупорядочение структуры и формирование участков с улучшенной электрической связностью. Лазерная обработка позволяла равномерно активировать поверхность, повышая её проводимость и улучшая адгезию осаждаемых нанопластин ZnO .

Осаждение нанопластин ZnO на поверхность углеродных волокон осуществлялось методом электрохимического синтеза в потенциостатическом режиме, подробно описанном ранее для аналогичных композитных материалов [13; 14]. Электролит представлял собой раствор 0.5 М KCl с добавлением 0.25 М $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Для улучшения смачиваемости пористой углеродной структуры к раствору добавляли 1 мл изопропанола. Осаждение проводили при фиксированном рабочем напряжении -1.0 В относительно электрода Ag/AgCl при температуре 70°C , что обеспечивало стабильное восстановление ионов Zn^{2+} и формирование ориентированных нанопластин. Продолжительность процесса составляла 30 минут. После электроосаждения образцы подвергали термической обработке при 500°C в течение 30 минут, что позволяло улучшить кристалличность поверхности и обеспечить плотное закрепление нанопластин на волокнах подложки.

На рисунке 1 представлена схема формирования нанопластин ZnO на поверхности волокон углеродной ткани.



Рисунок 1 – Схема формирования нанопластин ZnO на поверхности волокон углеродной ткани

а) исходная углеродная ткань; б) термообработка ткани при 500°C в атмосфере Ar ; в) модификация поверхности в растворе хитозана при 300°C в течение 1 ч в Ar ; д) формирование органической прекурсорной структуры на волокнах; е) лазерная графитизация модифицированной поверхности в атмосфере Ar ; ф) морфология ZnO нанопластин после электрохимического осаждения на углеродной ткани

Микроструктура углеродной ткани после карбонизации и лазерной обработки представлена на рисунке 2 и демонстрирует сохранение волокнистой морфологии исходного текстиля при одновременном формировании разветвлённой поверхности с многочисленными контактами между углеродными нитями. Такая структура обеспечивает высокую механическую гибкость и создаёт условия для эффективного переноса заряда вдоль волокон, что критически важно для последующего электрохимического роста наноструктур и для работы композитного материала. После пропитки хитозаном и последующей термообработки при 300°C волокна сохранили исходную структуру, однако стали более уплотнёнными и равномерно покрытыми пиролизованным биополимерным слоем.

СЭМ-изображения, представленные на рисунке 3, демонстрируют равномерное покрытие поверхности углеродных волокон пластинчатыми структурами ZnO . Наблюдается формирование плотных массивов нанопластин с чётко выраженной гексагональной морфологией, характерной для ZnO , синтезированного в восстановительных условиях [15; 16].

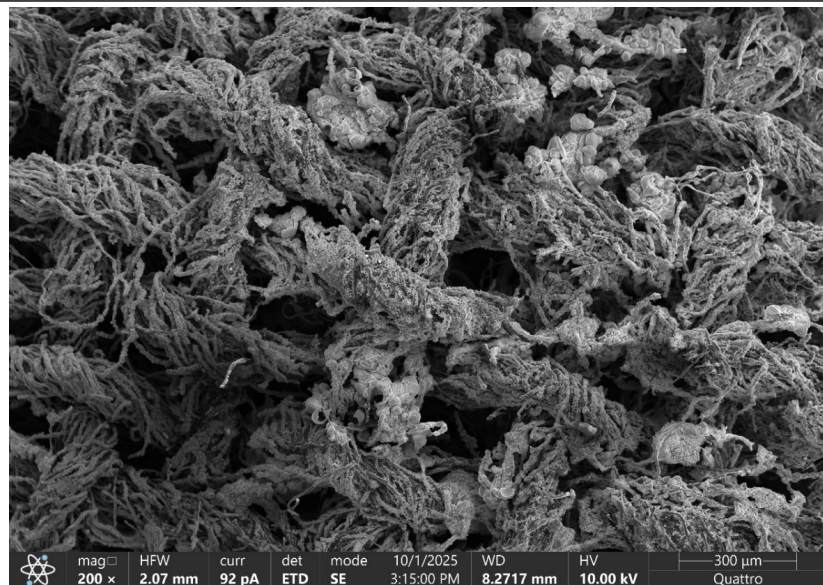


Рисунок 2 – Микрографический снимок поверхности углеродной ткани

Различные увеличения (Рисунок 3а–3д) позволяют выделить два ключевых структурных уровня. На масштабе нескольких микрометров видны компактные агрегаты нанопластин, полностью перекрывающие поверхность волокна, тогда как при большем увеличении становится заметна их слоистая, упорядоченная структура. Такая морфология создаёт увеличенную активную поверхность и повышает доступность граней, ответственных за каталитические и фотоэлектрохимические процессы. Плотность покрытия указывает на стабильность электроосаждения и на хорошую совместимость углеродной подложки с процессом формирования оксидных наноструктур [8; 17].

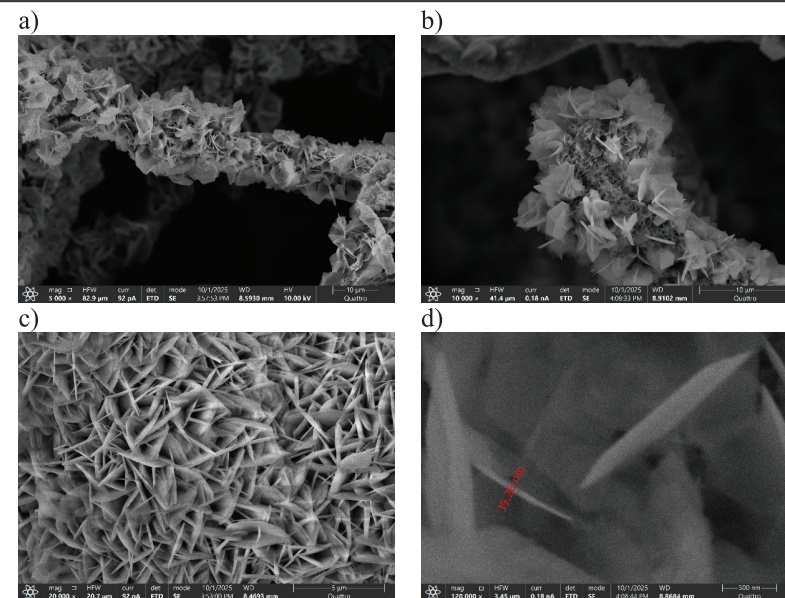


Рисунок 3 – СЭМ изображение морфологии поверхности нанопластин ZnO на волокнах углеродной ткани

- а) общий вид распределения нанопластин на поверхности волокна;
- б) формирование плотного покрытия из перекрывающихся нанопластин;
- в) фрагмент локального роста наноструктур с выраженной листовой морфологией; д) высокое увеличение, демонстрирующее тонкую пластинчатую структуру толщиной 39 нм

Результаты и обсуждение

Сформированная структура покрытия демонстрирует выраженную пространственную однородность, что свидетельствует о равномерном протекании электроосаждения вдоль всей длины волокон. Характерная ориентация нанопластин под углом к поверхности углеродного волокна указывает на направленный рост кристаллических доменов в условиях избытка гидроксидных ионов, генерируемых на интерфейсе при приложении отрицательного потенциала. Такое ориентированное расположение создаёт многоуровневую архитектуру, в которой каждое волокно покрыто несколькими слоями перекрывающихся пластин. Это приводит к формированию развитой поверхности и увеличенного числа доступных активных граней, характерных для ZnO, что потенциально усиливает каталитические и сенсорные свойства композита.

Полученная морфология также демонстрирует хорошую адгезию нанопластин к поверхности углеродных волокон. Видимые на изображениях фрагменты, где пластины охватывают волокно по окружности, указывают на эффективное взаимодействие между подложкой и растущими кристаллами, обеспеченное как предварительной лазерной модификацией поверхности, так и последующим отжигом. Такой характер сцепления снижает вероятность отслаивания покрытия и повышает механическую стабильность композита при изгибе и динамических нагрузках.

Распределение элементов, представленное на рисунке 4, подтверждает успешное образование ZnO-покрытия. На ЭДС-картировании наблюдается совпадение областей распространения двух основных элементов: цинка и кислорода, что соответствует композиции ZnO. Характерная интенсивность сигнала O и Zn по всей площади волокна указывает на непрерывность сформированного массива. При этом присутствие углерода в составе подложки явно выделяется в виде равномерного фона. Совместный анализ СЭМ и ЭДС подтверждает, что процесс электроосаждения привёл к образованию плотного и однородного покрытия нанопластинами ZnO по всей длине волокон ткани. Наблюдаемая морфология предполагает улучшенную площадь контакта между оксидным слоем и подложкой, что благоприятно для последующего применения материала в гибридных катализаторах, сенсорах или электрохимических системах.

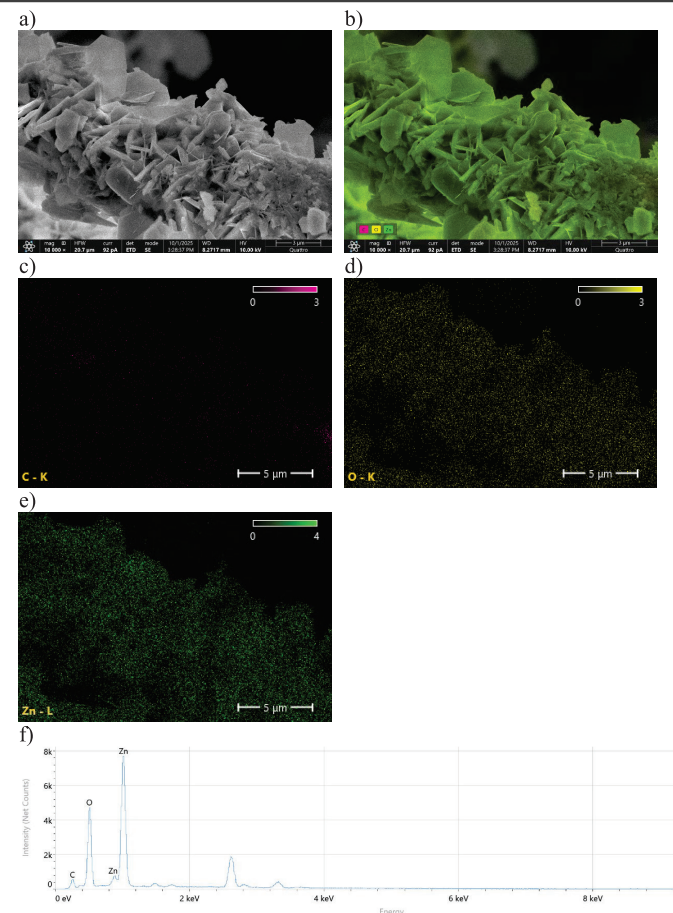


Рисунок 4 – ЭДС анализ нанопластин ZnO
на волокнах углеродной ткани

а) СЭМ-изображение морфологии поверхности картируемых нанопластин ZnO на углеродном волокне; б) цветное СЭМ-изображение морфологии нанопластин с контрастом по материалу; в) карта распределения углерода; д) карта распределения кислорода; е) карта распределения цинка; ф) ЭДС-спектр, подтверждающий присутствие элементов Zn и O в структуре нанопластин

Элементный анализ подтверждает не только состав, но и высокую степень однородности распределения ZnO по поверхности. Соотношение

интенсивности сигналов цинка и кислорода остаётся стабильным на всех участках изображения, что позволяет заключить о равномерности толщины осаждённого слоя. При этом углеродный фон, идущий от подложки, не прерывается, что свидетельствует об отсутствии массивных дефектов или отслоений. На локальных участках присутствуют зоны повышенной концентрации кислорода, что может быть связано с частично ориентированными верхними гранями нанопластин, богатыми кислородом, что характерно для их терминальных поверхностей.

Полученные результаты демонстрируют, что используемая комбинация карбонизации, лазерной обработки и электроосаждения обеспечивает формирование хорошо контролируемой наноструктурированной ZnO-поверхности. Такая архитектура является перспективной для дальнейшего применения в гибких фотоэлектрохимических устройствах, хемосенсорах и катализаторах, где требуются одновременно высокая проводимость подложки, развитая поверхность и плотная фиксация оксидных наноструктур.

Рентгенодифракционный анализ синтезированных нанопластин ZnO на углеродной ткани (рисунок 5) демонстрирует характерный набор дифракционных пиков, соответствующих гексагональной вюрцитной структуре ZnO (JCPDS № 36–1451). На дифрактограмме отчётливо идентифицируются рефлексы, расположенные при $2\theta = \sim 31.8^\circ, 34.4^\circ, 36.3^\circ, 47.5^\circ, 56.6^\circ$ и 62.8° , которые соответствуют плоскостям (100), (002), (101), (102), (110) и (103) соответственно. Наиболее интенсивный пик плоскости (101) подтверждает преимущественную ориентацию нанопластин, что согласуется с их пластинчатой морфологией, наблюдаемой на СЭМ-изображениях. Отсутствие дополнительных рефлексов свидетельствует о высокой фазовой чистоте оксидного покрытия и отсутствии примесных соединений цинка [18].

Ширина дифракционных пиков обусловлена малым размером кристаллитов и характерна для наноструктурированных материалов, что также подтверждает наномасштабность сформированных пластин ZnO. Наличие широкого диффузного фона при малых углах связано с углеродной подложкой, не обладающей выраженной кристалличностью в используемом диапазоне, что является типичным для карбонизированных тканей. Таким образом, рентгенодифракционный анализ подтверждает успешное формирование чистой фазы гексагонального ZnO с предпочтительной ориентацией и хорошо выраженной кристалличностью, согласующейся с морфологическими данными.

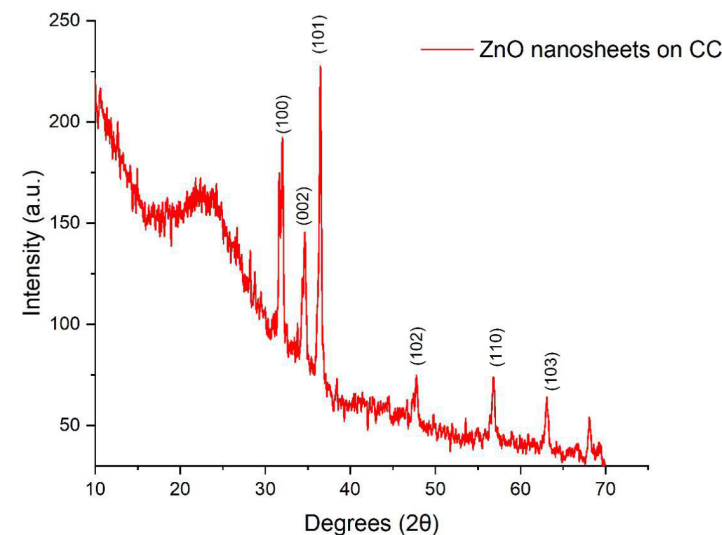


Рисунок 5 – Рентгенограмма синтезированных нанопластин ZnO

Информация о финансировании

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН № AP23490626 «Исследование и разработка фотоэлектродов ZnO/BiVO₄ и Cu₂O/ZnO для создания высокоэффективных tandemных светопроводящих систем производства водорода»). Авторы заявляют, что финансовая поддержка была получена для исследования, авторства и/или публикации данной статьи.

Выводы

Проведённый процесс формирования композитного материала на основе углеродной ткани и нанопластин ZnO позволил получить однородное, механически стабильное и равномерно распределённое покрытие, характеризующееся развитой поверхностью и выраженной слоистой морфологией. Карбонизация хлопковой ткани в инертной атмосфере обеспечила сохранение гибкости и целостности волокон при одновременном формировании электропроводящей структуры. Лазерная модификация поверхности улучшила её проводимость и обеспечила необходимые условия для равномерного электроосаждения.

Электрохимический синтез при отрицательном потенциале привёл к формированию упорядоченных массивов нанопластин ZnO с характерной пластинчатой морфологией, что подтверждено СЭМ-изображениями. Элементное картирование выявило стабильное распределение цинка и кислорода по поверхности волокон и подтвердило непрерывность и плотность покрытия. Полученная структура сочетает гибкость углеродного волокна и развитую поверхность оксидных нанопластин, что делает материал потенциально перспективным для дальнейших исследований в области гибридных электрохимических систем, датчиков и фотокаталитических устройств.

Результаты свидетельствуют о том, что выбранные параметры обработки и электроосаждения обеспечивают надёжный контроль морфологии и состава ZnO на гибкой углеродной подложке, формируя композиционный материал с улучшенными структурными и функциональными характеристиками и высоким потенциалом для дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Кули, Ж., Бакранов, Н. Б., Сейтов, Б. Ж., Бакранова Д. И. Синтез ZnO наностержней при различных концентрациях прекурсора для повышения плотности тока фотоэлектрохимической реакции // Вестник Торайгыров университета – 2025. – № 2. – С. 341–357.
- 2 Fallatah, A., Kuperus, N., Almomtan, M., Padalkar, S. Sensitive Biosensor Based on Shape-Controlled ZnO Nanostructures Grown on Flexible Porous Substrate for Pesticide Detection // Sensors (Basel, Switzerland). – 2022. – 22. – <https://doi.org/10.3390/s22093522>.
- 3 Wang, W., Ai, T., Yu, Q. Electrical and photocatalytic properties of boron-doped ZnO nanostructure grown on PET–ITO flexible substrates by hydrothermal method // Scientific Reports. – 2017. – Vol.7. – <https://doi.org/10.1038/srep42615>.
- 4 Chen, X., Li, J. Assembly and Photocatalytic Degradation Activity of Spherical ZnO/CdSe Heterostructures on Flexible Carbon Cloth Substrates // Nanomaterials – 2022. – Vol.12. – <https://doi.org/10.3390/nano12111898>.
- 5 Rodrigues, J., Zaroni, J., Gaspar, G., Fernandes, A. J. S., Carvalho, A. F., Santos, N. F., Monteiro, T., Costa, F. M. ZnO decorated laser-induced graphene produced by direct laser scribing // Nanoscale Advances – 2019. – Vol.8 – P. 3252–3268.
- 6 Joshi, B., Kim, S., Samuel, E., Huh, J., Aldalbahi, A., Rahaman, M., Ding, B., Yoon, S. ZIF-8-derived hierarchical ZnO nanoplates anchored to low-density carbon fabric: Highly flexible supercapacitors with wide potential

- windows // Journal of Power Sources. – 2024. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.234463>
- 7 Humayoun, U., Mehmood, F., Hassan, Y., Rasheed, A., Dastgeer, G., Anwar, A., Sarwar, N., Yoon, D. Harnessing Bio-Immobilized ZnO/CNT/Chitosan Ternary Composite Fabric for Enhanced Photodegradation of a Commercial Reactive Dye // Molecules. – 2023. – Vol.28. – <https://doi.org/10.3390/molecules28186461>
 - 8 Utari, L., Septiani, N., Nugraha, S., Nur, L., Wasisto, H., Yuliarto, B. Wearable Carbon Monoxide Sensors Based on Hybrid Graphene/ZnO Nanocomposites // IEEE Access – 2020. – Vol.8 – P. 49169–49179. – <https://doi.org/10.1109/access.2020.2976841>.
 - 9 Haris, S., Adhami, S., Yuksel, R., Kim, S. Bio-Inspired Zinc Anodes: Mitigating Dendrite Formation and Side Reactions in Aqueous Zinc Metal Batteries Using Laser Carbonized Chitosan Layer // Small (Weinheim an Der Bergstrasse, Germany) – 2025. – Vol.21. – <https://doi.org/10.1002/sml.202501293>.
 - 10 Azmy, N., Rosli, M., Yusoff, N., & Ahmad, H. Carbon-Based Composite Reinforced Chitosan Film to Initiate Wavelength -Tunable Q-Switched Erbium-Doped Fiber Laser // Physica Scripta. – 2025. – <https://doi.org/10.1088/1402-4896/adf580>.
 - 11 Santos, N., Rodrigues, J., Pereira, S., Fernandes, A., Monteiro, T., & Costa, F. Electrochemical and photoluminescence response of laser-induced graphene/electrodeposited ZnO composites // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96305-8>.
 - 12 Huang, Q., Yang, H., Wang, S., Liu, X., Tan, C., Zong, Q., Gao, C., Li, S., French, P., Zhang, G., Ye, H. Chitosan Oligosaccharide Laser Lithograph: A Facile Route to Porous Graphene Electrodes for Flexible On-Chip Microsupercapacitors // ACS applied materials & interfaces. – 2024. – <https://doi.org/10.1021/acsami.4c02139>
 - 13 Bakranova, D., Seitov, B., Bakranov, N. Preparation and Photocatalytic/Photoelectrochemical Investigation of 2D ZnO/CdS // Nanocomposites. Chemengineering. – 2022. – Vol.6(6).
 - 14 Patella, B., Moukri, N., Regalbuto, G., Cipollina, C., Pace, E., Di Vincenzo, S., Aiello, G., O’Riordan, A., Inguanta, R. Electrochemical Synthesis of Zinc Oxide Nanostructures on Flexible Substrate and Application as an Electrochemical Immunoglobulin-G Immunosensor // Materials. – 2022. – Vol.15(3). – P. 713. – <https://doi.org/10.3390/ma15030713>
 - 15 Kumar, M., Sasikumar, C. Electrodeposition of Nanostructured ZnO Thin Film: A Review // American Journal of Materials Science and Engineering – 2014. – Vol.2 – P. 18–23. – <https://doi.org/10.12691/ajmse-2-2-2>

16 **Kannusamy, P., Sivalingam, T.** Chitosan–ZnO/polyaniline hybrid composites : Polymerization of aniline with chitosan–ZnO for better thermal and electrical property // Polymer Degradation and Stability. – 2013. – № 98. – P. 988–996. – <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.015>

17 **Zhumabekov, A. Zh., Asimova, S. T., Kasenov, D. A.** Investigation of the absorption properties of an ultraviolet detector based on graphene platelets and titanium dioxide // Bulletin of Toraighyrov University – 2024. – № 1. – P. 79–86. – <https://doi.org/10.48081/GBDQ1313>

18 **Petrushenko, S.I., Fijalkowski, M., Kopach, V.R. et al.** Carbon fabric coated with nanostructured zinc oxide layers for use in triboelectric self-powered touch sensors // J Mater Sci : Mater Electron. – 2024. – Vol. 35. – P. 414. – <https://doi.org/10.1007/s10854-024-12187-2>

REFERENCES

1 **Kuli, Zh., Bakranov, N.B., Sejtov, B. Zh., Bakranova D. I.** Sintez ZnO nanosterzhnej pri razlichny`x koncentraciyax prekursora dlya pov`sheniya plotnosti toka fotoe`lektroimicheskoy reakcii [Synthesis of ZnO nanorods at various precursor concentrations to enhance the current density of photoelectrochemical reaction] // Vestnik Torajgy`rov universiteta. – 2025. – № 2. – P. 341–357.

2 **Fallatah, A., Kuperus, N., Almomtan, M., Padalkar, S.** Sensitive Biosensor Based on Shape-Controlled ZnO Nanostructures Grown on Flexible Porous Substrate for Pesticide Detection // Sensors (Basel, Switzerland). – 2022. – 22. – <https://doi.org/10.3390/s22093522>.

3 **Wang, W., Ai, T., Yu, Q.** Electrical and photocatalytic properties of boron-doped ZnO nanostructure grown on PET–ITO flexible substrates by hydrothermal method // Scientific Reports, -2017. – Vol.7. – <https://doi.org/10.1038/srep42615>.

4 **Chen, X., Li, J.** Assembly and Photocatalytic Degradation Activity of Spherical ZnO/CdSe Heterostructures on Flexible Carbon Cloth Substrates // Nanomaterials. – 2022. – Vol.12. – <https://doi.org/10.3390/nano12111898>.

5 **Rodrigues, J., Zanoni, J., Gaspar, G., Fernandes, A. J. S., Carvalho, A. F., Santos, N. F., Monteiro, T., Costa, F. M.** ZnO decorated laser-induced graphene produced by direct laser scribing // Nanoscale Advances. – 2019. – Vol.8 – P. 3252–3268.

6 **Joshi, B., Kim, S., Samuel, E., Huh, J., Aldalbahi, A., Rahaman, M., Ding, B., Yoon, S.** ZIF-8-derived hierarchical ZnO nanoplates anchored to low-density carbon fabric : Highly flexible supercapacitors with wide potential windows // Journal of Power Sources. – 2024. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.234463>

7 **Humayoun, U., Mehmood, F., Hassan, Y., Rasheed, A., Dastgeer, G., Anwar, A., Sarwar, N., Yoon, D.** Harnessing Bio-Immobilized ZnO/CNT/Chitosan Ternary Composite Fabric for Enhanced Photodegradation of a Commercial Reactive Dye // Molecules. – 2023. – Vol.28. – <https://doi.org/10.3390/molecules28186461>

8 **Utari, L., Septiani, N., Nugraha, S., Nur, L., Wasisto, H., Yuliarto, B.** Wearable Carbon Monoxide Sensors Based on Hybrid Graphene/ZnO Nanocomposites // IEEE Access – 2020. – Vol.8 – P. 49169–49179. – <https://doi.org/10.1109/access.2020.2976841>.

9 **Haris, S., Adhami, S., Yuksel, R., Kim, S.** Bio-Inspired Zinc Anodes: Mitigating Dendrite Formation and Side Reactions in Aqueous Zinc Metal Batteries Using Laser Carbonized Chitosan Layer // Small (Weinheim an Der Bergstrasse, Germany) – 2025. – Vol. 21. – <https://doi.org/10.1002/sml.202501293>.

10 **Azmy, N., Rosli, M., Yusoff, N., & Ahmad, H.** Carbon-Based Composite Reinforced Chitosan Film to Initiate Wavelength -Tunable Q-Switched Erbium-Doped Fiber Laser // Physica Scripta. – 2025. – <https://doi.org/10.1088/1402-4896/adf580>.

11 **Santos, N., Rodrigues, J., Pereira, S., Fernandes, A., Monteiro, T., & Costa, F.** Electrochemical and photoluminescence response of laser-induced graphene/electrodeposited ZnO composites // Scientific Reports. – 2021. – Vol.11. – <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96305-8>.

12 **Huang, Q., Yang, H., Wang, S., Liu, X., Tan, C., Zong, Q., Gao, C., Li, S., French, P., Zhang, G., Ye, H.** Chitosan Oligosaccharide Laser Lithograph: A Facile Route to Porous Graphene Electrodes for Flexible On-Chip Microsupercapacitors // ACS applied materials & interfaces. – 2024. – <https://doi.org/10.1021/acsami.4c02139>

13 **Bakranova, D., Seitov, B., Bakranov, N.** Preparation and Photocatalytic/Photoelectrochemical Investigation of 2D ZnO/CdS // Nanocomposites. Chemengineering. – 2022. – Vol.6(6).

14 **Patella, B., Moukri, N., Regalbuto, G., Cipollina, C., Pace, E., Di Vincenzo, S., Aiello, G., O’Riordan, A., Inguanta, R.** Electrochemical Synthesis of Zinc Oxide Nanostructures on Flexible Substrate and Application as an Electrochemical Immunoglobulin-G Immunosensor // Materials. – 2022. – Vol.15(3). – P. 713. – <https://doi.org/10.3390/ma15030713>

15 **Kumar, M., Sasikumar, C.** Electrodeposition of Nanostructured ZnO Thin Film: A Review //American Journal of Materials Science and Engineering – 2014. – Vol.2 – P. 18–23. – <https://doi.org/10.12691/ajmse-2-2-2>

16 **Kannusamy, P., Sivalingam, T.** Chitosan–ZnO/polyaniline hybrid composites: Polymerization of aniline with chitosan–ZnO for better thermal and electrical property // Polymer Degradation and Stability. – 2013. – № 98. – P. 988–996. – <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.015>

17 **Zhumabekov, A. Zh., Asimova, S. T., Kasenov, D. A.** Investigation of the absorption properties of an ultraviolet detector based on graphene platelets and titanium dioxide // Bulletin of Toraygyrov University – 2024. - №1. – P. 79–86. – <https://doi.org/10.48081/GBDQ1313>

18 **Petrushenko, S.I., Fijalkowski, M., Kopach, V.R. et al.** Carbon fabric coated with nanostructured zinc oxide layers for use in triboelectric self-powered touch sensors // J Mater Sci: Mater Electron. – 2024. – Vol.35. – P. 414. – <https://doi.org/10.1007/s10854-024-12187-2>

Поступило в редакцию 17.11.25.

Поступило с исправлениями 20.11.25.

Принято в печать 02.12.25.

Ж. Құли¹, М. Н. Бакранова², *Т. К. Идрисова³,

Ә. А. Алиакбарова⁴, Д. И. Бакранова⁵

¹Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

²Dana High School, Қазақстан Республикасы, Жаңа-Қуат ауылы;

^{3,4}Research group Altair nanolab, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁵SDU University, Қазақстан Республикасы, Каскелен қ.

17.11.25 ж. баспаға түсті.

20.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

02.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ІІЛГІШ КӨМІРТЕКТІ ТӨСЕМДЕ ЖЕТІЛДІРІЛГЕН 2D ZNO НАНОҚҰРЫЛЫМДАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Ұсынылып отырған жұмыста ZnO нанопластиналарынан тұратын жетілдірілген қабатты жабынға ие көміртекті мата негізіндегі композитті материалды зерттеу нәтижелері ұсынылған. Алайда төсемнің біртекті болмауынан, бастапқы материалдың шектеулі өткізгіштігі мен өсірілетін наноқұрылымдардың морфологиясының нақты қадағалануы талаптарына байланысты процестерді методологиялық оңтайландыру қажеттілігі туындайды. Мақта матасын карбондау кезінде ол өзінің иілгіштігі мен біртұтастығын сақтап, өткізгіш құрылым түзеді. Ал лазермен

оңдеу оның беттік өткізгіштігі мен біркелкі электрлік тұнуын қамтамасыз етеді.

Теріс потенциал кезінде электрохимиялық синтездеу және оны кейін 500°C температурада оңдеу айқын палстиналық морфологияға ие реттелген ZnO массивтерінің түзілуіне әкеледі. Нәтижелерді сканерлеуші электронды микроскоп (SEM) пен элементті картирлеу көмегімен сараптау арқылы үлгілердің біркелкі, элементтерінің тығыз үлестірілуіне және механикалық тұрақтылығына көз жеткіздік. Мақта матасының құрылымын тұрақтандыру және де беткі бөлігінің адгезиялық қасиеттерін жақсарту мақсатында хитозан ерітіндісіне малып алдық.

Іілгіш көміртекті төсем мен дамыған оксидті нанопластиналардың үйжесімі материалды гибридті электрохимиялық құрылғыларда, сенсорлар мен фотокатализаторлық жүйелерде қолдануға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер айқындағандай, икемді төсемедегі ZnO морфологиясы мен құрамын нақты қадағалау мүмкіндігін ұсынып, функционалды композитті материалдар жасау үшін ойластырылған әдіс потенциалын растайды.

Кілтті сөздер: көміртекті мата, ташиықтарды карбондау, хитозанды модификация, биполимер пиролизі, лазерлі графиттеу, нанопластиналар, ZnO.

Zh. Kuli¹, M. N. Bakranova², *T. K. Idrisova³,

A. A. Aliakbarova⁴, D. I. Bakranova⁵

¹Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Dana High School, Republic of Kazakhstan, Zhana-Kuat village;

^{3,4}Research group altair nanolab, Republic of Kazakhstan, Almaty;

⁵SDU University, Republic of Kazakhstan, Kaskelen.

Received 17.11.25.

Received in revised form 20.11.25.

Accepted for publication 02.12.25.

FORMATION OF ADVANCED 2D ZNO NANOSTRUCTURES ON A FLEXIBLE CARBON SUBSTRATE

This paper presents studies of a composite material based on carbon fabric with a developed layered coating of ZnO nanoplatelets. Due to the heterogeneity of the substrate, the limited conductivity of the starting material, and the requirement for precise control of the morphology of the

growing nanostructures, methodological optimization of the processes is necessary. During carbonization of cotton fabric, it maintains the flexibility and integrity of the fibers, forming a conductive structure. Laser treatment increases surface conductivity and ensures uniform electrodeposition.

Electrochemical synthesis at a negative potential followed by heat treatment at 500 °C leads to the formation of ordered ZnO arrays with a pronounced lamellar morphology. Interpretation of the results using scanning electron microscopy (SEM) and elemental mapping demonstrated a uniform, dense distribution of elements and mechanical stability of the samples. To stabilize the structure and improve surface adhesion, the cotton fabric was impregnated with a chitosan solution. The combination of a flexible carbon substrate and a layered structure of oxide nanoplatelets makes the material promising for use in hybrid electrochemical devices, sensors, and photocatalytic systems. The results demonstrate the feasibility of precisely controlling the morphology and composition of ZnO on a flexible substrate and confirm the potential of the developed approach for creating functional composite materials.

Keywords: carbon fabric, fiber carbonization, chitosan modification, biopolymer pyrolysis, laser graphitization, nanoplatelets, ZnO.

FTAMP 29.15.19

<https://doi.org/10.48081/UWV8837>

**А. Морзабаев¹, Ж. Құрманалиев², Д. Тестов³,
А. Кунсафина⁴, *Б. Мәуей⁵**

^{1,2,4,5}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

^{2,5}«Advanced Research and Technology group» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

³Физика және ядролық инженерия бойынша Хория Хулубей ұлттық ғылыми-зерттеу және даму институты, Румыния, Бухарест-Мэгуреле қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5143-7286>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5431-0560>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3193-5311>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8756-7135>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4301-1327>

*e-mail: mauei_b@enu.kz

ТӨМЕН ЭНЕРГИЯЛАР АЙМАҒЫНДАҒЫ (А,N) ҚИМАЛАРЫН ӨЛШЕУ

Бұл жұмыста ELI-NP (Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics) кешенінде орналасқан ELIGANT-TN детекторлық жүйесін пайдалану арқылы төмен энергиялар аймағындағы (а,n) типті ядролық реакциялардың қималарын өлшеуге арналған эксперименттік зерттеулердің нәтижелері баяндалады. Жүйе полиэтилен модераторы және ³He газымен толтырылған 28 дана санауыштан тұрады. Құрылғы ядролық астрофизика, радиациялық қауіпсіздік, медицина және өнеркәсіп салаларындағы қолданбалы мақсаттар үшін нейтрон шығымдарын дәл анықтауға арналған. Қондырғының тиімділігі MCNP және Geant4 кодтары арқылы модельденіп, ²⁵²Cf және PuBe нейтрон көздерімен алынған нақты өлшеу нәтижелерімен салыстырылды. Модельдеу мен эксперимент арасындағы жақсы сәйкестік жүйенің сенімділігін растады. Жүйе мүмкіндіктері ¹³C(а,n) және ¹⁹F(а,n) реакциялары үшін жүргізілген сынақтық тәжірибелермен бағаланды. ¹³C(а,n) реакциясы нәтижелері бұрынғы әдеби деректермен жоғары сәйкестік көрсетіп, резонанстық құрылымдардың нақты анықталғанын көрсетті. Ал ¹⁹F(а,n) реакциясы бойынша алынған қималар теориялық JENDL деректерімен салыстырылып, жоғары

энергиялар аймағында сәйкестік байқалды. Бұл нәтижелер ELIGANT-TN жүйесінің жоғары дәлдікті, сенімді эксперименттік құрал екенін және оны ядролық физикадағы болашақ зерттеулерде кеңінен қолдануға болатынын дәлелдейді. Сонымен қатар, «сақина-қатынас» әдісі көмегімен нейтрон энергиясын бағалау мүмкіндігі жүйенің артықшылықтарының бірі ретінде танылды.

Кілтті сөздер: альфа-нейтрон реакциялары, резонанстық реакциялар, нейтрон санағыштары, нейтрон шығымы, Монте-Карло модельдеу.

Кіріспе

ELI-NP (Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics) – бұл Еуропада іске асырылып жатқан үш ірі ғылыми кешеннің бірі [1;2], жоғары энергиялы және жоғары қарқынды фотондармен жұмыс істеуге арналған. Бұл кешендегі негізгі зерттеу бағыттарының бірі – жоғары жарықтылықтағы γ -сәулелер арқылы ядролық физика мен қолданбалы зерттеулер жүргізу. Осы бағдарлама аясында жүзеге асырылған маңызды құрылғы – ELIGANT (ELI Gamma Above Neutron Threshold) жүйесі, ол фотоядролық реакциялар мен нейтрондардың шығарылуымен жүретін ядро құрылымын зерттеуге бағытталған [3]. ELIGANT құралдар жиынтығына ELIGANT-GN (ELIGANT Gamma Neutron) [4] және ELIGANT-TN (ELIGANT Thermal Neutron) детекторлары кіреді [5]. ELIGANT-TN жобасының физикалық бағдарламасы астрофизика, өнеркәсіп және медицина салаларында қолдануға арналған қималарды жоғары дәлдікпен өлшеуге бағытталған [6].

α -бөлшектермен жүретін реакциялар нәтижесінде нейтрондардың пайда болуы көптеген салада маңызды рөл атқарады. Әсіресе, ядролық астрофизикада (α, n) реакциялары s -процесі үшін негізгі нейтрон көзі болып табылады [7] және жеңіл g -процестік элементтердің синтезінде шешуші механизм саналады [8]. Сонымен қатар, (α, n) реакциялары жерасты зертханаларындағы нейтрондық фонның негізгі көздерінің бірі болып табылады, бұл төмен есептік жылдамдықпен жүргізілетін эксперименттер үшін елеулі мәселе болып есептеледі [9]. (α, n) реакциялар ядролық технологияларда [10], сондай-ақ, пайдаланылған ядролық отынды басқару мақсатындағы бұзбайтын бақылау әдістерінде қолданылады. Мысалы, ^{13}C жағдайында, көміртекке бай материалдар (сцинтилляторлар, акрил және пластмасса) төмен фонды өлшеулер үшін елеулі нейтрон ағынын тудыруы ықтимал. Сонымен қатар, детекторларды жасау кезінде қолданылатын басқа элементтермен, мысалы ^{27}Al , $^{28, 29, 30}\text{Si}$, ^{54}Fe , $^{60, 62, 64}\text{Ni}$, $^{46, 48}\text{Ti}$ және т.б., жүретін (α, xn) реакциялары да нейтрондық фон көздері ретінде қарастырылады және оларды мұқият бағалау қажет.

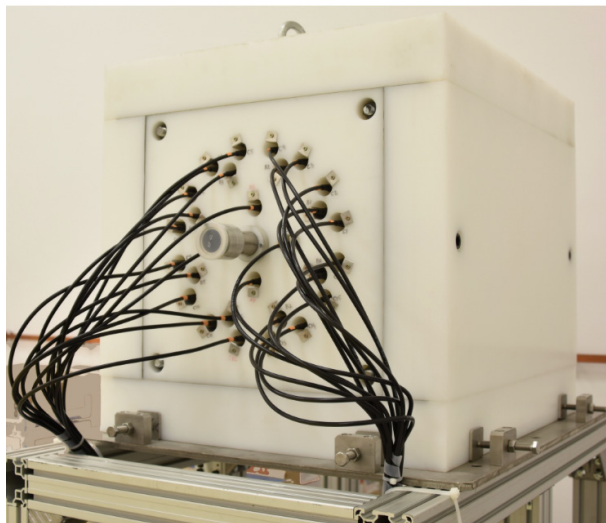
$^{19}\text{F}(\alpha, n)$ реакциясы уран-234 изотопының альфа-бөлшектері арқылы қоздырылатын нейтрондардың негізгі көзі болып табылады. Бұл реакциядағы нейтрон шығымы α -бөлшектердің энергиясына айтарлықтай тәуелді, себебі (α, xn) реакциясының қимасы соқтығысушы бөлшек энергиясына байланысты тез өзгереді. Мұндай нейтрондардың энергиясы көбіне бөліну реакциясындағы нейтрондардың орташа энергиясынан жоғары болуы мүмкін, сондықтан отын жинақтарын сақтау мен өндіру кезінде тиімді қорғаныс шараларын қабылдау қажет. Бұған қоса, нейтрон спектрі мен бұрыштық таралуы туралы деректер де аса маңызды. (α, n) реакциясынан туындайтын нейтрондардың орташа энергиясын білу – қорғаныш қабаттарын дұрыс жобалау үшін қажет [11].

Қазіргі уақытта қолжетімді (α, n) реакцияларының қималары мен нейтрон шығымдары бойынша деректердің көпшілігі активациялық өлшеулер немесе нейтрондарды тікелей тіркеу әдістері арқылы алынған, бұл әдетте нейтрондарды баяулататын есептегіштерді қолдануды қамтиды. Соңғы жылдары (α, n) реакцияларын өлшеуге арналған жаңа нейтрон баяулатқыш есептегіштерін жасау бойынша бірнеше зерттеу жұмыстары жүргізілді [12].

Бұл жұмыста біз ELIGANT-TN қондырғысының ядролық физикада (α, n) типті реакциялардың қимасын өлшеуде қолдануын қарастыратын боламыз.

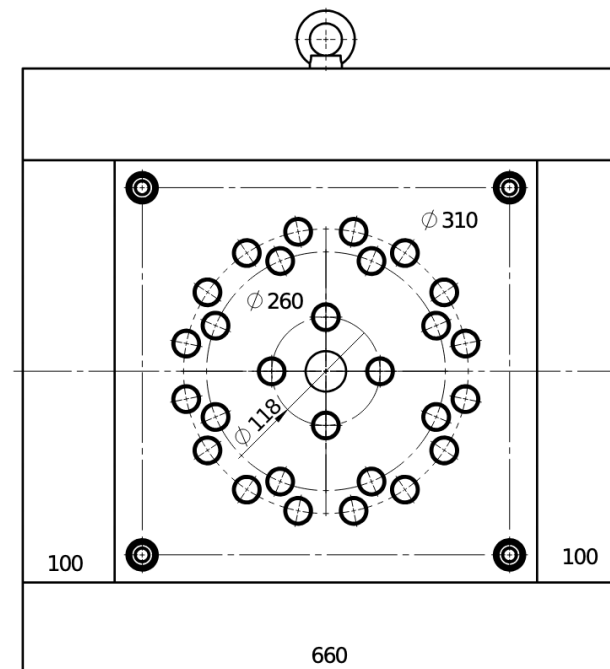
Эксперименттік қондырғы

ELIGANT-TN – бұл нейтрондарды санауға арналған құрылғы, оның құрамына үлкен полиэтилен баяулатқыш пен жылулық нейтрондарды ұстау қимасы шамамен 5300 мб болатын 28 дана ^3He газ детекторы енеді. 1-суретте осы құрылғының фотосуреті көрсетілген.



1-сурет – ELIGANT-TN нейтрон санаушының фотосуреті

Модератор көлемінің негізгі корпусы жоғары тығыздықтағы полиэтиленнен (HDPE) жасалған $46 \times 46 \text{ см}^2$ өлшеміндегі блоктардан тұрады: төртеуі 10 см, екеуі 12 см қалыңдықта, жалпы ұзындығы 64 см болады. Бұл корпус арқылы диаметрі 2,6 см болатын 28 тесік үш шеңберлі үлгімен бұрғыланған: сәйкесінше 4, 8 және 16 тесік (2-суретте көрсетілгендей).

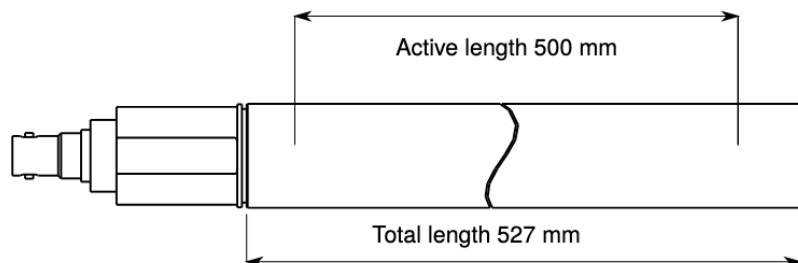


2-сурет – ELIGANT-TN құрылғысының алдыңғы (сәуле бағыты бойынша төменгі) жағынан көрінісінің сызбасы. Қорғаныс блогының өлшемдері мен ^3He детекторлары орналасқан үш шеңбердің радиустары миллиметрмен көрсетілген

Сыртқы нейтрондардан қорғау үшін модератор корпусының жақтары жылулық нейтрондарды сіңіретін жұқа кадмий пластиналарымен қапталған. Бүкіл құрылғыны қоршап тұрған тағы бір 10 см қалыңдықтағы HDPE блоктар қабаты нейтрондарды кадмий қалқандарына дейін баяулатуға арналған.

Жылулық нейтрондарды тіркеу үшін 28 дана ^3He газ санаушы орнатылған. Нейтрондар баяулағаннан кейін санауыш газының ішінде $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ реакциясы жүреді, оның Q -мәні 765 кэВ-ты құрайды. Бұл екі денелі процесс болғандықтан, энергияның сақталуына сәйкес, пайда болған бөлшектердің кинетикалық энергиясы массаларына кері пропорционал бөлінеді, яғни 3:1 қатынаста. Нәтижесінде протонның кинетикалық энергиясы 573 кэВ, ал тритондікі 191 кэВ болады. Пайда болған заряд газ санауыш түтігінің ортасындағы тартылған анод сымына жиналады. Әрбір түтіктің физикалық диаметрі 25,4 мм, ал белсенді диаметрі – 24,4 мм.

Түтіктің толық ұзындығы 527 мм, оның 500 мм бөлігі белсенді аймақ болып табылады (3-суретте көрсетілген). Түтіктер 12 атмосфералық қысымда ^3He газымен және аз мөлшерде CO_2 газымен толтырылған. CO_2 газы газ ішіндегі разрядтардың күшеюін басып, импульс амплитудасының анықтығын арттыру үшін қосылады.



3-сурет – ^3He газ санаушы өлшемдері

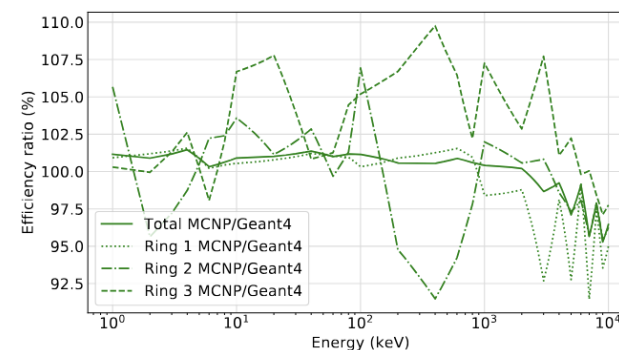
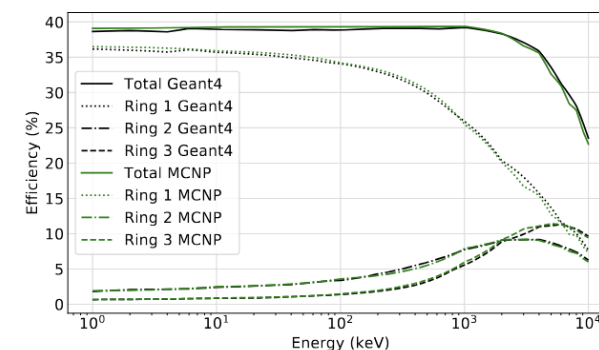
^3He түтіктерінен алынған сигналдар алдын ала күшейткіштер мен жоғары кернеу таратушы блоктар арқылы шығарылады. Алдын ала күшейткіштер – Mesytec компаниясының MPR-16 көп арналы күшейткіші. Әр модульдің кірісіндегі кернеу 10 МΩ кедергі және 6.8 нФ сыйымдылықтан тұратын RC сүзгісімен сүзіледі, ал 50 МΩ резисторлар бұл кернеуді 16 түрлі арнаға таратады. Төменгі кернеу қуаты Mesytec-тің төрт арналы MNV-4 NIM қуат тарату модулі арқылы беріледі және стандартты DE-9 түріндегі D-sub қосқыштары арқылы қосылады. Алдын ала күшейткіштерден шыққан сигналдар ECL (emitter-coupled logic) арқылы 250 MS/s жиілігі және 14 бит рұқсатпен жұмыс істейтін екі CAEN v1725 цифрлық картасына қосылады. Түрлендіргіш платалар коммерциялық операциялық күшейткіштерге негізделген, олар дифференциалды кірісті қабылдап, жерге қатысты екі полюсті сигнал шығарады. Әр платада 16 арна бар және сигналдар 34 пиндік лента кабелімен күшейткішпен қосылады. Деректер жергілікті әзірленген Digital ELI List-mode Acquisition (DELILA) атты сандық мәліметтерді жинау жүйесі арқылы тіркеледі. Бұл жүйе туралы толық мәліметтер [13] әдебиетінде келтірілген.

Қондырғыны Монте-Карло моделдеу

Бұл жұмыста MCNP және Geant4 модельдеу пакеті 4.10.04.p01 нұсқасында қолданылды, себебі 4.10.0-ден төмен нұсқаларда жылулық нейтрондарға арналған интерполяция алгоритмдер қателіктері жоғары.

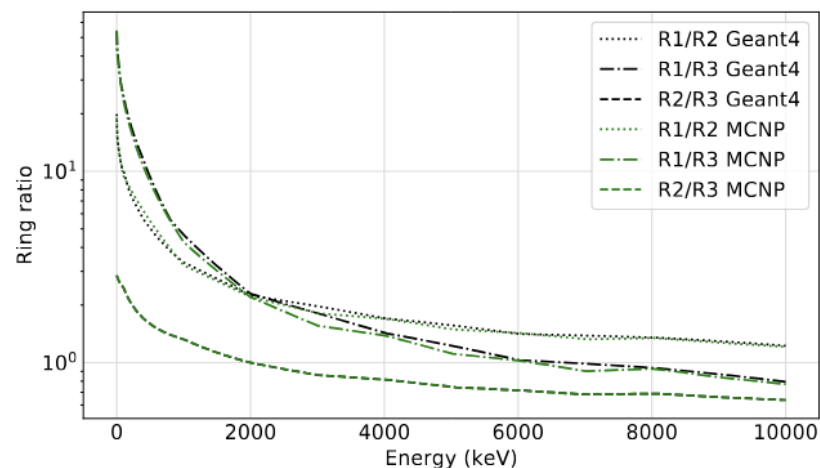
HDPE (жоғары тығыздықты полиэтилен) материалы TS_H_of_Polyethylene ретінде, тығыздығы 0.95 г/см³ деп анықталып, Geant4-тің жоғары дәлдіктегі NeutronHP кітапханасындағы G4NeutronHPThermalScatteringNames

класында сипатталған. Бұл тек ядролық процестерді ғана емес, сонымен қатар молекулалық құрылымдағы трансляциялық, айналмалы және тербелмелі модтар арқылы болатын энергия жоғалту немесе алу процестерін де ескереді. Сондықтан HDPE қатты күйде, ал ^3He газы газ күйінде сипатталды. Түтіктер тот баспайтын болаттан жасалған деп анықталып, тығыздығы 8.03 г/см³ және құрамы келесідей болды: 66.495% темір, 20% хром, 10.5% никель, 2% марганец, 0.75% кремний, 0.1% азот, 0.08% көміртек, 0.045% фосфор және 0.03% күкірт. Тағы бір оңайлату ретінде HDPE матрицасындағы түтіктер енгізілетін шеттердегі тесіктер модельге енгізілмеді. Қондырғы толық жүйесінің және әр шеңбердің нейтрондық тиімділік қисығы 0.1 кэВ-тен 10 МэВ-ке дейінгі энергия аралығында 100 000 изотропты моноэнергетикалық нейтрондарды генерациялау арқылы алынды, 4-суретте көрсетілген.



4-сурет – Қондырғының изотропты, моноэнергетикалық нейтрондар көмегімен модельдеу арқылы анықталған тиімділігі

Нейтрондардың орташа энергиясын «сақина қатынасы» әдісі арқылы бағалауға болады. Әртүрлі сақиналардағы санау қатынасы модератор қабатының әсеріне байланысты өзгеріп, нейтрон энергиясымен байланысады. Моноэнергетикалық нейтрондар үшін бұл байланыс 5-суретте көрсетілген.



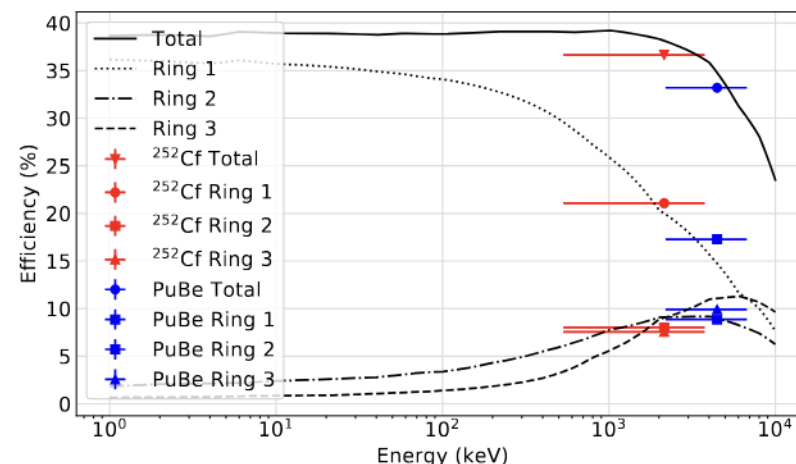
5-сурет – Geant4 және MCNP кодтары арқылы алынған изотропты, моноэнергетикалық нейтрондар жағдайындағы сақина-қатынастың энергияға тәуелділігі

Детекторлардың жұмыс тиімділігін сипаттау және алынған деректер мен симуляция нәтижелерінің сәйкестігін тексеру үшін бірқатар радиациялық және сәуле ағынында өлшеулер жүргізілді.

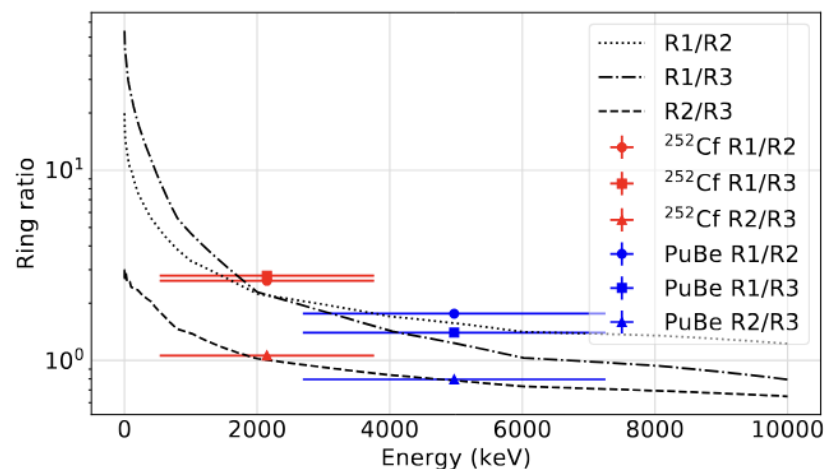
Алғашқы дереккөздік өлшеулер белсенділігі 24,6 кБк болатын ^{252}Cf көзі және белсенділігі $2.220(5) \times 10^5$ нейтрон/секунд деп анықталған PuBe нейтрон көзімен жүргізілді. Деректер 10 минут ішінде жиналды, нәтижесінде толық массив бойынша 4.90×10^7 санау тіркелді. Бұл санаулар сақиналар арасында келесідей бөлінді: 1-сақинада – 2.35×10^7 , 2-сақинада – 1.20×10^7 , және 3-сақинада – 1.35×10^7 санау. PuBe көзінің бағаланған интенсивтілігі мен энергия спектрін пайдалана отырып, қондырғының тиімділігін есептеуге және оны жалпы симуляциялық тиімділікпен, сондай-ақ жеке сақиналардың тиімділіктерімен салыстыруға болады. Бұл бағалаудың нәтижелері 6-суретте көрсетілген.

Бұл қондырғы жылулық энергияға дейін баяулатылған нейтрондармен жұмыс істейді және нейтрондық тиімділігі бірқалыпты болатындай етіп жобаланған. Алайда, нейтрондардың орташа энергиясы реакция туралы

қосымша ақпарат бере алады және бір немесе бірнеше нейтрон тиімділіктің тұрақты аймағынан тыс энергиямен шығарылған жағдайларда түзету енгізуге мүмкіндік береді. Мұндай қосымша ақпарат жоғарыда қарастырылған «сақина қатынасы» әдісі арқылы алынуы мүмкін. Geant4 симуляциясы мен нақты дереккөздік өлшеулер арасындағы салыстыру 7-суретте көрсетілген.



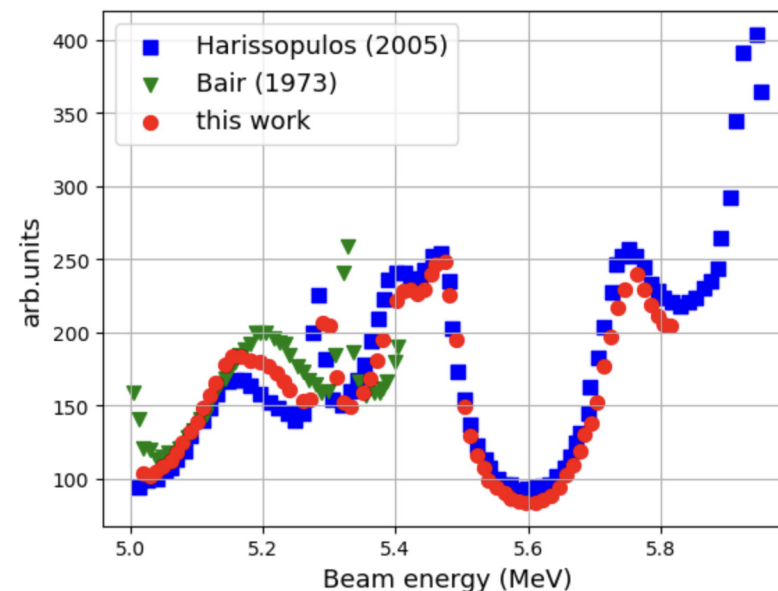
6-сурет – Geant4 арқылы алынған қондырғының симуляциялық тиімділігі ^{252}Cf және PuBe нейтрон көздерімен жүргізілген эксперименттік өлшеулермен бірге көрсетілген



7-сурет – ^{252}Cf және PuBe нейтрон көздерінен алынған өлшенген сақина қатынастары моноэнергетикалық Geant4 симуляцияларымен салыстырылған. Энергия бойынша белгісіздіктер нейтрон көздерінің энергия таралуларын көрсетеді

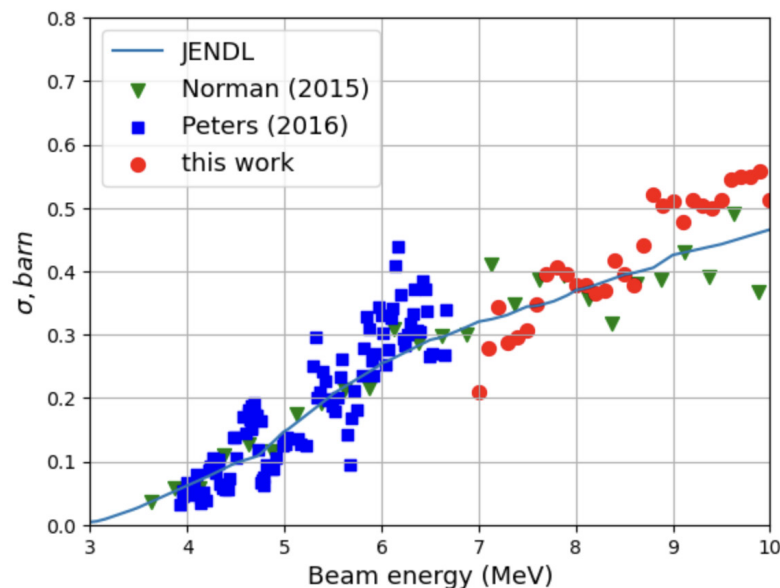
Нәтижелер және талқылау. (α, n) реакциялар қимасы Сынақтық эксперимент ^{13}C нысана үшін Хория Хулубей атындағы Ядролық физика және инженерия институтының (IFIN-HH) 3 МэВ Tandetron үдеткішінде жүргізілді. Эксперимент α -бөлшектер шоғы 30 мкм/см^2 қалыңдықтағы ^{13}C нысанаға және бағытталу арқылы іске асты. Бұл $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ реакциясын қоздырып, төмен және жоғары энергиялы нейтрондар тудырады. Деректер 4.9–6 МэВ энергияларда 15 минуттық қадаммен жиналды. $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ реакциясы үшін 7–16 МэВ диапазонындағы α -бөлшектер шоғы бірнеше ондаған нА қарқындылықпен 9 МВ Tandem үдеткішінен берілді. 200 мкг/см^2 қалыңдықтағы CaF нысана қондырғы ішіне орналастырылды. Сәуле ағынын бақылау үшін сәуле жолының соңында Фарадей стақаны қолданылды. Жиналған деректер ROOT деректер форматында сақталды.

Реакцияны тудыратын α -бөлшектің нақты энергиясын есептеу үшін бөлшектің берілген энергиядағы толық нысана қалыңдығы бойындағы энергия жоғалтуы есептелді. Орташа энергия жоғалту осы мәннің жартысына тең деп қабылданды. Эксперименттік журналдағы сәуле энергиялары осы есептелген орташа энергия жоғалтуларымен түзетілді. Экспериментальды өлшенген қималар 8 және 9 суреттерде келтірілген.



8-сурет – $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ реакциясының экспериментальды өлшенген қимасы

Суретте қарастырылып отырған қондырғы көмегімен жүзеге асырылған $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ реакциясы қимасын өлшеу бойынша сынақтық эксперименттік нәтижелері көрсетілген. Олар Harissopulos (2005) [14] және Bair (1973) [15] топтары алған деректерімен салыстырылған. Резонанстық құрылымның жақсы сәйкестігі байқалады: негізгі шыңдардың орны, салыстырмалы пішіні мен ені сәйкес келеді. Бұл қондырғының жоғары ажырату қабілетін және қолданылған әдістің дұрыстығын дәлелдейді. Нәтижелер қондырғының тіркеу жүйесінің (α, n) реакцияларындағы нәзік резонанстық ерекшеліктерді сенімді түрде тіркей алатынын және оны ядролық физика саласындағы әрі қарайғы зерттеулерде тиімді қолдануға болатынын көрсетеді.



9-сурет – $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ реакциясының эксперименталды өлшенген қимасы

Суретте көрсетілген нәтиже $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ реакциясы үшін жүргізілген сынақтық эксперименттік өлшеу аясында алынған. Графикте осы жұмыста өлшенген қималар (қызыл нүктелер) бұрын жарияланған деректермен салыстырылған: Peters (2016) [16] – көк шаршылар, Norman (2015) [17] – жасыл үшбұрыштар, сондай-ақ JENDL [18] кітапханасынан алынған теориялық есептеулер (көк сызық). 7 МэВ-тен жоғары энергиялар аймағында біздің нәтижелер JENDL болжамымен жақсы сәйкеседі, алайда бұрынғы жұмыстармен салыстырғанда жоғары мәндер көрсетеді. Мұндай айырмашылық ядроның қозған күйлерін есепке алудағы тәсілдердің немесе эксперименттік тиімділікті бағалау әдістерінің әртүрлілігімен түсіндірілуі мүмкін. Бұл нәтижелер қарастырылып отырған құрылғының (α, n) қималарын өлшеуге және қималар алуда сақина-қатынастары (ring-ratio) әдісінің жарамдылығын көрсетеді.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігі, Ғылым комитетінің жобаларды гранттық қаржыландыру шеңберінде жазылды (грант № AP19680284).

Қорытынды

Осы жұмыста ELI-NP кешенінде орналасқан ELIGANT-TN нейтрон санағыш жүйесінің (α, n) типті ядролық реакцияларды зерттеудегі мүмкіндігі қарастырылды. Жүйе құрамына кіретін ^3He газ санауыштарымен жабдықталған полиэтилен модераторы және сигналдарды тіркеу мен өңдеуге арналған цифрлық электроника дәл әрі тиімді жұмыс істеуді қамтамасыз етті. MCNP және Geant4 кодтары арқылы жүргізілген модельдеулер жүйенің нейтрондық тиімділігін нақты энергия диапазондарында есептеуге мүмкіндік берді. Алынған модельдік нәтижелер нейтрон көздерімен (^{252}Cf және PuBe) жүргізілген өлшеулермен жақсы сәйкесіп, модельдеу мен эксперименттің өзара үйлесімділігін көрсетті. Сәуле ағынында жүргізілген сынақтық эксперименттер — $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ және $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ реакциялары үшін — жүйенің нақты шарттарда тексеруге мүмкіндік берді. $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ реакциясы үшін алынған қималар өзге эксперименталды деректерімен салыстырылды және резонанстық құрылым толық сәйкес келді. Бұл жүйенің жоғары спектралдық дәлдігін және сақина-қатынас (ring-ratio) әдісі арқылы нейтрон энергиясын бағалаудың дұрыстығын дәлелдеді. $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ реакциясында алынған қималар теориялық JENDL нәтижелерімен және бұрынғы әдебиетпен салыстырылды. Жалпы алғанда, ELIGANT-TN жүйесі (α, n) реакцияларын жоғары дәлдікпен зерттеу үшін сенімді құрал болып табылады және оны астрофизика мен ядролық технология салаларында кеңінен қолдануға болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Filipescu, D., Anzalone, A., Balabanski, D. L., Belyshev, S. S., Camera, F. Perspectives for photonuclear research at the Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics (ELI-NP) facility [Text] // Eur. Phys. J – 2015. – A51. – P. 185
- 2 Tanaka, K. A., Spohr, K. M., Balabanski, D. L., Balascuta, S., Capponi, L. Current status and highlights of the ELI-NP research program [Text] // Matter Radiat. Extremes – 2020. – Vol. 5. – P. 024402
- 3 Camera, F., Utsunomiya, H., Varlamov, V., Filipescu, D., Baran V., et al. Gamma above the neutron threshold experiments at ELI-NP [Text] // Rom. Rep. Phys. – 2016. – Vol. 68. – P. 539.
- 4 Söderström, P. A., Açıksöz, E., Balabanski, D. L., Camera, F., Capponi L. et al. ELIGANT-GN – ELI Gamma Above Neutron Threshold: The Gamma-Neutron setup [Text] // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A – 2022. – Vol. 1027. – P. 166171.

5 **Utsunomiya, H., Gheorghe, I., Filipescu, D. M., Glodariu, T., Belyshev S., et al.** Direct neutron-multiplicity sorting with a flat-efficiency detector [Text] // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A – 2017. – Vol. 871. – P. 135.

6 **Söderström, P.A., Kusoglu, A., Testov, D.** Prospect for measurements of (γ, n) reaction cross-sections of p-nuclei at ELI-NP [Text] // Front. Astron. Space Sci. – 2023. – Vol. 10. – P. 1248834.

7 **Käppeler, F., Gallino, R., Bisterzo, S., Aoki, W.** The s process: Nuclear physics, stellar models, and observations [Text] // Rev. Mod. Phys. – 2011. – Vol. 83. – P. 157–193.

8 **Pereira, J., Montes, F.** Theoretical uncertainty of (α, n) reactions relevant for the nucleosynthesis of light s-process nuclei in neutrino-driven winds [Text] // Phys. Rev. C – 2016. – Vol. 93. – P. 034611.

9 **Kudryavtsev, V. A., Zakhary, P., Easeman B.** Neutron production in (α, n) reactions [Text] // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A – 2020. – Vol. 972. – P. 164095.

10 **Bedenko, S. V., Ghal-Eh, N., Lutsik, I. O., Shamanin, I. V.** A fuel for generation IV nuclear energy system: Isotopic composition and radiation characteristics [Text] // Appl. Radiat. – 2019. – Vol. 147. – P. 189–196.

11 **Shin, T. H., Bravo, C. A., Marlow, J., Geist, W., Clarke, S. D., Pozzi, S. A.** Neutron-neutron angular and energy-angle correlations of plutonium samples with varying α -ratio [Text] // Nucl. Inst. & Meth. A – 2019. – Vol. 946. – P. 162297.

12 **Brandenburg, K., Hamad, G., Meisel, Z., Brune, C. R., Carter, D. E., Danley, T., Derkin, J., Jones-Alberty, Y., Kenady, B., Massey T. N.** The ^3He BF₃ Giant Barrel (HeBGB) neutron detector [Text] // JINST – 2022. – Vol. 17. – P. 05004.

13 **Aogaki, S., Balabanski, D. L., Borcea, R., Constantin, P., Costache, C. et al.** A setup for high-energy γ -ray spectroscopy with the ELI-NP large-volume LaBr₃: Ce and CeBr₃ detectors at the 9 MV Tandem accelerator at IFIN-HH [Text] // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A – 2023. – Vol. 1056. – P. 168628.

14 **Harissopulos, S., Becker, H. W., Hammer, J. W., Lagoyannis, A., Rolfs, C., Strieder, F.** Cross section of the $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ reaction: A background for the measurement of geo-neutrinos [Text] // Phys. Rev. C – 2005. – Vol. 72. – P. 062801.

15 **Bair, J. K., Haas, F. X.** Total Neutron Yield from the Reactions $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ and $^{17,18}\text{O}(\alpha, n)^{20,21}\text{Ne}$ [Text] // Phys. Rev. C – 1973. – Vol. 7. – P. 1356.

16 **Peters, W. A., Smith, M. S., Pittman, S. et. al.** A kinematically complete, interdisciplinary, and co-institutional measurement of the $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ cross section for nuclear safeguards science [Text] // Technical Report of Idaho National Lab. (INL). – Idaho Falls, – № 1263500.

17 **Norman, E. B., Chupp, T. E., Lesko, K. T., Grant, P. J., Woodruff, G. L.** $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ thick target yield from 3.5 to 10.0 MeV [Text] // Applied Radiation and Isotopes – 2015. – Vol. 103. – P. 177–178.

18 **Shibata, K., Iwamoto, O., Nakagawa, T., Iwamoto, N., Ichihara, A., Kunieda, S., Chiba, S., Furutaka, K., et.al.** JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering [Text] // J. Nucl. Sci. Technology – 2011. – Vol. 48. – P. 1–30.

26.07.25 ж. баспаға түсті.

30.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

23.10.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

А. Морзабаев¹, Ж. Курманалиев², Д. Тестов³,

*А. Кунсафина⁴, *Б. Мауей⁵*

^{1,2,4,5}Евразийский национальный университет имени

Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана;

^{2,5}TOO «Advanced Research and Technology group»,

Республика Казахстан, г. Астана;

³Национальный институт исследований и разработок в области физики и ядерной инженерии имени Хория Хулубэя, Румыния, г. Бухарест-Мэгуреле
Поступило в редакцию 26.07.25.

Поступило с исправлениями 30.07.25.

Принято в печать 23.10.25.

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ (А,N) В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований с целью измерения сечений ядерных (α, n) реакций в области низких энергий с использованием детекторной системы ELIGANT-TN, размещённой в комплексе ELI-NP (Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics). Система состоит из полиэтиленового замедлителя и 28 счётчиков, заполненных газом ^3He . Установка предназначена для точного измерения нейтронных выходов в прикладных задачах в области ядерной астрофизики, радиационной безопасности, медицины и промышленности.

Эффективность установки была смоделирована с помощью кодов MCNP и Geant4 и сравнена с результатами измерений, проведённых с нейтронными источниками ^{252}Cf и PuBe . Хорошее соответствие между моделированием и экспериментом подтвердило надёжность системы. Возможности установки были оценены на основе тестовых экспериментов для реакций $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ и $^{19}\text{F}(\alpha, n)$. Результаты по реакции $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ показали высокое соответствие с ранее опубликованными данными и подтвердили точное определение резонансных структур. Для реакции $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ полученные сечения были сопоставлены с теоретическими данными из библиотеки JENDL, и в области высоких энергий была отмечена хорошая согласованность. Полученные результаты подтверждают, что система ELIGANT-TN является высокоточным и надёжным экспериментальным инструментом, который может быть эффективно использован в будущих исследованиях в области ядерной физики. Кроме того, возможность оценки энергии нейтронов с помощью метода «отношения колец» является одним из ключевых преимуществ установки.

Ключевые слова: альфа-нейтрон реакции, резонансные реакции, нейтронные счётчики, выход нейтронов, Монте-Карло моделирование.

A. Morzabayev¹, Zh. Kurmanaliev², D. Testov³, A. Kunsafina⁴, *B. Maueyev⁵
^{1,2,4,5}L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana;
^{2,5}«Advanced Research and Technology group» LLP,
Republic of Kazakhstan, Astana;
³Horia Hulubei National Institute for Research and Development in Physics and
Nuclear Engineering, Romania, Bucherest-Magurele
Received 26.07.25.
Received in revised form 30.07.25.
Accepted for publication 23.10.25.

(A,N) CROSS-SECTION MEASUREMENTS IN THE LOW-ENERGY RANGE

This work presents the results of experimental studies aimed at measuring the cross sections of (α, n) type nuclear reactions in the low-energy region using the ELIGANT-TN detector system located at the ELI-NP (Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics) facility. The

system consists of a polyethylene moderator and 28 counters filled with ^3He gas. The setup is designed for precise determination of neutron yields for applications in nuclear astrophysics, radiation safety, medicine, and industry. The efficiency of the system was modeled using the MCNP and Geant4 codes and compared with experimental data obtained using ^{252}Cf and PuBe neutron sources. The good agreement between simulation and experiment confirmed the reliability of the system. The capabilities of the setup were evaluated through test experiments for the $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ and $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ reactions. The results for the $^{13}\text{C}(\alpha, n)$ reaction showed high consistency with previously published data and demonstrated accurate identification of resonance structures. For the $^{19}\text{F}(\alpha, n)$ reaction, the measured cross sections were compared with theoretical data from the JENDL library and showed good agreement in the high-energy region. These results confirm that the ELIGANT-TN system is a high-precision and reliable experimental tool that can be widely used in future nuclear physics research. Moreover, the ability to estimate neutron energy using the «ring-ratio» method is considered one of the key advantages of the system.

Keywords: alpha-neutron reactions, resonant reactions, neutron counters, neutron yield, Monte Carlo simulation.

Г. С. Омарова¹, *А. Е. Садықова², Г. Б. Әкім³

^{1,2,3}Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды Ұлттық Зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2900-2168>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0148-3078>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8081-417X>

*e-mail: sadikova-aigul@mail.ru

ПЛАЗМОНДЫ ЭФФЕКТІНІҢ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ/БОЯҒЫШ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ЭЛЕКТРОНДЫ ТАСЫМАЛДАУҒА ӘСЕРІ

Бұл жұмыста TiO_2 жартылай өткізгіші негізіндегі құрылымдар мен әртүрлі бояғыш молекулаларының (N724, SQ) және күміс нанобөлшектерінің қатысуымен фотовольтаикалық және фотоэлектрлік қасиеттері зерттелді. Сонымен қатар, күміс нанобөлшектерінің құрылымдық, оптикалық және электрон тасымалдау процестеріне әсері талданды. SQ және Nd724 жұтылу жолақтарының максимумы сәйкесінше ~ 632 және 650 нм құрайды. Флуоресценцияның максималды қарқындылығы сәйкесінше 635 және 675 нм-де тіркелді. Титан диоксиді негізіндегі жартылай өткізгішті SQ және Nd724 бояғыштарымен сенсбилизациялау кезінде күн ұяшықтарының үлкен жарық жинау қабілеттеріне ие болды. Титан диоксидінің жұтылу қабілеті 360 нм болғаннан баяғыштарды пайдалану тиімді және электрлік қасиеттерін арттырады. Плазмон әсерінің нәтижесінде жарық энергиясын тиімді түрлендіру үдерісі жақсарып, DSSC түріндегі күн ұяшықтарын стандартты әдіспен дайындалды, бояғыштардың және плазмон нанобөлшектерін қосу нәтижесінде жалпы тиімділігі жоғарылады. Титан диоксидінің негізіндегі күн ұяшықтарының тиімділігін арттыру электрондық тасымалын күшейту үшін, сонымен қатар күн ұяшығының тиімділігін 2,5–3,6 есе арттырды. Вольт-амперлік сипаттаманың мәніне сәйкес ең жақсы рекомбинациялық процестің жақсы жүруін TiO_2 -N724/Ag күн ұяшығы көрсетті (J_{sc} , $\text{mA}/\text{cm}^2=1.94$). П.Ә.К. 3,62 есе жоғарлайды.

Кілтті сөздер: титан диоксиді, күн ұяшықтары, бояғыштар, электрон тасымалдауы, плазмонды нанобөлшектер, плазмонды эффект.

Кіріспе

Жаһандық климаттың өзгеруі мен энергия тапшылығы мәселелері жаңа, тиімді және экологиялық таза энергия көздерін іздестіруді қажет етеді. Осы орайда, күн энергиясын тиімді пайдалану — болашақ энергетикасының стратегиялық бағыты ретінде қарастырылады. Күн ұяшықтарының технологиялық дамуы бұл салада елеулі жетістіктерге қол жеткізуге мүмкіндік беруде. Соңғы онжылдықта кремний негізіндегі күн ұяшықтарына балама ретінде бояғышпен сенсбилизацияланған күн ұяшықтары (DSSC – dye-sensitized solar cells) үлкен ғылыми қызығушылық тудырып отыр. DSSC құрылғыларының қарапайым құрылымы, өндірісінің арзандығы және жақсы тиімділігі оларды қолжетімді әрі үнемді энергия көзі ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Мұндай күн ұяшықтарында негізгі рөлді жартылай өткізгіш (көбінесе титан диоксиді – TiO_2) және жарықты жұтып, электронды инъекциялайтын бояғыш молекула атқарады. TiO_2 нанокұрылымдары, мысалы, наностержендер немесе нанотүтікшелер, жарық жұтылғаннан кейін пайда болған электрондарды электрод арқылы тасымалдауға жауап береді. Электрондардың жартылай өткізгіш арқылы тиімді тасымалдануы, олардың рекомбинациясыз өтетін жолының ұзақтығы мен бояғышпен жақсы байланысы күн ұяшығының жалпы өнімділігіне тікелей әсер етеді [1, 583-6.]; [2, 1635-6.]; [3, 3456-6.].

Соңғы жылдары бұл құрылымдардың тиімділігін арттыруда плазмон нанобөлшектердің (мысалы, алтын немесе күміс нанобөлшектері) рөлі ерекше. Металл нанобөлшектерінің бетінде туындайтын локализацияланған плазмонды резонанс (ЛПР) жарықтың жұтылуын арттырып, фотогенерацияланған тасымалдаушылар санының көбеюіне ықпал етеді. Бұл құбылыс бояғыш молекулалардың фотосезімталдығын арттырып қана қоймай, сонымен қатар жартылай өткізгішке электрон инъекциясының жылдамдығын арттырады және жалпы фотоэлектрлік түрлендіру тиімділігін жоғарылатады.

Бұл зерттеу жұмысында TiO_2 жартылай өткізгіші негізіндегі құрылымдар мен әртүрлі бояғыш молекулалардың (N724, SQ және т.б.) қатысуымен фотовольтаикалық және фотоэлектрлік қасиеттері зерттелді. Сонымен қатар, күміс нанобөлшектерінің енгізілуінің құрылымдық, оптикалық және электрон тасымалдау процестеріне әсері талданды.

Материалдар мен әдістері

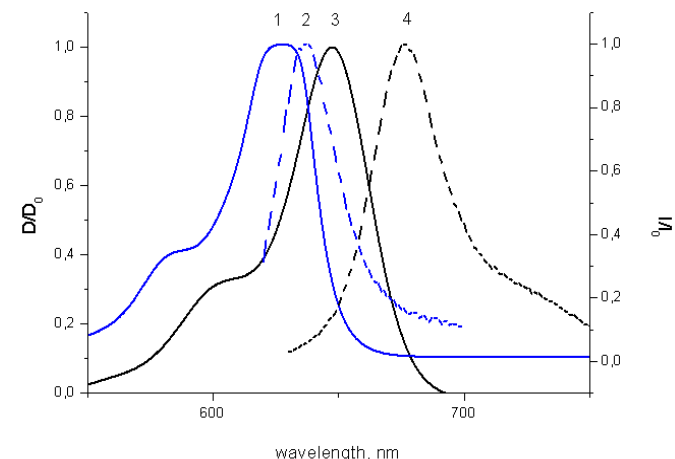
Бояғышпен сенсбилизацияланған күн ұяшықтарында зарядтардың пайда болуы мен бөліну тиімділігі және кеуекті қабыршақтардың электрлік тасымалдау қасиеттері зерттелді. Күн ұяшықтарын жасау үшін фторланған қалайы оксидімен (FTO) қапталған шыны қабыршақтары (Sigma-Oldrich шығарған, бетінің кедергісі 7 Ом/см^2) пайдаланылды. Субстраттар алдымен спиртпен сүртілді, содан кейін стакандарды ыстық сабынды сумен жуып, тазартылған және ионсыздандырылған сумен жақсылап шайылды.

Бізге керекті қабыршақтарды әзірлеу үшін алдымен паста дайындау қажет. Ол үшін: 0,96 грамм титан диоксидін 2 мл этиленгликольмен 24 сағат магнитті араластырғыштың көмегімен араластырамыз. Келесі 24 сағатта 10 % мөлшерлі титан диоксидінің салмағымен 80°C тағы магнитті араластыруға қалдырамыз. Кеуекті қабыршақтарды алу үшін «doctor-bleying» әдісі қолданылды. Қабыршақтардың қалыңдығы белгілі мәнде скотч арқылы басқарылды. Қабыршақтар шығарылғаннан кейін 120-дан 500°C -қа дейінгі температура аралығында термиялық күйдіру жүргізілді [4, с. 6595].

Нәтижелер және талқылау

Бояғыштардың жұтылу және флуоресценция спектрлері 1-суретте көрсетілген. Өлшемдер көрсеткендей жұтылу жолақтары органикалық бояғыштарға тән асимметриялық пішінге ие және 500–700 нм диапазонында орналасқан. SQ және Nd724 жұтылу жолақтарының максимумы сәйкесінше ~ 632 және 650 нм құрайды.

Флуоресценцияның максималды қарқындылығы сәйкесінше 635 және 675 нм-де тіркелді. Функционалды бояғыштар үшін жұтылу және флуоресценция спектрлерінің максимумдары батохромды түрде қозғалады (1-кесте). Бұл жағдайда жұту коэффициенттері функционалды бояғыштар үшін үлкен болады. Сондықтан жартылай өткізгішті SQ және Nd724 бояғыштарымен сенсбилизациялау кезінде күн ұяшықтарының үлкен жарық жинау қабілеттеріне ие болады деп күту керек.



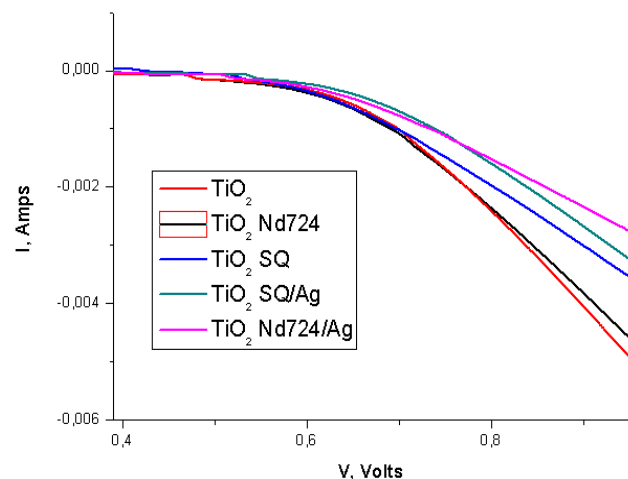
1-сурет – Этанол ерітіндісіндегі бояғыштардың жұтылу және флуоресценция спектрлері ($C=10^{-4}$ моль/л): 1 – SQ жұтылу; 2 – SQ флуоресценция; 3 – Nd724 жұтылу; 4 – Nd724 флуоресценция;

1-кесте – Этанол ерітіндісіндегі SQ және Nd724 бояғыштарының спектрлік-люминесценттік қасиеттері ($C=10^{-4}$ моль/л)

Бояғыш	$\lambda_{\text{max}}^{\text{a}}, \text{нм}$	$\lambda_{\text{max}}^{\text{a}}, \text{нм}$	$\lambda_{\text{max}}^{\text{f}}, \text{нм}$
SQ	632	590	635
Nd724	650	610	675

Фотовольтаикалық (күн) элементтердің негізгі параметрлері олардың тиімділігін, өнімділігін және жұмыс сипаттамаларын бағалау үшін қолданылады. Төменде күн ұяшықтарының негізгі параметрлері мен олардың маңыздылығы сипатталған: бұл параметрлер күн ұяшығының жүктемеге қосылмаған кездегі (ашық тізбек) максималды кернеуін көрсетеді. Ол күн сәулесінің қарқындылығына және элементтің материалдарына байланысты. V_{∞} жоғары болған сайын, элементтің қуат шығару мүмкіндігі артады. Қысқа тұйықталған Іс жағдайда (жүктеме жоқ, тек ток жүреді) күн элементі өндіре алатын максималды ток мәнін көрсетеді. Ол элементтің бетіне түсетін күн сәулесінің қарқындылығымен және фототоктың генерациясымен анықталады.

Жұмыстың осы бөлігінде ұяшықтардың вольт-амперлік сипаттамаларын өлшеу бойынша зерттеулер жүргізілді, олар 2-суретте ұсынылған.



2-сурет – Күн ұяшықтарының вольт-амперлік сипаттамасы

Суреттен көрінетіндей, титан диоксиді негізіндегі күн ұяшықтың меншікті беті неғұрлым жоғары және ток тығыздығы TiO_2 бояғышпен сенсбилизация жасалған ұяшықтарға қарағанда төмен. Ұяшықтағы бос жүріс кернеуінің шамасы пайдаланылатын материалдардың табиғатымен, ал ток тығыздығы – жұтылған бояғыш молекулаларының санымен анықталатыны белгілі.

Алынған деректер негізінде 2-кестеде ұсынылған фотовольтаикалық элементтердің негізгі параметрлері айқындалған. Параметрлерді есептеу «IV-Measurement» бағдарламалар пакетін пайдалана отырып жүргізілді. Күн ұяшықтарының ПӘК келтірілген мәндері әдеби деректермен салыстырғанда ең жоғары болып табылмайды, алайда қажетті тәуелділіктерді дұрыс анықтауға мүмкіндік береді.

2-кесте – Күн ұяшықтарының фотовольтаикалық параметрлері

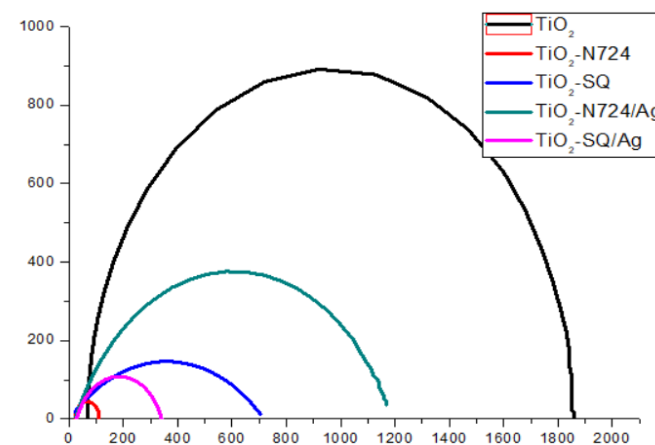
Кеуекті жартылай өткізгіш қабыршақтардың сипаттамалары	U_{oc} , мВ	FF	ПӘК, %	J_{sc} , мА/см ²
TiO_2	407	0,32	0,52	0,47
$\text{TiO}_2\text{-Nd724}$	451	0,57	1,52	0,89

$\text{TiO}_2\text{-SQ}$	472	0,41	1,59	1,65
$\text{TiO}_2\text{-Nd724/Ag}$	559	0,52	1,88	1,94
$\text{TiO}_2\text{-SQ/Ag}$	521	0,55	1,75	1,98

Бұрын зерттелгендей, ұяшықтардағы П.Ә.К.-тің ең жоғары ұлғаюы $\text{TiO}_2\text{-Nd724/Ag}$ – нанобөлшектер қатысуымен байқалады.

Келтірілген нәтижелерден көрініп тұрғандай, бояғыштарын қосу күн энергиясын электр энергиясына айналдыру тиімділігінің өсуіне әкеледі. Шоғырлануы кезінде бос жүріс кернеуінің (1,37 есе) және қысқа тұйықталу (4,2 есе) тогының мәні оңтайлы болып табылады. Осы нәтижелерге сүйене отырып, бояғыштарды қосылуы қабыршақтардың ақаулығының өсуіне немесе рекомбинация жылдамдығының өсуіне алып келмейді деген қорытынды шығаруға болады.

3-суретте бояғыштар мен сондай-ақ күміс нанобөлшектерін қосылған титан диоксидінің импеданс спектроскопиясының графиктері көрсетілген. Зарядтардың кинетикасын және заряд тасымалдаушылардың рекомбинациясын зерттеу үшін импеданс спектроскопиясы әдісі қолданылды.



3-сурет – Найквист кедергі координаттарындағы спектрлер

Импеданс бояғыштар мен күміс нанобөлшектерін қосу арқылы жасалған Найквист координаттарындағы спектрлері 3-суретте көрсетілген.

Кедергі спектрлерінен алынған мәліметтер өткізгіштік аймағына жақын деңгейлерде орналасқан тұзақтар арқылы өтетін заряд тасымалдаушылардың рекомбинациясын бағалауға мүмкіндік береді.

Алынған спектрлердің кедергісі негізінде қабыршақтардың негізгі электрлік тасымалдау қасиеттері есептелді. R_k , R_w , $k_{эфф}$, $\tau_{эфф}$ сияқты параметрлер анықталды, мұндағы R_k – электрон мен кемтіктің рекомбинациясымен байланысты зарядты тасымалдау кедергісі, R_w – TiO_2 – бояғыш/күміс қабыршақтардағы электронды тасымалдау кедергісі, $k_{эфф}$ – заряд тасымалдаушылардың тиімді рекомбинация жылдамдығы және $\tau_{эфф}$ – электронның тиімді өмір сүру уақыты.

Келесі жұмыстарда [5, 49-6.]; [6, 833-6.]; [7, 55-6.] TiO_2 негізіндегі DSSC күнұяшықтарының импеданс спектроскопиясы арқылы электрофизикалық параметрлерді зерттеу көрсетілген. Бұл әдіс оксидті/кеуекті жартылай өткізгіш материалдардың электрофизикалық параметрлерін анықтаудың әмбебап әдісі болып табылады. Сондай-ақ, бұл жұмыста кедергі доғасы дұрыс шеңбердің бөлігі болған жағдайда, R_k мәндері R_w мәндерінен едәуір асып түсетіні белгілі, бұл 3-кестенің деректерімен расталған.

Бояғыштар мен күміс қосу жартылай өткізгіш үлгілердің R_k және R_w қарсылық мәндерін төмендетуге мүмкіндік береді. Тіпті аз мөлшерде қосқанда, өткізгіштігінің жақсаруына әкеледі [8, 2727-6.]; [9, 381-6.].

3-кесте – Өртүрлі массадағы TiO_2 , Nd724, SQ, Ag электрлік тасымалдау параметрлері

Үлгілер	R_k , Ом	R_w , Ом	$k_{эфф}$, c^{-1}	$\tau_{эфф}$, мс
TiO_2	2194,0	69,3	13,895	72
TiO_2 -Nd724	2052,9	30,5	51,767	19
TiO_2 -SQ	1038,7	39,9	19,307	52
TiO_2 -Nd724/Ag	1222,2	51,3	26,822	37
TiO_2 -SQ/Ag	967,3	22,4	99,957	10

Деректерден көріп отырғанымыздай, бояғыш пен күміс қосу кезінде материалдың өткізгіштігінің жоғарылауына әкеледі, бірақ тек SQ қосуына байланысты [10, с. 13]. Нәтижелер максималды әсер байқалатын оңтайлы бояғыш бар екенін көрсетеді. Рекомбинация жылдамдығының тұрақтысы үшін де осындай қорытынды жасауға болады. Ең аз қарсылық үлгісі үшін (TiO_2 -Nd724/Ag) оның мәні $\sim 26,8 c^{-1}$, ал ең үлкен қарсылық үлгісі (TiO_2) үшін $13,9 c^{-1}$ болды.

Электрондық тасымалдау кедергісі (R_w) әдетте «FTO/ TiO_2 -SQ/Ag / электролит» байланыс аралық қабаттарында түзіледі. Бұл қарсылық үлгісі үшін минималды мәнді көрсетеді және тек 27 Ом құрайды. $\tau_{эфф}$ – электронның

тесікпен рекомбинацияланғанға дейінгі тиімді өмір сүру уақыты ретінде түсіндіріледі. Электрондардың өмір сүру уақыты мен өткізгіштігі арасында бір мәнді мәлімдемелер мен корреляция болмаса да, TiO_2 -Nd724/Ag үшін 37 мс құрады, ал жоғары қарсылық үлгісі (TiO_2) үшін оның мәні 72 мс-қа жетті.

Қорытынды

Плазмнды нанобөлшектердің жартылай өткізгіш/бояғыш жүйесіне енгізілуі жарық жұту спектрін кеңейтіп, электронды тасымалдау процесін жақсартады. Бұл DSSC құрылғыларының жалпы тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері болашақта жоғары тиімділікке ие күн ұяшықтарын жасауға негіз бола алады.

Қорытындылай келе плазмнды резонанс құбылысы жартылай өткізгіш/бояғыш гетероқұрылымдарындағы электрон тасымалдау механизмін едәуір жақсарта алады. ПӨК мәні TiO_2 -Nd724/Ag күн ұяшығында 3,62 есе өскенің байқалды. Бұл бағытта жасалған зерттеу нәтижелері жаңа буындағы жоғары тиімді күн ұяшықтары мен фотовольтаикалық жүйелерін әзірлеуде маңызды ғылыми және қолданбалы мәнге ие.

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Bach, U., Lupo, D., Comte, P., Moser J. E. Solid-state dye-sensitized mesoporous TiO_2 solar cells with high photon-to-electron conversion efficiencies. // Nature. – 1998. – Volume 395. – P. 583–585.
- 2 Clifford, J. N., Martínez-Ferrero, E., Viterisi A., Palomares E. Sensitizer molecular structure-device efficiency relationship in dye-sensitized solar cells. // Chemical Society Reviews. – 2011. – Volume 40, № 3. – P. 1635–1646. – <https://doi.org/10.1039/B920664G>.
- 3 Haque, S. A., Palomares, E., Cho, B. M. Charge separation versus recombination in dye-sensitized nanocrystalline solar cells: the minimization of kinetic redundancy. // Journal of the American Chemical Society. – 2005. – Volume 127. – № 10. – P. 3456–3462.
- 4 Hagfeldt, A., Boschloo, G., Sun, L. Dye-sensitized solar cells // Chemical Reviews. – 2010. – Volume 110.No. 11. – P. 6595–6663.
- 5 Omarova, G. S., Serikov, T. M., Seliverstova, E. V., Auzhanova, A. A., Ibrayev, N. Kh. Influence of plasmon effect on the sensitization of titanium dioxide by dye molecules. // Eurasian Physical Technical Journal. – 2024. – Volume 21. № 1(47). – P. 49–56. – <https://doi.org/10.31489/2024No1/49>.
- 6 Afanasyev, D. A., Ibrayev, N. Kh., Serikov, T. M., Zeinidenov, A. K. Effect of the titanium dioxide shell on the plasmon properties of silver

nanoparticles. // Russian Journal of Physical Chemistry A. – 2016. – Volume 90. – № 4. – P. 833–837.

7 Ibrayev, N.Kh., Seliverstova, E.V., Omarova, G.S., Derevyanko, N.A., Khamza, T. Photovoltaic properties of functionalized indodicarbocyanine dye. // Eurasian Physical Technical Journal. – 2022. – Volume 19. – № 3. – P. 55–59. – <https://doi.org/10.31489/2022NO3/55-59>.

8 Feng, X., Zhu, K., Frank, A. J., Grimes, C. A., Mallouk, T. E. Rapid charge transport in dye-sensitized solar cells made from vertically aligned single-crystal rutile TiO_2 nanowires // Angew. Chem. Int. Ed. – 2012. – Volume 51. – № 11. – P. 2727–2730.

9 Sharma, K., Sharma, V., Sharma, S. S. Dye-sensitized solar cells: fundamentals and current status // Nanoscale Res. Lett. – 2018. – Volume 13. – P. 381.

10 Serikov, T. M. The effect of electric transport properties of titanium dioxide nanostructures on their photocatalytic activity // Bull. Kar. Univer.: Phys. – 2020. – Volume 3. – № 99. – P. 13–21.

31.10.25 ж. баспаға түсті.

05.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

01.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

Г. С. Омарова¹, *А. Е. Садықова², Г. Б. Әкім³

^{1,2,3}Қарагандинский национальный исследовательский университет
имени Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда

Поступило в редакцию 31.10.25.

Поступило с исправлениями 05.11.25.

Принято в печать 01.12.25.

ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМОННОГО ЭФФЕКТА НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИК/КРАСИТЕЛЬ СИСТЕМЕ

В данной работе были исследованы фотоэлектрические и фотовольтаические свойства структур на основе полупроводника TiO_2 с участием различных молекул красителей (N724, SQ) и наночастиц серебра. Кроме того, проанализировано влияние наночастиц серебра на структурные, оптические и процессы переноса электронов. Максимумы полос поглощения SQ и Nd724 составляют примерно ~632 и 650 нм соответственно. Максимальная интенсивность флуоресценции зарегистрирована при 635 и 675 нм соответственно. При сенсibilизации полупроводника на основе

диоксида титана красителями SQ и Nd724 солнечные элементы продемонстрировали высокую способность к сбору света. Поскольку поглощение диоксида титана составляет 360 нм, использование красителей эффективно и улучшает электрические свойства.

В результате плазмонного эффекта процесс эффективного преобразования световой энергии улучшился, и солнечные элементы типа DSSC были подготовлены стандартным методом; добавление красителей и плазмонных наночастиц привело к повышению общей эффективности. Повышение эффективности солнечных элементов на основе диоксида титана усилением переноса электронов привело к увеличению эффективности солнечного элемента в 2,5–3,6 раза. Согласно значениям вольт-амперной характеристики, наилучший процесс рекомбинации наблюдался в солнечном элементе TiO_2 -N724/Ag (J_{sc} , $\text{mA}/\text{cm}^2 = 1,94$). КПД возрос на 3,62 раза.

Ключевые слова: диоксид титана, солнечные элементы, красители, электрическая транспортировка, плазмонные наночастицы, плазмонный эффект.

G. S. Omarova¹, *A. E. Sadykova², G. B. Akim³

^{1,2,3}Karaganda National Research University named after E. A. Buketov,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Received 31.10.25.

Received in revised form 05.11.25.

Accepted for publication 01.12.25.

PLASMON EFFECT ON ELECTRON TRANSFER IN THE SEMICONDUCTOR/DYE SYSTEM

In this work, the photovoltaic and photoelectric properties of TiO_2 -based structures were investigated in the presence of different dye molecules (N724, SQ) and silver nanoparticles. Additionally, the influence of silver nanoparticles on structural, optical, and electron transport processes was analyzed. The absorption maxima of SQ and Nd724 are approximately ~632 nm and 650 nm, respectively. The maximum fluorescence intensity was recorded at 635 nm and 675 nm, respectively. Upon sensitization of the TiO_2 semiconductor with SQ and Nd724 dyes, the solar cells exhibited high light-harvesting capabilities. Since the absorption edge of titanium dioxide is 360 nm, the use of dyes is efficient and enhances its electrical properties. As a result of the plasmonic effect, the process

of efficient light energy conversion improved, and DSSC-type solar cells were prepared using the standard method; the addition of dyes and plasmonic nanoparticles led to an overall increase in efficiency. Enhancing electron transport in TiO₂-based solar cells increased the cell efficiency by 2.5–3.6 times. According to the current-voltage characteristics, the best recombination process was observed in the TiO₂-N724/Ag solar cell (J_{sc} , mA/cm² = 1.94). The overall power conversion efficiency increased by 3.62 times.

Keywords: titanium dioxide, solar cells, dyes, electric transportation, plasmonic nanoparticles, plasmonic effect.

МРНТИ 61.31.55; 31.15.35

<https://doi.org/10.48081/MXLU3634>

***Д. К. Сариева¹, А. В. Кум²**

¹Университет Шакарима, Республика Казахстан, г. Семей;

²ТОО «Integrity systems & solutions», Республика Казахстан, г. Алматы.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1810-095X>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2885-1044>

*e-mail: tolkin-1001@mail.ru

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЦЕОЛИТА ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

В данной статье рассмотрены особенности подбора и применения цеолитсодержащих катализаторов для преобразования лёгких углеводородов (C₁–C₄) в ценные химические продукты. В рамках проведенного аналитического обзора показано, что эффективность каталитических процессов дегидрирования, ароматизации и изомеризации определяется структурными и кислотными характеристиками цеолитов. Выявлено, что за счет регулируемой кислотности и микропористой структуре цеолиты обеспечивают селективное направление реакций и высокую стабильность катализаторов. Цеолиты типа CHA (SAPO-34, SSZ-13) оптимальны для синтеза лёгких олефинов из метанола и CO₂. В свою очередь модификация цеолитов металлами (Ce, Ga, Fe, Mn и др.) повышает их устойчивость к коксообразованию. Использование иерархических и гибридных структур позволяет улучшить массоперенос и реализовать последовательную конверсию CO₂ в метанол и даже в целевые углеводороды. Следует отметить, что выбор типа цеолита и метода модификации позволяет целенаправленно проектировать катализаторы нового поколения для процессов преобразования CO₂, метанола и лёгких углеводородов в ценные химические продукты. Полученные результаты могут быть использованы при разработке энергоэффективных технологий химической переработки углеродсодержащего сырья и создания катализаторов с прогнозируемыми свойствами.

Ключевые слова: цеолитные катализаторы, лёгкие углеводороды, дегидрирование, ароматизация, изомеризация, модификация металлами, конверсия CO₂.

Введение

Цеолитные катализаторы занимают важное место в химической, нефтехимической и энергетической промышленности благодаря их уникальной пористой структуре, высокой термической и гидротермической стабильности, а также способности обеспечивать селективность по размеру и форме молекул [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9]. Эти свойства делают цеолиты незаменимыми материалами для гетерогенно-каталитических реакций, адсорбции, и ионообмена [1; 8].

Цеолиты представляют собой кристаллические алюмосиликатные материалы с системой взаимосвязанных микропор (0,5–1,2 нм), выполняющих функцию молекулярных сит. Их каталитическая активность определяется сочетанием кислотно-основных и структурных свойств. В работах [1; 5] изучено целенаправленное модифицирование путём изменения соотношения Si/Al и введения различных катионов или металлических наночастиц. Изменяя данные параметры, можно регулировать кислотность, текстурные характеристики и устойчивость катализаторов при воздействии высоких температур и водяного пара [2; 5].

Современные достижения в синтезе и структурной модификации цеолитов способствовали расширению спектра их каталитических применений. Разработка методов внедрения активных металлических центров (Fe, Cu, Pd, Pt и др.) привела к созданию металл-цеолитных катализаторов, объединяющих преимущества цеолитной структуры и металлических активных фаз. Такие композиты демонстрируют высокую активность и уникальную селективность в реакциях гидрирования, дегидрирования, окисления и селективного каталитического восстановления оксидов азота аммиаком [1; 2; 5].

Особое значение имеют структурные факторы, влияющие на каталитические характеристики цеолитов: распределение алюминия в каркасе, тип и сила кислотных центров, размер и форма пор. Контроль этих параметров позволяет направленно регулировать каталитические свойства и повышать эффективность цеолитов в разнообразных химических процессах. На рисунке 1 представлена структура широко используемого цеолита ZSM-5. Он обладает двумерной пористой структурой и имеет ортогональную или моноклинную кристаллическую решетку. Структура пор ZSM-5 представляет собой десятичленное кольцо [10].

На основании анализа современных публикаций показано, что исследования направлены на использование цеолитных катализаторов в экологических и энергоэффективных технологиях, включая окисление метана, переработку лёгких углеводородов, селективное восстановление NO_x и синтез углеводородов и оксигенатов из альтернативного сырья [2; 4].

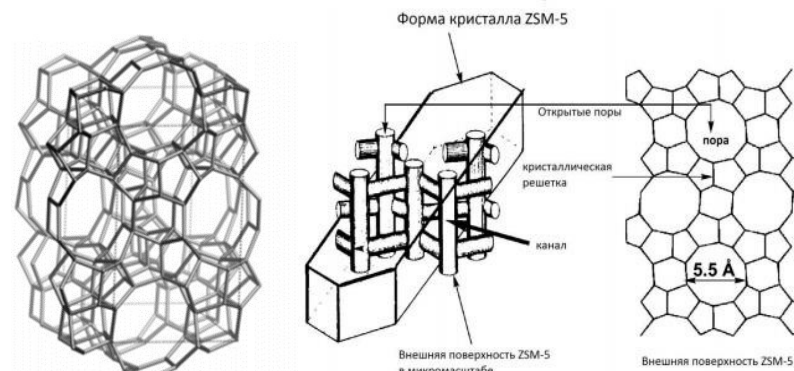


Рисунок 1 – Структура цеолита ZSM-5 [10]

Особый интерес вызывают иерархические цеолиты, в которых введение мезо- и макропор увеличивает доступность активных центров и улучшает диффузию реагентов, что приводит к росту активности и стабильности катализаторов [3; 9]. Дополнительное расширение функциональности достигается созданием многофункциональных систем, объединяющих цеолиты с металлами (Pd, Pt, Ni, Fe, Cu), что позволяет существенно повысить селективность и разнообразить спектр возможных реакций [1; 5].

Промышленное значение цеолитов охватывает широкий диапазон процессов – от каталитического крекинга в нефтехимии до адсорбции и ионообмена при очистке газов, жидкостей и сточных вод. Кроме того, цеолиты применяются в строительных материалах, сельском хозяйстве, бумажной и пластмассовой промышленности, а также для улавливания радионуклидов. Примеры промышленных направлений их использования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Промышленное применение цеолитов

Применение	Описание и преимущества
Каталитический крекинг нефти	Преобразование тяжелых фракций в бензин и легкие углеводороды (цеолит Y, USY) [2]
Селективное окисление и гидрогенизация	Производство метанола, формальдегида, олефинов, ароматических соединений [1; 2; 7]
Очистка выбросов (NO_x , CO_2)	Селективное восстановление NO_x , улавливание и конверсия CO , [6; 8]

Биомасса и альтернативные сырьё	Катализаторы для конверсии биомассы и синтез-газов в ценные химикаты [4; 6; 7]
---------------------------------	--

Разработка цеолитных катализаторов с использованием эффективных и экологически безопасных подходов синтеза является актуальной задачей современной химии пористых материалов. Это позволит перейти от эмпирических методов к обоснованному проектированию катализаторов с предсказуемыми свойствами и минимизацией экологических рисков. Цеолитные материалы могут быть использованы для улавливания CO_2 из газов горения при низком парциальном давлении компонентов и его очистки для последующей транспортировки. Использование цеолитов в процессах разделения позволит значительно снизить потребление энергии и, соответственно, выбросы антропогенных газов. Помимо этого, важной задачей станет утилизации CO_2 путем его конверсии в полезные продукты. В этом отношении перспективными являются процессы «замкнутого цикла». В настоящее время рассматриваются 2 таких цикла, которые взаимосвязаны между собой. Наиболее приемлемым решением для утилизации CO_2 будет его конверсия в метанол [11] (Рисунок 2). Эволюция от однофункциональных систем (твёрдые кислоты, катализаторы окисления) к би- и multifunctionальным катализаторам на основе цеолитов и оксидов металлов отражает общую тенденцию перехода химической промышленности к технологиям, обеспечивающим более глубокую переработку углеводородного сырья и снижение выбросов CO_2 и NO_x .



Рисунок 2 – Процессы «замкнутого цикла» и роль цеолитных катализаторов [11]

За последние десятилетия достигнут значительный прогресс в области синтеза цеолитов, включая создание новых структур через манипулирование цеолитными монослоями, разработку эффективных методов их экологичного получения и исследование синергетического взаимодействия цеолитов с металлическими и оксидными фазами при конверсии низкоуглеродных соединений. Это позволило углубить понимание взаимосвязи между структурой, кислотными свойствами и каталитической активностью, открывая возможности для рационального проектирования катализаторов с заданной селективностью.

Одним из наиболее перспективных направлений является использование цеолитных катализаторов для обработки лёгких углеводородов, где выбор структуры цеолита, его кислотности и пористости определяет эффективность и распределение продуктов реакции [12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20]. Так, цеолиты типа CHA (SSZ-13, SAPO-34) с компактными порами (3,8 Å) способствуют образованию C_2 – C_4 углеводородов: SSZ-13 благодаря сильным кислотным центрам повышает выход пропана, а SAPO-34 – лёгких олефинов [12; 15]. Цеолит ZSM-5 (MFI) отличается высокой селективностью к лёгким олефинам из-за низкой активности переноса водорода; его металлическая модификация (Ce, Ga) и иерархическая структура повышают стабильность и выход целевых продуктов [14; 19]. Цеолит BEA (β) при оптимальном соотношении $\text{Si}/\text{Al} \approx 50$ обеспечивает баланс кислотности и текстурных свойств, что способствует высокой конверсии и селективности к пропилену [13; 20]. Цеолиты SAPO-5, MOR и Y характеризуются различной селективностью: SAPO-5 – к C_3 – C_5 , MOR и Y – к более длинноцепочечным алканам и ароматическим соединениям [18].

Проведённое сравнительное исследование цеолитов Y и ZSM-5 с одинаковым соотношением Si/Al в каталитическом крекинге бионефти при 450 °C показало различия в механизмах реакции. Катализаторы, полученные агломерацией цеолитов с $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, были охарактеризованы методами N_2 -адсорбции/десорбции, SEM-EDX, пиридин-FTIR, tBA-TPD и NH_3 -TPD. Катализатор HZSM-5, обладая высокой кислотностью, способствует крекингу и дезоксигенации с образованием олефинов C_2 – C_4 и ароматических соединений (до 13 %), тогда как HY катализирует олигомеризацию и перенос водорода, формируя преимущественно алифатические бензиновые и дизельные фракции. Оба катализатора обеспечивают высокий выход углеводородов C_5 – C_{12} и получение облагороженной бионефти с низким содержанием фенольных соединений [17].

Кроме того, иерархические и core-shell структуры (например, ZSM-11@silicalite-2) способствуют улучшению массопереноса, увеличению срока службы катализатора и повышению выхода лёгких олефинов [16]. Размер и

форма пор также определяют распределение продуктов: узкие поры (CHA, AEI) преимущественно формируют этилен, тогда как более широкие (BEA, ZSM-12) способствуют образованию пропилена и бутенов [20].

Следовательно, выбор цеолитной структуры является ключевым фактором для оптимизации каталитической обработки лёгких углеводородов и разработки эффективных систем для получения ценных химических продуктов из возобновляемого и низкоуглеродного сырья.

Материалы и методы

В работе была использована комплексная методология исследования цеолитных катализаторов, направленная на выявление взаимосвязей между структурными, кислотными и морфологическими характеристиками цеолитов и их каталитической активностью при конверсии углеводородсодержащих соединений в лёгкие углеводороды и олефины.

Синтез катализаторов осуществлялся преимущественно гидротермальными методами, обеспечивающими получение цеолитов с различными структурными типами (CHA, BEA, MFI, MEL, Y, SAPO, ZSM-5, ZSM-11, ZSM-12 и др.) и варьируемым соотношением Si/Al для регулирования кислотности и пористости. При необходимости осуществлялась постсинтетическая модификация, включая щелочную обработку, паровую обработку и гетероатомный обмен (введение Ga, Ce, Fe, Mn и др.), что позволяло управлять количеством и силой кислотных центров Бренстеда и Льюиса, а также стабилизировать кристаллический каркас цеолита [13; 19].

Для создания бифункциональных и гибридных систем применялись композиции оксид металла–цеолит (OX–ZEO), объединяющие катализаторы синтеза Фишера–Тропша (например, Na/ZnFe₂O₄, CuO–ZnO–Al₂O₃, FeMnK) с цеолитами различных структур (SAPO-34, SAPO-5, SSZ-13, ZSM-5 и др.). Такая комбинация позволяла последовательно проводить гидрирование CO₂ и превращение метанола или длинноцепочечных углеводородов в лёгкие олефины (C₂–C₄), повышая общую селективность и снижая образование побочных продуктов. Для изучения роли цеолита в таких системах варьировались тип пор, морфология и кислотность, определяемые структурой CHA, AEI, ERI или SAPO [12; 15; 18].

Часть катализаторов конструировалась по концепции ядро–оболочка и иерархических структур, направленных на улучшение массопереноса и устойчивости к коксообразованию. В частности, цеолиты типа ZSM-11@силикалит-2 и FeMnK@H-S-1 демонстрировали повышенную селективность по лёгким олефинам вследствие оптимального сочетания микропористости и мезопористости.

Для регулирования кислотных свойств цеолитов использовались различные подходы:

Гидротермальная модификация (Ce/HZSM-5, CeO₂/HZSM-5) для восстановления дефектов и увеличения доли кислот Бренстеда;

Щелочная десиликатизация с целью формирования иерархических пор и повышения каталитической стабильности [19].

Гетероатомный обмен (замещение Al на Ga, Fe, In, Zn и др.) для получения катализаторов с пониженной кислотностью, пригодных для tandemных реакций.

Физико-химические свойства катализаторов характеризовались методами рентгеноструктурного анализа (XRD), индуктивно-связанной плазмы (ICP), адсорбции/десорбции азота (BET), просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии (TEM, FE-SEM), твердотельного ЯМР (²⁷Al, ²⁹Si), термогравиметрического анализа (TGA), ИК-спектроскопии с пиридином (FTIR-пу) и NH₃-TPD для оценки кислотности и текстурных параметров цеолитов [13; 19].

Каталитические испытания проводились в реакторах с неподвижным слоем при температурах 250–600 °C в зависимости от природы катализатора и исходного сырья: CO₂, синтез-газа, лёгких углеводородов, метанола, этанола или сырой нефти [13; 18]. Активность и селективность оценивались по конверсии исходного вещества и выходу целевых продуктов (C₂–C₄ олефинов, C₃–C₅ углеводородов, ароматических соединений, реактивного биотоплива и др.).

Для установления влияния структурных параметров цеолита на селективность проводились сравнительные испытания цеолитов различных топологий. Так, цеолиты SAPO-34 и SSZ-13 (тип CHA) обеспечивали преимущественное образование C₂–C₄ олефинов при гидрировании CO₂, в то время как β-цеолит демонстрировал высокую активность при крекинге нефти с преимущественным образованием пропилена [12; 13]. Аналогично, катализаторы на основе ZSM-5, модифицированные металлами или с иерархической пористостью, показали улучшенную конверсию углеводородов и устойчивость к дезактивации [14; 19].

Таблица 2 – Сравнительная таблица цеолитов по структуре, кислотности и селективности

Цеолит	Кислотность/ Модификация	Основные продукты	Преимущества
SSZ-13	Высокая, паровая обработка	C3 (пропан, пропилен)	Регулируемая селективность
SAPO-34	Средняя	Легкие олефины	Высокая селективность
ZSM-5	Модифицированная	Этилен, пропилен	Стабильность, низкий кокс
BEA	Si/Al=50	Пропилен	Высокая конверсия
ZSM-12	Si/Al=80	Пропилен	Оптимальная структура пор

Кроме того, были исследованы гибридные цеолитные катализаторы (Y–ZSM-5, Y/ZSM-5), применённые для переработки биомассы (пальмового масла), что позволило варьировать соотношение алканов и ароматических углеводородов в продуктах реакции.

Следует отметить что совокупность применённых методов позволила установить ключевые корреляции между архитектурой пор, распределением кислотных центров и селективностью каталитических процессов, направленных на получение лёгких углеводородов из различных исходных соединений углерода.

Результаты и обсуждение

1. Влияние структуры цеолита на каталитические свойства

Результаты показали, что тип цеолитной структуры оказывает определяющее влияние на направление и глубину конверсии углеродсодержащих соединений. Цеолиты типа CHA (SAPO-34, SSZ-13) проявили высокую селективность к образованию лёгких олефинов (C₂–C₄), что согласуется с их узкой микропористой системой (диаметр пор около 0,38 нм), ограничивающей диффузию более крупных молекул. В то же время цеолиты с более открытой структурой (β, ZSM-5, ZSM-11) обеспечивали формирование как олефинов, так и ароматических углеводородов.

Таким образом, форма и размер пор цеолита выступают фактором, определяющим направление превращения промежуточных продуктов, таких как метанол, этанол или синтез-газ.

2. Роль кислотных центров и модифицирующих добавок

Изменение кислотных характеристик цеолитов посредством изоморфного замещения (Ga, Fe, Ce, Mn, In и др.) показало, что баланс между кислотными центрами Бренстеда и Льюиса критически влияет на активность и устойчивость катализаторов.

Например, введение церия в HZSM-5 (Ce/HZSM-5) способствовало стабилизации алюмосиликатного каркаса и снижению скорости дезактивации, тогда как легирование галлием или железом усиливало дегидрирующую активность, увеличивая выход пропилена и бутенов.

Щелочная и паровая постобработка (десиликатизация) приводила к формированию иерархических цеолитов, обладающих развитой мезопористостью. Такие катализаторы демонстрировали более высокую стабильность за счёт улучшенного массопереноса и уменьшения коксообразования при длительных реакциях [16].

3. Бифункциональные и гибридные системы

При использовании оксидно-цеолитных композитов (OX–ZEO) наблюдался синергетический эффект между металлическими центрами и кислотными узлами цеолита.

В частности, системы на основе FeMnK@H-S-1 и Na/ZnFe₂O₄–SAPO-34 обеспечивали эффективную последовательную конверсию CO₂ в метанол, а затем в лёгкие олефины. Это подтверждает, что комбинация оксидного катализатора синтеза Фишера–Тропша и кислотного цеолита позволяет направленно регулировать состав углеводородных фракций [12; 18].

Также было установлено, что цеолиты с разной топологией (CHA, AEI, ERI, MFI) задают различные каналы транспорта промежуточных соединений и влияют на относительную скорость реакций метанола–олефин (МТО) и олефин–ароматизация (ARO). Например, SAPO-34 преимущественно формирует пропилен, а β-цеолит — более тяжёлые ароматические соединения.

4. Каталитическая активность и устойчивость

Каталитические испытания показали, что при температуре 400–500 °C и атмосферном давлении цеолиты ZSM-5 и SAPO-34 обеспечивают конверсию CO₂ и метанола выше 80 % при селективности по C₂–C₄ олефинам до 60–70 %.

Модифицированные образцы (Ce/ZSM-5, Fe/ZSM-11) демонстрировали более медленную дезактивацию, связанную с уменьшением образования кокса и сохранением кислотных центров Бренстеда.

Кроме того, гибридные катализаторы (Y–ZSM-5, Y/ZSM-5), применённые при переработке биомассы (например, пальмового масла), показали возможность управляемого изменения состава углеводородов в продуктах, обеспечивая более высокий выход ароматических и циклических соединений.

Как показали результаты, сочетание регулируемой кислотности, многомасштабной пористости и присутствия активных металлических центров позволяет создать наиболее подходящий цеолитный катализатор и повысить их эксплуатационную устойчивость.

Выводы

Проведённые исследования подтвердили ключевую роль структурных и кислотных характеристик цеолитов в управлении направлением и глубиной каталитических превращений углеродсодержащих соединений.

Выявлено, что:

- цеолиты типа СНА (SAPO-34, SSZ-13) являются оптимальными для синтеза лёгких олефинов из метанола и CO₂ благодаря ограниченной микропористой структуре;

- модификация цеолитов металлами (Ce, Ga, Fe, Mn и др.) способствует регулированию кислотности и повышению устойчивости к коксообразованию;

- иерархические структуры с мезопорами обеспечивают улучшенный массоперенос и стабильность катализаторов при длительных испытаниях;

- применение гибридных систем ОХ–ЗЕО открывает возможность последовательной конверсии CO₂ в метанол и далее в целевые углеводороды.

В рамках проведенного анализа нами установлено что выбор типа цеолита, состава и метода модификации дает возможность проектировать усовершенствованные каталитические системы для процессов преобразования CO₂, метанола и лёгких углеводородов в ценные химические продукты.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке энергоэффективных технологий химической переработки углеродсодержащего сырья и создания катализаторов с прогнозируемыми свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Sun, Q., Wang, N., Yu, J. Advances in Catalytic Applications of Zeolite-Supported Metal Catalysts [Text] // Advanced Materials. – 2021. – V.33. – 2104442 p. – <https://doi.org/10.1002/adma.202104442>

2 Wu, L., Fan, W., Wang, X., Lin, H., Tao, J., Liu, Y., Deng, J., Jing, L., Dai, H. Methane Oxidation over the Zeolites-Based Catalysts [Text] // Catalysts – 2023. – 13. – 604 p. – <https://doi.org/10.3390/catal13030604>

3 Wei, Y., Feng, J., Guan, B., & Yu, J. Structural Engineering of Hierarchical Zeolite-Based Catalysts [Text] // Accounts of Materials Research. – 2024. – <https://doi.org/10.1021/accountsmr.4c00076>.

4 Li, Y., Yu, J. Emerging applications of zeolites in catalysis, separation and host–guest assembly [Text] // Nat Rev Mater 6, 2021. – 1156–1174 p. – <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00347-3>

5 Zhang, Q., Gao, S., Yu, J. Metal Sites in Zeolites: Synthesis, Characterization, and Catalysis [Text] // Chemical reviews. – 2022. – <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00315>.

6 Li, Y., Li, L., Yu, J. Applications of Zeolites in Sustainable Chemistry [Text] // Chem, 3. – 2017. – 928–949 p. – <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2017.10.009>.

7 Azhari, N., Nurdini, N., Mardiana, S., Iimi, T., Fajar, A., Makertihartha, I., Subagjo, S., Kadja, G. Zeolite-based catalyst for direct conversion of CO₂ to C₂+ hydrocarbon: A review [Text] // Journal of CO₂ Utilization, 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.101969>.

8 Peng, C., Yan, R., Peng, H., Mi, Y., Liang, J., Liu, W., Wang, X., Song, G., Wu, P., Liu, F. One-pot synthesis of layered mesoporous ZSM-5 plus Cu ion-exchange: Enhanced NH₃-SCR performance on Cu-ZSM-5 with hierarchical pore structures [Text] // Journal of hazardous materials. – 2019. – 121593 p. – <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121593>.

9 Xu, H., Wu, P. New progress in zeolite synthesis and catalysis [Text] - National Science Review. – 2022. – <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac045>.

10 Михайлов, С. А. Металл-цеолитные катализаторы с мезопористой системой для процесса селективного превращения метана в ароматические углеводороды [Текст]: дисс. на соиск. уч. степ. канд. хим. наук: – Москва, 2017. – 145 с.

11 Иванова, И и др. Innovations in the field of zeolite catalysis [Text] // ЭП. 2021. – № 6. – 68–79 p.

12 Ra, E., Kim, K., Lee, J., Jang, S., Kim, H., Lee, J., Kim, E., Kim, H., Kwak, J., Lee, J. Selective Light Hydrocarbon Production from CO₂ Hydrogenation over Na/ZnFe₂O₄ and CHA-Zeolite Hybrid Catalysts [Text] // ACS Catalysis, 2024. – <https://doi.org/10.1021/acscatal.4c00099>.

13 Alhassan, A., Tanimu, A., Yusuf, B., Siddiqui, M., Aitani, A., Alhooshani, K., Ganiyu, S. Insights into Si/Al ratios for enhanced performance of β-zeolites in thermocatalytic cracking of crude oil to light olefins [Text] // Journal of the Energy Institute, 2024. – <https://doi.org/10.1016/j.joei.2024.101792>.

14 Tanimu, A., Tanimu, G., Alasiri, H., Aitani, A. Catalytic Cracking of Crude Oil: Mini Review of Catalyst Formulations for Enhanced Selectivity to Light Olefins. [Text] // Energy & Fuels, 2022. – <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c00567>.

15 Chernyak, S., Corda, M., Marinova, M., Safonova, O., Kondratenko, V., Kondratenko, E., Kolyagin, Y., Cheng, K., Ordonsky, V., Khodakov, A. Decisive Influence of SAPO-34 Zeolite on Light Olefin Selectivity in Methanol-Mediated CO₂ Hydrogenation over Metal Oxide-Zeolite Catalysts [Text]// ACS Catalysis, 2023. – <https://doi.org/10.1021/acscatal.3c03759>.

16 Le, T., Shilpa, K., Lee, C., Han, S., Weiland, C., Bare, S., Dauenhauer, P., Rimer, J. Core-shell and Egg-shell Zeolite Catalysts for Enhanced Hydrocarbon Processing [Text] // Journal of Catalysis, 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2021.11.004>.

17 Valle, B., Palos, R., Bilbao, J., Gayubo, A. Role of zeolite properties in bio-oil deoxygenation and hydrocarbons production by catalytic cracking. [Text] // Fuel Processing Technology, 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107130>.

18 Liu, T., Lu, T., Yang, M., Zhou, L., Yang, X., Gao, B., Su, Y. Enhanced Catalytic Performance of CuO–ZnO–Al₂O₃/SAPO-5 Bifunctional Catalysts for Direct Conversion of Syngas to Light Hydrocarbons and Insights into the Role of Zeolite Acidity [Text] // Catalysis Letters – 2019. – № 149. – 3338–3348 p. – <https://doi.org/10.1007/s10562-019-02901-9>.

19 Zhang, C., Kwak, G., Park, H., Jun, K., Lee, Y., Kang, S., Kim, S. Light hydrocarbons to BTEX aromatics over hierarchical HZSM-5: Effects of alkali treatment on catalytic performance. [Text] // Microporous and Mesoporous Materials, 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.10.005>.

20 Anilkumar, M., Loke, N., Patil, V., Panday, R. Hydrocracking of hydrotreated light cycle oil to mono aromatics over non-noble bi-functional (ni-w supported) zeolite catalysts [Text] // Catalysis Today, 2020. – № 358. – 221–227 p. – <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.12.027>.

REFERENCES

1 Sun, Q., Wang, N., Yu, J. Advances in Catalytic Applications of Zeolite-Supported Metal Catalysts [Text] // Advanced Materials. – 2021. – V.33. – 2104442 p. – <https://doi.org/10.1002/adma.202104442>

2 Wu, L., Fan, W., Wang, X., Lin, H., Tao, J., Liu, Y., Deng, J., Jing, L., Dai, H. Methane Oxidation over the Zeolites-Based Catalysts [Text] // Catalysts – 2023. – 13. – 604 p. – <https://doi.org/10.3390/catal13030604>

3 Wei, Y., Feng, J., Guan, B., & Yu, J. Structural Engineering of Hierarchical Zeolite-Based Catalysts [Text] // Accounts of Materials Research. – 2024. – <https://doi.org/10.1021/accountsr.4c00076>.

4 Li, Y., Yu, J. Emerging applications of zeolites in catalysis, separation and host–guest assembly [Text] // Nat Rev Mater 6, 2021. – 1156–1174 p. – <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00347-3>

5 Zhang, Q., Gao, S., Yu, J. Metal Sites in Zeolites: Synthesis, Characterization, and Catalysis [Text] // Chemical reviews. – 2022. – <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00315>.

6 Li, Y., Li, L., Yu, J. Applications of Zeolites in Sustainable Chemistry [Text] // Chem, 3. – 2017. – 928–949 p. – <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2017.10.009>.

7 Azhari, N., Nurdini, N., Mardiana, S., Ilmi, T., Fajar, A., Makertiharta, I., Subagio, S., Kadja, G. Zeolite-based catalyst for direct conversion of CO₂ to C2+ hydrocarbon: A review [Text] // Journal of CO₂ Utilization, 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.101969>.

8 Peng, C., Yan, R., Peng, H., Mi, Y., Liang, J., Liu, W., Wang, X., Song, G., Wu, P., Liu, F. One-pot synthesis of layered mesoporous ZSM-5 plus Cu ion-exchange: Enhanced NH₃-SCR performance on Cu-ZSM-5 with hierarchical pore structures [Text] // Journal of hazardous materials. – 2019. – 121593 p. – <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121593>.

9 Xu, H., Wu, P. New progress in zeolite synthesis and catalysis [Text] - National Science Review. – 2022. – <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac045>.

10 Mixajlov, S. A. Metall-ceolitny`e katalizatory` s mezoporistoj sistemoj dlya processa selektivnogo pre- vrashheniya metana v aromatcheskie uglevodorody [Metal-zeolite catalysts with a mesoporous system for the process of selective conversion of methane into aromatic hydrocarbons] [Tekst]: diss. na soisk. uch. step. kand. xim. nauk: – M. : 2017. – 145 p.

11 Ivanova, I. and other. Innovations in the field of zeolite catalysis [Text] // ЭП. 2021. – № 6. – 68–79 p.

12 Ra, E., Kim, K., Lee, J., Jang, S., Kim, H., Lee, J., Kim, E., Kim, H., Kwak, J., Lee, J. Selective Light Hydrocarbon Production from CO₂ Hydrogenation over Na/ZnFe₂O₄ and CHA-Zeolite Hybrid Catalysts [Text] // ACS Catalysis, 2024. – <https://doi.org/10.1021/acscatal.4c00099>.

13 Alhassan, A., Tanimu, A., Yusuf, B., Siddiqui, M., Aitani, A., Alhooshani, K., Ganiyu, S. Insights into Si/Al ratios for enhanced performance of β-zeolites in thermocatalytic cracking of crude oil to light olefins [Text] // Journal of the Energy Institute, 2024. – <https://doi.org/10.1016/j.joei.2024.101792>.

14 Tanimu, A., Tanimu, G., Alasiri, H., Aitani, A. Catalytic Cracking of Crude Oil: Mini Review of Catalyst Formulations for Enhanced Selectivity to Light Olefins. [Text] // Energy & Fuels, 2022. – <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c00567>.

15 Chernyak, S., Corda, M., Marinova, M., Safonova, O., Kondratenko, V., Kondratenko, E., Kolyagin, Y., Cheng, K., Ordonsky, V., Khodakov, A. Decisive Influence of SAPO-34 Zeolite on Light Olefin Selectivity in Methanol-Meditated CO₂ Hydrogenation over Metal Oxide-Zeolite Catalysts [Text] // ACS Catalysis, 2023. – <https://doi.org/10.1021/acscatal.3c03759>.

16 Le, T., Shilpa, K., Lee, C., Han, S., Weiland, C., Bare, S., Dauenhauer, P., Rimer, J. Core-shell and Egg-shell Zeolite Catalysts for Enhanced Hydrocarbon Processing [Text] // Journal of Catalysis, 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2021.11.004>.

17 Valle, B., Palos, R., Bilbao, J., Gayubo, A. Role of zeolite properties in bio-oil deoxygenation and hydrocarbons production by catalytic cracking. [Text] // Fuel Processing Technology, 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107130>.

18 Liu, T., Lu, T., Yang, M., Zhou, L., Yang, X., Gao, B., Su, Y. Enhanced Catalytic Performance of CuO–ZnO–Al₂O₃/SAPO-5 Bifunctional Catalysts for Direct Conversion of Syngas to Light Hydrocarbons and Insights into the Role of Zeolite Acidity [Text] // Catalysis Letters – 2019. – № 149. – 3338–3348 p. – <https://doi.org/10.1007/s10562-019-02901-9>.

19 Zhang, C., Kwak, G., Park, H., Jun, K., Lee, Y., Kang, S., Kim, S. Light hydrocarbons to BTEX aromatics over hierarchical HZSM-5: Effects of alkali treatment on catalytic performance. [Text] // Microporous and Mesoporous Materials, 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.10.005>.

20 Anilkumar, M., Loke, N., Patil, V., Panday, R. Hydrocracking of hydrotreated light cycle oil to mono aromatics over non-noble bi-functional (ni-w supported) zeolite catalysts [Text] // Catalysis Today, 2020. – № 358. – 221–227 p. – <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.12.027>.

Поступило в редакцию 03.11.25.

Поступило с исправлениями 10.11.25.

Принято в печать 01.12.25.

*Д. К. Сариева¹, А. В. Ким²

¹Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қ.;

²ТОО «Integrity systems & solutions», Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
03.11.25 ж. баспаға түсті.

10.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

01.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖЕҢІЛ КӨМІРСУТЕКТЕРДІ КАТАЛИТИКАЛЫҚ ОҢДЕУ ҮШІН ОҢТАЙЛЫ ЦЕОЛИТТІ ТАҢДАУ

Ұсынылып отырған мақалада құрамында цеолит бар катализаторларды таңдап алу мен оны жеңіл көмірсутектерін (C₁–C₄) пайдалы химиялық өнімдерге түрлендіру үшін пайдалану қарастырылған.

Жүргізілген сараптамалық шолу аясында дегидридтеу, иістендіру мен изомерлендіру каталитикалық процестерінің тиімділігі цеолиттердің құрылымыдық және қышқылдық сипаттамаларына байланысты екендігі анықталды. Өзінің

реттелетін қышқылдығы мен микрокеуді құрылымы арқасында цеолиттер таңдаулы реакция бағыты мен катализаторлардың жоғары тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Онымен қоса, СНА типтегі (SAPO-34, SSZ-13) цеолиттер СО₂ мен метанолдан жеңіл олефиндерді синтездеуге өте қолайлы. Өз кезегінде, цеолитті металлдармен (Ce, Ga, Fe, Mn және басқалары) жақсарту олардың кокс түзілуіне тұрақтылығын арттырады.

Иерархиялық және гибриді құрылымдарды пайдалану масса алмасуын жақсартуға және СО₂-нің метанолға бірізді айналуын, жіне де ары қарай мақсатты көмірсутегіне түрленуін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Атап өтетін болсақ, цеолит типі мен оны модификациялау әдістерін таңдау арқылы СО₂, метанол мен жеңіл көмірсутектерін құнды химиялық өнімдерге түрлендіруге арналған жаңа буынды катализаторларды жасап шығаруға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелерді құрамында көміртегі бар шикізаттарды химиялық оңдеудің энергиялық тиімді технологиясын құрастыруға және қасиеті алдын ала болжаланатын катализаторларды ойлап табуға пайдаланылуы әбден мүмкін.

Кілтті сөздер: цеолитті катализаторлар, жеңіл көмірсутектер, дегидрлеу, ароматтандыру, изомерлеу, металлдармен модификациялау, СО₂ конверсиясы.

*D. K. Sariyeva¹, A. V. Kim²

¹Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey;

²TOO «Integrity systems & solutions», Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 03.11.25.

Received in revised form 10.11.25.

Accepted for publication 01.12.25.

SELECTING AN OPTIMAL ZEOLITE FOR CATALYTIC TREATMENT OF LIGHT HYDROCARBONS

This article examines the selection and application of zeolite-containing catalysts for converting light hydrocarbons (C₁–C₄) into valuable chemical products. This analytical review demonstrates that the efficiency of catalytic dehydrogenation, aromatization, and isomerization processes is determined by the structural and acidic properties of zeolites. Zeolites, due to their adjustable acidity and microporous structure, are found to ensure selective reaction pathways and high catalyst stability.

CHA-type zeolites (SAPO-34, SSZ-13) are optimal for synthesizing light olefins from methanol and CO₂. Modifying zeolites with metals (Ce, Ga, Fe, Mn, etc.) increases their resistance to coke formation. The use of hierarchical and hybrid structures improves mass transfer and enables the sequential conversion of CO₂ to methanol and then to the target hydrocarbons. It should be noted that the choice of zeolite type and modification method enables the targeted design of next-generation catalysts for the conversion of CO₂, methanol, and light hydrocarbons into valuable chemical products. The results obtained can be used in the development of energy-efficient technologies for the chemical processing of carbon-containing feedstocks and the creation of catalysts with predictable properties.

Keywords: zeolite catalysts, light hydrocarbons, dehydrogenation, aromatization, isomerization, metal modification, CO₂ conversion.

МРНТИ 61.51.17

<https://doi.org/10.48081/JANW1272>

**А. Ж. Сатыбалдин¹, К. М. Шаймерденова²,
Г. К. Алпысова³, *С. Ж. Накипова⁴, Р. Сейтжан⁵.**

^{1,2,3,4,5}Карагандинский исследовательский университет имени академика

Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7164-2188>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4999-8662>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

*e-mail: satybaldin.1975@mail.ru

ЖВҚИР ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ РАЗРЯДТЫҚ КЕРНЕУІНІҢ МҰНАЙ ШЛАМЫНЫҢ ЖЕҢІЛ ЖӘНЕ ОРТА ФРАКЦИЯЛАРЫНЫҢ ШЫҒЫМЫНА ӘСЕРІ

Бұл жұмыста Атасу-Алашанькоу мұнай айдау құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламын жоғары вольтты қысқа импульсті электрогидравликалық разряд әдісі арқылы қайта өңдеу процесін зерттеу нәтижелері келтірілген. Негізгі электрофизикалық параметрлердің – разрядтық кернеудің, конденсатор батареясының сыйымдылығының, өңдеу ұзақтығының, ауа электродтары арасындағы қашықтықтың және катализатор қоспасының мұнай шламынан алынатын жеңіл және орташа фракциялар шығымына әсері жан-жақты зерттелді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, фракция шығымының ең жоғары мәні 36,4 %-ға дейін артатыны анықталды. Никель жсалатылған цеолит катализаторының жоғары молекулалы қосылыстардың деструкциясын арттыратыны және электрофизикалық параметрлердің оңтайлы мәндерін таңдау процесінің энергия тиімділігін ұлғайтатыны анықталды.

Алынған нәтижелер мұнай қалдықтарын қайта өңдеудің және кәдеге жсратудың энергия үнемді технологияларын жсетілдіру үшін негіз бола алады. Сонымен қатар, зерттеу барысында алынған мәліметтер электрогидравликалық әсердің физика-химиялық механизмдерін терең түсінуге мүмкіндік береді және болашақта катализатор құрамын жсетілдіру мен өңдеу параметрлерін оңтайландыру бағытында қолдануға болады. Жүргізілген зерттеу нәтижелері экологиялық қауіпсіз және энергия тиімді

технологияларды өнеркәсіптік деңгейде енгізудің әлеуетін көрсетеді. Бұл өз кезегінде мұнай өндіру және қайта өңдеу салаларында технологияларды дамытуға жол ашады.

Кілтті сөздер: мұнай шламы, нанокатализатор, жоғары вольтты қысқа импульсті электрогидравликалық разряд (ЖВҚИР), жеңіл және орташа фракциялар.

Кіріспе

Қазіргі таңда әлем бойынша дәстүрлі көмірсутек көздерінің, әсіресе мұнай қорының азаюы байқалуда. Сондықтан мұнайды тиімді пайдалану мен көмірсутектердің баламалы және дәстүрлі емес көздерін іздеу өзекті мәселе болып отыр. Бұлардың қатарына табиғи битумдар, ауыр және тұтқыр мұнайлар, сондай-ақ мұнай қалдықтары, соның ішінде мұнай шламдары жатады. Бұл қалдықтарды қайта өңдеу экологиялық жүктемені азайтып қана қоймай, құнды көмірсутек көздерін алуға мүмкіндік беретін қосымша шикізат көзі ретінде де қарастырылады [1; 2].

Мұнай шламдарын өңдеу мен кәдеге жаратуға арналған тиімді технологияларды табу – ғылым мен өндіріс үшін маңызды мәселе болып саналады. Бұл бағыттың өзектілігі дәстүрлі көмірсутек қорларының азаюы мен шикізат базасын баламалы көздер арқылы кеңейту қажеттілігіне байланысты артып келеді [3; 4]. Алайда, мұндай шикізатты өңдеу жоғары тұтқырлығы мен құрамындағы шайырлы-асфальтенді қосылыстардың, металдардың және басқа да қоспалардың көп болуына байланысты күрделі технологиялық қиындықтар туындатады. Мұнай қалдықтарын өңдеудің ең тиімді әдістерінің бірі – ауыр көмірсутекті органикалық массаға жоғары вольтты қысқа импульсті электрогидравликалық разрядтың (ЖВҚИР) әсер ету әдісі болып табылады [5]. Бұл әдіс сұйық ортада жоғары энергиялы импульстар генерациясына негізделген, нәтижесінде соққы толқындары мен жергілікті экстремалды жағдайлар – жоғары температура, қысым, кавитация және көптеген физикалық құбылыстар мен химиялық реакциялар жүреді. Мұның әсерінен күрделі жоғары молекулалы көмірсутек құрылымдары бұзылып, төмен молекулалы қосылыстар түзіледі [6; 7].

ЖВҚИР әдісін қолдану мұнай қалдықтарының физика-химиялық қасиеттерін жақсартып, тұтқырлығын төмендетуге, ағымдылығын арттыруға және жеңіл мен орташа көмірсутек фракцияларының шығымын көбейтуге мүмкіндік береді. Бұл көмірсутекті қосылыстар отын және мұнайхимия өнеркәсібі үшін бағалы шикізат болып табылады. Әдістің қосымша артықшылықтарына салыстырмалы түрде жоғары энергия тиімділігі, экологиялық тазалығы (агрессивті химиялық реагенттерді қолданудың қажет еместігі) және каталитикалық процестермен біріктіру мүмкіндігі жатады.

Бұған дейінгі зерттеулерімізде [8; 9] никель жалатылған бентонитті ЖВҚИР әсерімен бірге қолданудың тиімділігі қарастырылды. Зерттеу нәтижелері никель жалатылған бентониттің ауыр көмірсутек қосылыстарының қосымша деструкциясын қамтамасыз ететіні сонымен қатар жеңіл және орташа фракциялардың шығымын арттыратынын көрсетті. Алынған нәтижелер мұнай шламдарын өңдеу процестерінің тиімділігін арттыру мақсатында минералды катализаторларды пайдаланудың орынды екенін дәлелдеді.

Алдағы зерттеулердің перспективті бағыты – авторлардың әзірлеген никель жалатылған цеолит негізіндегі нанокатализатордың әсерін зерттеу арқылы оның каталитикалық белсенділігін арттыру болып табылады. Цеолиттер өздерінің бірегей кристалдық құрылымы мен беткі қасиеттерінің арқасында ауыр көмірсутек шикізатын өңдеу кезінде жоғары тиімділік көрсетіп, төмен молекулалы өнімдердің шығымын арттырады. Сонымен қатар, цеолиттердің жылу тұрақтылығының жоғары болуы оларды жоғары температура жағдайында мұнай қалдықтарын өңдеуде қолдануға мүмкіндік береді [10].

ЖВҚИР әдісін цеолит негізіндегі нанокөмпозитті катализаторлармен біріктіріп қолдану мұнай шламдарын тиімді өңдеудің жаңа мүмкіндіктерін ашады. Атап айтқанда, никель жалатылған активтендірілген цеолит пен бентонит қоспасы негізінде алынған катализатордың мұнай шламын өңдеу процесіне әсерін зерттеу ауыр көмірсутек шикізатының термиялық крекингінің жаңа нанокатализаторларын әзірлеуге және енгізуге негіз бола алады. Мұндай тәсіл өңдеу тиімділігін арттыруға, мақсатты өнімдердің шығымын көбейтуге және техногендік қалдықтарды кәдеге жарату мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде Атасу–Алашанькоу магистральдық мұнай құбырының ішкі беттерінде түзілген мұнай шламы пайдаланылды.

ЖВҚИР көмегімен өңдеу кезінде мұнай шламының ауыр органикалық бөлігінің бұзылу реакциясының механизмін түсіну үшін сұйық гидрогенизаттардың 300 °C дейінгі орташа және жеңіл фракциялары мен ауыр дистиллят фракцияларының табиғатын білудің маңызы зор.

Жеңіл және орташа фракциялардың шығымын арттыру мақсатында мұнай шламына никель жалатылған цеолит катализаторы қосылды. Оның концентрациясы өңделетін мұнай шламы көлемінде 0,0–1,5 % аралығында (0,5 %, 1,0 % және 1,5 %) өзгертілді, сонымен қатар ЖВҚИР қондырғысының разрядтық кернеуі 17–35 кВ аралығындағы соққы толқындарының мұнай шламына әсері зерттелінді. Катализатор ұсақ дисперсті ұнтақ түрінде электрогидравликалық әсер ету басталар алдында енгізілді.

Өңдеу өнімдерінің фракциялық құрамын хроматографиялық масс-спектрометрия (ХМС) әдісімен анықталды, ал процестің тиімділігінің негізгі критерийі ретінде зерттелетін мұнай шламынан 200 және 300 °С температураларда бөлінетін жеңіл және орташа көмірсутек фракцияларының пайыздық шығымы алынды.

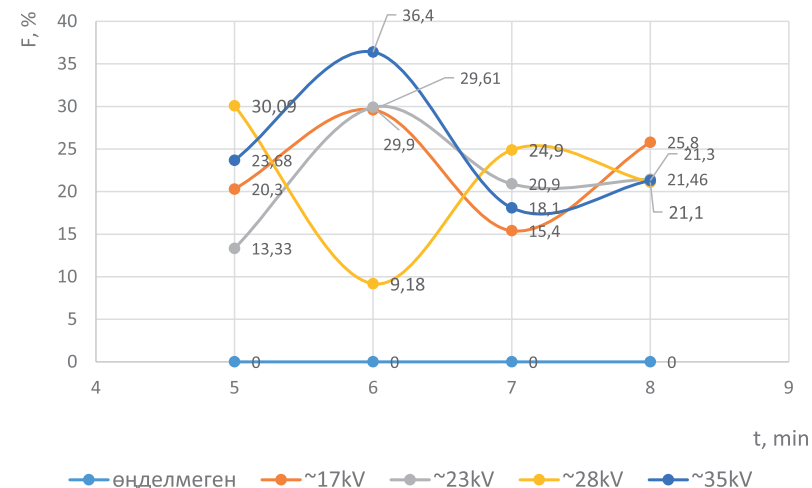
Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының ішкі беттерінде түзілетін мұнай шламын ЖВҚИР әсерімен өңдеу процесінің оңтайлы электрофизикалық параметрлерін анықтау және оның математикалық моделін құру мақсатында ықтимал-детерминациялық жоспарлау әдісі қолданылған зертханалық тәжірибелер жүргізілді [2]. Қолданылған әдістемелік тәсіл ЖВҚИР қондырғысының негізгі параметрлері мен нанокаталитикалық қоспаның өзара әсерін бағалауға мүмкіндік берді.

Мұнай шламынан мақсатты өнімдердің шығымы қарастырылып отырған параметрлерге сызықтық емес тәуелділікке ие болғандықтан, тәжірибелік деректерді өңдеу үшін сызықтық емес көптік корреляция принциптеріне негізделген математикалық экспериментті жоспарлау әдісі қолданылды.

Зерттеулерді жоспарлау негізінде жеңіл және орташа көмірсутек фракцияларының шығымына негізгі ЖВҚИР қондырғысының электрофизикалық параметрлерінің әсерін көрсететін графиктер тұрғызылды.

Нәтижелер және талқылау

1-суреттегі графиктен Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының ішкі бетінде түзілген мұнай шламын өңдеу кезінде жеңіл және орташа фракцияның шығымының ЖВҚИР қондырғысымен өңдеу ұзақтығына және разрядтық кернеуге тәуелділігі көрсетілген.

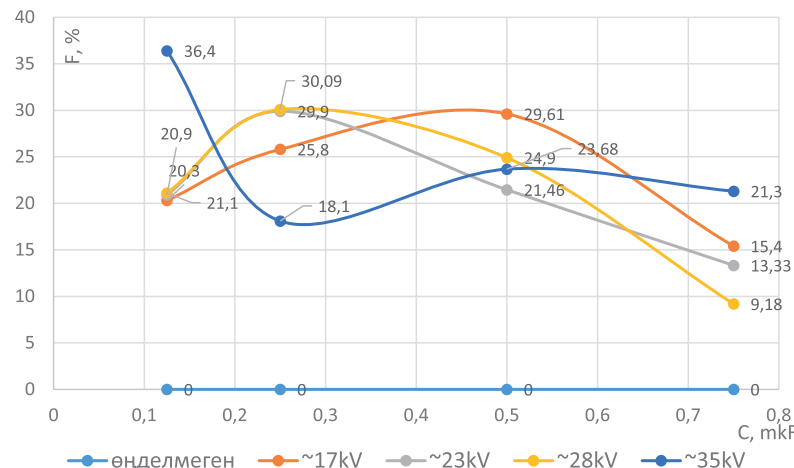


1-сурет – ЖВҚИР қондырғысының өңдеу уақыты мен разрядтық кернеудің жеңіл және орташа фракциялардың шығымына әсері

1-суреттегі графиктен көрініп тұрғандай, жеңіл және орташа фракциялардың ең жоғары шығымы өңдеу уақыты 6 минут және разрядтық кернеу ~35кВ болған жағдайда байқалады. Осы шарттарда шығым бастапқы мұнай шламы массасының 36,4 %-ын құрады. Алынған нәтижені екі фактордың – ЖВҚИР әсер ету ұзақтығы мен разрядтық кернеудің оңтайлы үйлесімінің – бірлескен әсерімен түсіндіруге болады. Бұл жағдай импульстік разрядтың тұрақты түзілуін қамтамасыз етіп, жоғары молекулалы көмірсутек қосылыстарының деструкциясына ықпал ететіндігі анықталды.

Өңдеу уақытының 6 минуттан асуы (7–8 минутқа дейін) мақсатты фракциялар шығымының төмендеуіне әкеледі. Бұл разряд энергиясының қайта бөлінуімен және реакция өнімдерінің екіншілік тығыздалуымен түсіндіріледі. Сол сияқты, ~35кВ-тан төмен болуы разряд каналының тұрақсыздығына және ортаның шамадан тыс қызып кетуіне байланысты процестің тиімділігін төмендетеді.

2-суреттегі графикте ЖВҚИР әдісімен өңдеу кезінде разряд кернеуінің (кВ) және конденсатор батареясының сыйымдылығының (мкФ) мұнай шламынан жеңіл және орташа фракциялар шығымына (%) әсері көрсетілген.



2-сурет – Разряд кернеуінің мұнай шламынан жеңіл және орташа фракциялардың шығымына әсері

Көріп тұрғанымыздай, конденсатор сыйымдылығын 0,125 мкФ-тан 0,25 мкФ-қа дейін өзгерткенде, жеңіл және орташа фракцияның 17–35 кВ аралығында жоғарлағандығын көруге болады, дегеніменде фракцияның максимал шығымының өзгерісі, яғни мұнай шламының ЖВҚИР разрядтық кернеуі 35 кВ кезінде 36,4 пайызға дейін көрсетіндігін байқадық.

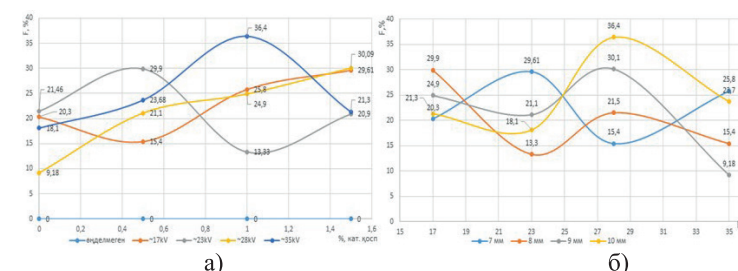
Бұл шамалар оптималды разряд параметрлері кезінде өңдеу тиімділігінің жоғарылайтынын көрсетеді.

Алайда конденсатор сыйымдылығын 0,5-0,75 мкФ-қа дейін ұлғайтқан кезде, керісінше, жеңіл және орташа фракциялар шығымы төмендегенін (мысалы, 35 кВ кезінде 36,4 %-дан 21,3 %-ға дейін) зерттеулер нәтижесі көрсетті. Мұның себебі – разряд энергиясының шамадан тыс ұлғаюы, бұл терең ыдырау процестерін күшейтіп, газ тәрізді өнімдердің түзілуіне әкелетіндігінде.

Мұндай өзгерістерді конденсатор батареясының аз сыйымдылық мәндерінде өңдеу ұяшығы ішінде жоғары молекулалы көмірсутекті қосылыстардың интенсивті ыдырайтындығы мен, соны мен қатар химиялық реакцияның белсенді жүретіндігімен түсіндіріледі. Катализатордың қатысуымен бұл процестер ауыр көмірсутектердегі C–C молекулалық байланыстардың үзілуін жеделдету есебінен анағұрлым тиімді өтеді.

Келесі 3 (а, б) графиктерінде никель жалатылған цеолит нанокатализаторының мөлшері мен ЖВҚИР қондырғысының разрядтық

кернеуінің мұнай шламынан алынатын жеңіл және орташа фракциялардың шығымына әсері келтірілген.



3-сурет – Никель жалатылған цеолит нанокатализаторының мөлшері (а) мен разрядтық кернеудің (б) электродтар аралығына байланысты мұнай шламынан алынатын жеңіл және орташа фракциялардың шығымына әсері

Эксперименттік деректерге сәйкес, жеңіл және орташа фракциялардың ең жоғары шығымы никель жалатылған цеолит нанокатализаторының концентрациясы 1 % разрядтық кернеу ~35кВ және электродтар аралығы 10 мм болған жағдайда байқалды. Катализатор мөлшерін одан әрі арттыру мақсатты өнімдердің шығымының төмендеуіне әкеледі. Бұл құбылыс белсенді компоненттердің сорбциясымен немесе органикалық ортаның қозғалғыштығының шектелуімен түсіндіріледі. Мұндай нәтиже процестің тиімділігін барынша арттыру үшін катализатор мөлшерін дәл оңтайландырудың қажеттілігін көрсетеді. Мұнай шламының гидрогенизаттарының топтық және жеке құрамын зерттеуден алынған нәтижелер ЖВҚИР кернуі туындаған соққы толқындары мұнай шламының ауыр бөлігінің жойылу реакциясының жылдамдығын арттырып қана қоймайды, сонымен қатар гидрлеу және гидрогенолиз реакцияларын бір мезгілде катализдейді деп бекітуге мүмкіндік береді.

Осылайша, жоғарыда келтірілген нәтижелер эксперимент жүргізудің оңтайлы шарттарын, ЖВҚИР разрядтық кернеуі туындаған соққы толқындарын қолдана отырып, алдын ала өңдеуден кейін жоғары көлемді мұнай шламынан алынған жеңіл және орташа фракциялардың топтық және жеке көмірсутектік құрамына каталитикалық қоспа мөлшерінің әсерін анықтауға мүмкіндік берді.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (Грант № AP23483556).

Қорытынды

Жүргізілген эксперименттік зерттеулер нәтижесінде никель жалатылған цеолит негізіндегі нанокатализаторды қолданумен бірге жоғары вольтты қысқаймпульсті электрогидравликалық разряд (ЖВҚИР) технологиясын пайдалану Атасу–Алашанькоу мұнай құбырларының ішкі беттерінде түзілетін мұнай шламын қайта өңдеу тиімділігін арттыратыны анықталды. Жеңіл және орташа көмірсутек фракцияларының шығымына процестің электрофизикалық параметрлері – ЖВҚИР қондырғысының конденсатор батареясының сыйымдылығы, электродаралық қашықтық, әсер ету уақыты және енгізілген катализатор үлесі - айтарлықтай әсер ететіні белгіленді.

Киловольтметр көрсеткіштері, яғни нақты разряд кернеуінің мәні, конденсатор батареясының сыйымдылығы және катализатор концентрациясымен бірге мұнай шламындағы жоғары молекулалы қосылыстардың электрогидравликалық бұзылу тиімділігін айқындайды.

Фракциялардың ең жоғары шығымы – 36,4 % артуы ЖВҚИР қондырғысының электрофизикалық параметрлерінің келесі оңтайлы жағдайларында байқалады: өңдеу уақыты 6 минут, электрод аралық қашықтық 10 мм, конденсатор сыйымдылығы 0,125 мкФ және катализатор концентрациясы 1,0 %. Цеолит құрамды катализаторды енгізу процестің энергия тиімділігін арттырады, бұл ЖВҚИР технологиясын мұнай қалдықтарын каталитикалық әдістермен біріктіріп қолданудың болашағы зор екенін дәлелдейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Сатыбалдин, А. Ж. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Утилизация нефтяных донных отложений в резервуарах с помощью электрогидравлического эффекта». – № 3282-Ф-21. – 2021.

2 Satybaldin, A. Zh., Zhakipbaev, B. Y., Tusipkhan, A., Baykenov, M. I., Khalikova, Z. S., Alyssova, G. K. The influence of a high-voltage discharge on the oil bottom sediments formed at the oil storage facilities of the Atasu-Alashankou station // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Vol. 18. – № 3 (37). – P. 71–75.

3 Абусал, Я. А. Я., Исмаков, Р. А., Яхин, А. Р., Горшков, В. А. Эффективное разделение нефтешлама с использованием комбинированной технологии // Нефтяная провинция. – 2025. – № 1 (41). – С. 246–258. – <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.246-258>

4 Сосновский, С. А., Сачков, В. И., Обходская, Е. К., Мишик, А., Кудабаяев, Б. Б., Роздольский, В. Г., Ли, Хунда. Исследование переработки жидких промышленных отходов нефтегазового комплекса в условиях высоковольтного импульсного искрового разряда // Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий. – 2018. – <https://doi.org/10.17223/9785946217408/551>

5 Suganuma, S., Katada, N. Innovation of catalytic technology for upgrading of crude oil in petroleum refinery // Fuel Processing Technology. – 2020. – Vol. 208. – P. 106518. – <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106518>

6 Stebeleva, O. P., Minakov, A. V. Application of cavitation in oil processing: An overview of mechanisms and results of treatment // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6. – № 47. – P. 31411–31420. – <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05858>

7 Доронин, В. П., Липин, П. В., Потапенко, О. В., Сорокина, Т. П., Короткова, Н. В., Горденко, В. И. Перспективные разработки: катализаторы крекинга и добавки к ним // Катализ в промышленности. – 2014. – № 5. – С. 82–87.

8 Сатыбалдин, А. Ж., Байкенов, М. И., Жандыбаев, Б. Б., Сейтжан, Р. С., Бердибаев, Д. Н. Атасу-алашанькоу мұнай шламдарының реологиялық мінездемелеріне ЖВҚИР-дың әсерін зерттеу // Вестник Торайгыров университета. – 2024. – № 4. – С. 170–180. – <https://doi.org/10.48081/HXQH2608>

9 Сатыбалдин, А. Ж., Шаймерденова, К. М., Байкенов, М. И., Жандыбаев, Б. Б., Тянах, С. Влияние нанокатализатора и ВКЭГР на выход фракций из нефтешлама // Вестник Торайгыров университета. – 2025. – № 2. – С. 289–302. – <https://doi.org/10.48081/BMGX4755>

10 Жукова, Е. М. Воздействие высоковольтного электрогидравлического разряда на физико-химические свойства нефти и нефтепродуктов : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04. – Саратов : Саратовский гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. – 2008. – 145 с.

REFERENCES

1 Satybaldin, A. Zh. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po teme «Utilizatsiya neftyanykh donnykh otlozheniy v rezervuarakh s pomoshch'yu elektrogidravlicheskogo effekta» [Report on the research work on the topic «Utilization of oil bottom sediments in tanks using the electrohydraulic effect»]. – 2021. – Report № 3282-F-21.

2 Satybaldin, A. Zh., Zhakipbaeyev, B. Y., Tusipkhan, A., Baykenov, M. I., Khalikova, Z. S., Alpysova, G. K. The influence of a high-voltage discharge on the oil bottom sediments formed at the oil storage facilities of the Atasu-Alashankou station // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Vol. 18. – № 3 (37). – P. 71–75.

3 Abusal, Ya. A. Ya., Ismakov, R. A., Yakhin, A. R., & Gorshkov, V. A. Effektivnoe razdelenie nefteshlama s ispol'zovaniem kombinirovannoy tekhnologii [Effective separation of oil sludge using a combined technology] // Neftyanaya Provintsiya [Oil Province]. – 2025. – Vol. 1(41). – P. 246–258. – <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.246-258>

4 Sosnovskiy, S. A., Sachkov, V. I., Obkhodskaya, E. K., Mishik, A., Kudabayev, B. B., Rozdol'skiy, V. G., & Li, Hunda. Issledovanie pererabotki zhidkikh promyshlennykh otkhodov neftegazovogo kompleksa v usloviyakh vysokovol'tnogo impul'snogo iskrovogo razryada [Study of the processing of liquid industrial waste of the oil and gas complex under high-voltage pulsed spark discharge conditions] // Perspektivnye materialy s ierarkhicheskoy strukturoy dlya novykh tekhnologiy [Advanced materials with hierarchical structure for new technologies]. – 2018. – <https://doi.org/10.17223/9785946217408/551>

5 Suganuma, S., Katada, N. Innovation of catalytic technology for upgrading of crude oil in petroleum refinery // Fuel Processing Technology. – 2020. – Vol. 208. – P. 106518. – <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106518>

6 Stebeleva, O. P., Minakov, A. V. Application of cavitation in oil processing: An overview of mechanisms and results of treatment // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6. – № 47. – P. 31411–31420. – <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05858>

7 Doronin, V. P., Lipin, P. V., Potapenko, O. V., Sorokina, T. P., Korotkova, N. V., & Gordenko, V. I. Perspektivnye razrabotki: katalizatory krekinga i dobavki k nim [Promising developments: cracking catalysts and their additives] // Kataliz v Promyshlennosti [Catalysis in Industry]. – 2014. – Vol. 5. – P. 82–87.

8 Satybaldin, A. Zh., Baykenov, M. I., Zhandybaev, B. B., Seitzhan, R. S., & Berdibayev, D. N. Atasu-Alashankou munay shlamdarynyn reologiyalyk minezdemelerine ZhVQIR-dyn aserin zertteu [Study of the effect of HVED on the rheological characteristics of Atasu-Alashankou oil sludge] // Vestnik Toraigrov Universiteta [Toraigrov University Bulletin]. – 2024. – Vol. 4. – P. 170–180. – <https://doi.org/10.48081/HXQH2608>

9 Satybaldin, A. Zh., Shaymerdenova, K. M., Baykenov, M. I., Zhandybaev, B. B., & Tyanakh, S. Vliyanie nanokatalizatora i VKEGR na vykhod fraktsiy iz nefteshlama [Influence of nanocatalyst and HVED on the yield of fractions from oil sludge] // Vestnik Toraigrov Universiteta [Toraigrov University Bulletin]. – 2025. – Vol. 2. – P. 289–302. – <https://doi.org/10.48081/BMGX4755>

10 Zhukova, E. M. Vozdeystvie vysokovol'tnogo elektrogidravlicheskogo razryada na fiziko-khimicheskie svoystva nefi i nefteproduktov [Influence of high-voltage electrohydraulic discharge on the physicochemical properties of oil and petroleum products]. – Dissertation for the degree of Candidate of Chemical Sciences (02.00.04). – Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov. – 2008. – 145 p.

04.11.25 ж. баспаға түсті.

11.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

02.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

А. Ж. Сатыбалдин¹, К. М. Шаймерденова², Г. К. Алпысова³,

*С. Ж. Накипова⁴, Р. Сейтжан⁵

^{1,2,3,4,5}Қарағандинский исследовательский университет имени академика

Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда.

Поступило в редакцию 04.11.25.

Поступило с исправлениями 11.11.25.

Принято в печать 02.12.25.

ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ВКЭГР УСТАНОВКИ НА ВЫХОД ЛЁГКОЙ И СРЕДНЕЙ ФРАКЦИЙ НЕФТЕШЛАМА

В данной работе представлены результаты исследования процесса переработки нефтешлама, образовавшегося на внутренней поверхности нефтепровода Атасу-Алашанькоу, методом высоковольтного короткоимпульсного электрогидравлического разряда. Комплексно изучено влияние основных электрофизических параметров – разрядного напряжения, ёмкости батареи конденсаторов, продолжительности обработки, расстояния между воздушными электродами и добавления нанокатализатора – на выход лёгкой и средней фракций из нефтешлама. Результаты исследования показали, что максимальное значение выхода фракций увеличивается до 36,4 %. Установлено, что использование катализатора на основе цеолита нанесённым никелем способствует

деструкции высокомолекулярных соединений, а выбор оптимальных электрофизических параметров повышает энергетическую эффективность процесса.

Полученные результаты могут служить основой для совершенствования энергоэффективных технологий переработки и утилизации нефтяных отходов. Кроме того, данные, полученные в ходе исследования, позволяют глубже понять физико-химические механизмы электрогидравлического воздействия и могут быть использованы в дальнейшем для улучшения состава катализатора и оптимизации параметров обработки. Проведённые исследования демонстрируют потенциал внедрения экологически безопасных и энергоэффективных технологий на промышленном уровне, что, в свою очередь, открывает новые перспективы для развития технологий в области добычи и переработки нефти.

Ключевые слова: нефтешлам, нанокатализатор, высоковольтный короткоимпульсный электрогидравлический разряд (ВКЭГР), лёгкие и средние фракции.

A. Zh. Satybaldin¹, K. M. Shaimerdenova², G. K. Alpysova³,

*S. Zh. Nakipova⁴, R. Seitghan⁵

^{1,2,3,4,5}Karaganda Research University named after Academician

E. A. Buketova, Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Received 04.11.25.

Received in revised form 11.11.25.

Accepted for publication 02.12.25.

INFLUENCE OF DISCHARGE VOLTAGE OF THE HVED INSTALLATION ON THE YIELD OF LIGHT AND MIDDLE OIL SLUDGE FRACTIONS

This study presents the results of investigating the process of oil sludge recycling formed on the inner surface of the Atasu–Alashankou oil pipeline using the high-voltage short-pulse electrohydraulic discharge (HVED) method. The influence of the main electrophysical parameters – discharge voltage, capacitor bank capacitance, treatment duration, distance between air electrodes, and the addition of a catalyst mixture – on the yield of light and middle oil sludge fractions was comprehensively examined. The results showed that the maximum yield of fractions increased up to 36.4 %. It was established that the nickel-coated bentonite catalyst enhances the destruction of high-molecular-weight compounds,

and selecting optimal electrophysical parameters improves the energy efficiency of the process.

The obtained findings can serve as a basis for developing energy-efficient technologies for the processing and utilization of oil waste. Furthermore, the data obtained during the research provide a deeper understanding of the physicochemical mechanisms of electrohydraulic effects and can be used in the future to improve catalyst composition and optimize processing parameters. The conducted studies demonstrate the potential for implementing environmentally safe and energy-efficient technologies at the industrial level, which, in turn, opens up new opportunities for technological advancement in oil production and refining.

Keywords: oil sludge, nanocatalyst, high-voltage short-pulse electrohydraulic discharge (HVED), light and medium fractions.

FTAMP 29.05.19

<https://doi.org/10.48081/ORJN1032>

Б. Ж. Сағындықов¹, *Ж. Бимұрат², М. Бимұрат³

^{1,3}Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

²Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен институты,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3039-2892>

*e-mail: zh.bimurat@iitu.edu.kz

ЖАЛПЫЛАНҒАН КОМПЛЕКС САНДАРДЫҢ ГАЛИЛЕЙ ЖӘНЕ ЛОРЕНЦ ТҮРЛЕНДІРУЛЕРІН СИПАТТАУДАҒЫ РӨЛІ

Мақалада гиперболалық тригонометрияның іргелі элементар қасиеттері қарастырылып, олардың арнайы салыстырмалылық теориясын геометриялық тұрғыдан интерпретациялаудағы қолдану мүмкіндіктері талданады. Бұл мақалада арнайы салыстырмалылық теориясындағы Лоренц түрлендірулерін және кинематикалық қатынастарды сипаттау үшін жалпыланған комплекс сандарды қолдану әдістері қарастырылады. Ұсынылып отырған тәсіл Лоренц түрлендірулерінің математикалық табиғатын және релятивистік кинематиканың құрылымдық ерекшеліктерін қарапайым әрі жүйелі түрде түсіндіруге мүмкіндік береді. Жалпыланған комплекс сандардың алгебралық қасиеттері, геометриялық түсіндірмесі және гиперболалық айналу формализміндегі рөлі талданады. Сонымен қатар жалпыланған Эйлер формуласы, гиперболалық тригонометриялық функциялар және олардың арнайы салыстырмалылықтағы физикалық интерпретациялары келтіріледі.

Жұмыста гиперболалық тригонометрияның ең қарапайым қасиеттерін қарастырып, олардың арнайы салыстырмалылық теориясын қарапайым әрі мазмұнды геометриялық тұрғыдан түсіндіру үшін қалай пайдаланылатынын көрсетеміз. Бұл тәсіл Лоренц түрлендірулерін және релятивистік кинематика

заңдылықтарын айқын әрі тікелей түсінуге жол ашады. Мақалада пайдаланылған геометриялық және гиперболалық комплекс сандар әдісі бакалавриат және магистратура деңгейінде дәстүрлі түрде қарастырылмайтын баламалы тригонометрия түрлерінің кең спектрін айқындайды. Мұндай баламалы тригонометрияларды енгізу оқу үрдісінде студенттер мен оқытушылар үшін қосымша теориялық әрі тиімді әдіснамалық құрал ретінде құнды болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: арнайы салыстырмалылық теориясы, жалпыланған комплекс сандар, Галилей түрлендіруі, Лоренц түрлендіруі, дуал сандар, гиперболалық бұрыш, жалпыланған парабола, гиперболалық комплекс сандар.

Кіріспе

Арнайы салыстырмалылық теориясы – кеңістік пен уақыттың өзара байланысын сипаттайтын фундаментальды теория [1]. 1905 жылы А. Эйнштейн арнайы салыстырмалылық теориясын жариялап, кеңістік пен уақыттың салыстырмалылығын және оның бақылаушының қозғалысына тәуелділігін көрсетті [2]. 1908 жылы Г. Минковский бұл теорияны төрт өлшемді кеңістік-уақыт арқылы сипаттайтын жаңа математикалық аппарат ұсынды [3]. Бұл кеңістіктің метрикасы Евклидтік геометриядан өзгеше және ол жарық жылдамдығы тұрақты болатын постулатқа сүйенетінін көрсетті. Герман Минковскийдің арнайы салыстырмалылық теориясына геометриялық интерпретация енгізуінің негізгі себебі А. Эйнштейннің арнайы салыстырмалылық теориясын тереңірек, біртұтас әрі көрнекі түрде сипаттау еді.

1904 жылы голланд физигі Хендрик Лоренц жарық жылдамдығының тұрақтылығын қамтамасыз ететін жаңа түрлендіруді ұсынды [4;5]. Лоренц түрлендіруі арнайы салыстырмалылық теориясының іргелі математикалық құралы болды. Ол бір инерциялық санақ жүйесінен екіншісіне өткен кезде кеңістік пен уақыт координаттарының қалай түрленетінін сипаттайды.

Минковский геометриясы псевдоевклид кеңістігі туралы түсінікке негізделген. Өз кезегінде псевдоевклид жазықтығы жалпыланған комплекс сандармен тығыз байланысты [6;7].

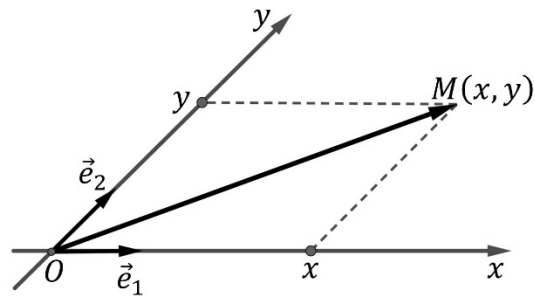
Жалпыланған комплекс сандар – арнайы салыстырмалылық теориясын геометриялық тұрғыдан түсінудің қуатты құралы. Лоренц түрлендірулері Евклидтік айналымның гиперболалық аналогы ретінде көрінеді [8].

Арнайы салыстырмалылық теориясында жалпыланған Коши-Риман теңдеулерін қолданудың мақсаты – Минковский кеңістігіндегі «аналитикалық функция» ұғымын анықтау және осы арқылы Лоренц

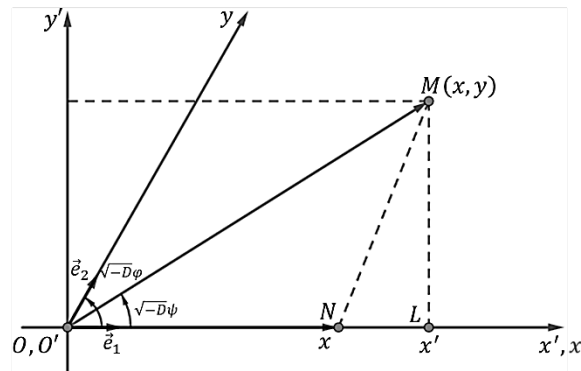
түрлендірулерін ықшам түрде сипаттау [9;10]. Жалпыланған Коши-Риман теңдеулерін қанағаттандыратын функциялар Минковский метрикасына үйлесімді.

Материалдар мен әдістері

I. Жалпыланған комплекс сандар теориясы. Евклид жазықтығында декарттық координаттар жүйесіне қатысты қарастырылатын ағымдық $M(x,y)$ нүктесінің орны $z = x + iy$, $i^2 = -1$ комплекс саны арқылы бірімәнді анықталады. Мұндай ұғым геометриялық және алгебралық құрылымдарды өзара сәйкестендіруде маңызды рөл атқарады. Дегенмен, егер жазықтықта 1-суретте көрсетілгендей қиғаш бұрышты аффиндік координаттар жүйесі қарастырылса, онда $M(x,y)$ нүктесінің орны қандай алгебралық өрнек арқылы сипатталатынын анықтау өзекті мәселе болады.



1-сурет – Жазықтықтағы аффиндік координаттар жүйесі



2-сурет – Жалпыланған комплекс санның геометриялық кескіні

Жалпыланған комплекс сандар жазықтығы. Жазықтықта $R(0, \vec{e}_1, \vec{e}_2)$ аффиндік координаттар жүйесі берілсін дейік (2-сурет). Сонда әрбір

$z = x + py$, $x, y \in \mathbb{R}$, $p^2 = -\theta_0 + p\theta_1$ жалпыланған комплекс санына жазықтықта координаттары (x,y) болатын M нүктесін бірімәнді түрде сәйкес қоюға болады.

Жалпыланған комплекс сандардың геометриялық интерпретациясын ұғыну үшін аффиндік және декарттық координаттар жүйелерінің бастапқы нүктесі O нүктесінде бекітілсін дейік. Сонда кез келген M нүктесі үшін

$$OM = x\vec{e}_1 + y\vec{e}_2 \text{ немесе } OM = x'\vec{i} + y'\vec{j}.$$

Жалпыланған комплекс сандар және олардың анықтамасы. Қиғаш бұрышты аффиндік координаттар жүйесіне қатысты $M(x,y)$ нүктесінің орны $z = x + py$ жалпыланған комплекс саны арқылы бірімәнді бейнеленеді, мұнда $p^2 = -\theta_0 + p\theta_1$, $\theta_0, \theta_1 \in \mathbb{N}_0$.

Арнайы жағдайлар. Жалпыланған комплекс санының анықтамасынан оның маңызды үш дербес түрі анықталады []:

1) $\theta_0 = 1, \theta_1 = 0 \Rightarrow p^2 = -1 \Rightarrow z = x + iy$, $i^2 = -1$ – классикалық комплекс сандар;

2) $\theta_0 = 0, \theta_1 = 1 \Rightarrow p^2 = p \Rightarrow z = x + jy$, $j^2 = 1$ – қос сандар (split-complex);

3) $\theta_0 = 0, \theta_1 = 0 \Rightarrow p^2 = 0 \Rightarrow z = x + \varepsilon y$, $\varepsilon^2 = 0$ дуал сандар (dual numbers).

Жалпы комплекс сандарға енгізілген амалдар. Осы кеңейтілген сандар жүйесінде төмендегідей арифметикалық амалдар анықталады:

1. Қосу: $z_1 + z_2 = (x_1 + x_2) + p(y_1 + y_2)$.

2. Азайту: $z_1 - z_2 = z_1 + (-1)z_2 = (x_1 - x_2) + p(y_1 - y_2)$.

3. Нақты санға көбейту: $\lambda z = \lambda x + p\lambda y$.

4. Көбейту: $z_1 \cdot z_2 = (x_1x_2 - \theta_0y_1y_2) + p(x_1y_2 + y_1x_2 + \theta_1y_1y_2)$.

Анықтама. Егер $x_1 = x_2$ және $y_1 = y_2$ болса, онда $z_1 = z_2$.

Анықтама. Егер $z = x + py$, $p^2 = -\theta_0 + p\theta_1$ жалпыланған комплекс саны берілсе, онда $\bar{z} = x + \theta_1y - py$ жалпыланған комплекс саны оның түйіндесі деп аталады, өйткені

$$z \cdot \bar{z} = x^2 + \theta_1xy + \theta_0y^2 \in \mathbb{R}.$$

Осы өрнектің негізінде жалпыланған комплекс санның модулі

$$|z| = \sqrt{x^2 + \theta_1xy + \theta_0y^2} \quad (1.1)$$

түрде анықталады. Сонымен бірге $\frac{z_1}{z_2}$ және z^{-1} жалпыланған комплекс сандары үшін

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{x_1x_2 + \theta_0y_1y_2 + \theta_1x_1y_2}{x_2^2 + \theta_1x_2y_2 + \theta_0y_2^2} + p \frac{y_1x_2 - x_1y_2}{x^2 + \theta_1xy + \theta_0y^2};$$

$$z^{-1} = \frac{x + \theta_1y}{x^2 + \theta_1xy + \theta_0y^2} - p \frac{y}{x^2 + \theta_1xy + \theta_0y^2}$$

теңдіктері алынады.

Анықтама. $z = x + py$, $p^2 = -\theta_0 + p\theta_1$ жалпыланған комплекс саны:

1) $D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 < 0$ болғанда эллиптикалық;

2) $D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 = 0$ болғанда параболалық;

3) $D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 > 0$ болғанда гиперболалық

сан деп аталады.

Алда көбінесе тек гиперболалық комплекс сандар жүйесімен жұмыс істейміз. Себебі гиперболалық комплекс сандар Лоренц түрлендірулерін бейнелеуде қолданылады.

II. Галилейдің салыстырмалылық принципі

1. Барлық инерциялық санақ жүйелерінде классикалық динамика заңдары бірдей математикалық формада жазылады.

2. Кеңістік пен уақыттың қасиеттері таңдалған санақ жүйесіне тәуелді емес.

3. Таза механикалық тәжірибелер арқылы берілген жүйенің тыныштықта тұрғанын немесе бірқалыпты қозғалыста екенін анықтау мүмкін емес.

Галилей түрлендірулері

Екі инерциялық санақ жүйесін қарастырайық:

1. K' жүйесі (координаттары x', y', z' болатын) – шартты түрде қозғалмайтын жүйе.

2. K жүйесі (координаттары x, y, z болатын) K' жүйесіне қатысты v жылдамдықпен бірқалыпты және түзу сызықты қозғалады.

Дербес жағдайда, егер K жүйесі K' жүйесіндегі өсінің оң бағытымен жылдамдықпен қозғалатын болса, онда Галилей түрлендіруі

$$x = x' - vt, y = y', z = z', t = t' \quad (2.1)$$

формулаларымен өрнектеледі.

Галилей түрлендіруі – классикалық механикада қолданылатын бір инерциялық санақ жүйесінен екінші инерциялық санақ жүйесіне өтуді

сипаттайтын түрлендіру. Галилей түрлендіруі салыстырмалылық теориясын түсіндіруде алғашқы қадам болады.

Мақалада Галилей түрлендіруін қарастырудағы мақсат – оны жалпыланған комплекс сандармен, оның ішінде параболалық комплекс сандармен байланыстыру.

Геометриялық тұрғыдан қарағанда Галилей жазықтығы параболалық геометрияға сәйкес келеді. Яғни параболалық комплекс сандармен байланысты.

Бірінші бөлімде біз жалпыланған комплекс санды

$$z = x + py, p^2 = -\theta_0 + p\theta_1 \quad (2.2)$$

түрде анықтадық, мұнда $\theta_0, \theta_1 \in \mathbb{Z}$.

Дербес жағдайда, егер болса, онда (2.2) теңдік параболалық комплекс

санды анықтайды.

Кез келген параболалық комплекс санның экспонентасы [10]

$$e^{py} = e^{\frac{\theta_1}{2}y} [T(\theta_0, \theta_1, y) + pS(\theta_0, \theta_1, y)] = e^{\frac{\theta_1}{2}y} \left[\left(1 - \frac{\theta_1}{2}y\right) + py \right] \quad (2.3)$$

формуласы арқылы анықталады.

(2.3) формула параболалық комплекс сандардың "Эйлер формуласы" деп аталады. Дербес жағдайда $\theta_0 = 0$, $\theta_1 = 0$ дейік. Сонда $z = x + \varepsilon y$, $\varepsilon^2 = 0$, $\varepsilon \neq 0$ саны дуал сан деп аталады. Және оның экспонентасы (2.3) формуладан

$$e^{\varepsilon y} = 1 + \varepsilon y \quad (2.4)$$

түрде табылады. Осыдан "параболалық тригонометрия" ұғымы туады.

Дуал сандарда "айналу" кәдімгі комплекс сандардағы сияқты толық шеңбер бойымен болмайды, себебі $\varepsilon^2 = 0$. Сондықтан дуал сандарда айналу операциясы аффиндік ығысуға әкеледі.

Дуал сандар мен Галилей түрлендіруінің арасындағы байланыс. Галилей түрлендіруі дуал сандардың айналымы ретінде алынады. Ол үшін дуал санның нақты бөлігін уақыт координатасы, ал жорамал бөлігін кеңістік координатасы ретінде аламыз. K' жүйесінде $z' = t + \varepsilon x'$ дуал сан ретінде жазылады, мұнда t – уақыт, x' – орын. Сонда v жылдамдыққа сәйкес Галилей түрлендіруі

$$z = e^{-\varepsilon v} z' \text{ немесе } z = (1 - \varepsilon v)(t' + \varepsilon x') = t' + \varepsilon(x - vt')$$

түрде жазылады. Нәтижесінде біз

$$t = t', x = x' - vt$$

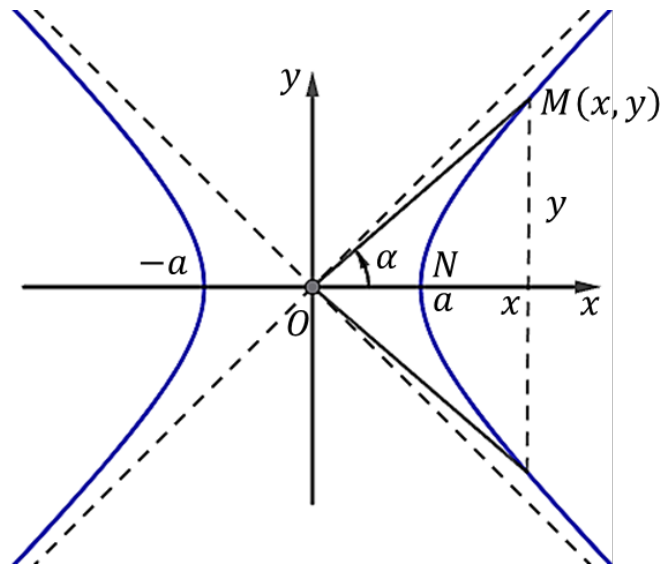
Галилей түрлендіруін алдық.

Ескерту. Галилей түрлендіруін алуда (2.3) формуланың дуал сан болатын тек дербес жағдайын қарастырдық.

III. Гиперболалық сандар жазықтығындағы Лоренц түрлендіруі

Гиперболалық комплекс сандар жазықтығы арнайы салыстырмалылықтағы Лоренц түрлендіруінің табиғи алгебралық тілі болады. Арнайы салыстырмалылық теориясында Лоренц түрлендіруі айналуларға ұқсас, бірақ олар Евклидтік геометриядағы шеңберлер емес. Ол Минковский жазықтығындағы гиперболаармен байланысты. Уақыт пен кеңістік координаттарының байланысын сипаттайтын негізгі қатынастар гиперболалық тригонометрия заңдарына сүйенеді.

Гиперболалық элементар функциялардың геометриялық интерпретациясы. $x^2 - y^2 = a^2$ тендеуімен берілген тең бүйірлі гиперболаны қарастырайық (3-сурет).



3-сурет

3-суреттен $x/a = \cosh(\alpha)$, $y/a = \sinh(\alpha)$ теңдіктерін аламыз. Бұдан бірлік гипербола үшін

$$\cosh^2(\alpha) - \sinh^2(\alpha) = 1$$

тепе-теңдігі алынады.

Анықтама. Гиперболалық бұрышының мәні (рапидити) екі еселенген гиперболалық сектор ауданы арқылы анықталады.

Гиперболалық комплекс санның көрсеткіштік-тригонометриялық түрде жазылуы. Алгебралық түрде берілген $z = x + py$, $p^2 = -\theta_0 + p\theta_1$, $D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 > 0$ гиперболалық санын жалпыланған

Эйлер формуласының көмегімен

$$z = |z|e^{\frac{\theta_1}{2}\psi}(T(\theta_0, \theta_1, \psi) + pS(\theta_0, \theta_1, \psi)) \quad (3.1)$$

түрде жазуға болады, мұнда

$$T(\theta_0, \theta_1, \psi) = \cosh(\sqrt{D}\psi) - \frac{\theta_1}{2\sqrt{D}}\sinh(\sqrt{D}\psi), \quad (3.2)$$

$$S(\theta_0, \theta_1, \psi) = \frac{1}{\sqrt{D}}\sinh(\sqrt{D}\psi). \quad (3.3)$$

Гиперболалық сандар үшін (3.2) және (3.3) теңдіктерден

$$T^2(\theta_0, \theta_1, \psi) + \theta_1 T(\theta_0, \theta_1, \psi) \cdot S(\theta_0, \theta_1, \psi) + \theta_0 K^2(\theta_0, \theta_1, \psi) = 1 \quad (3.4)$$

түріндегі негізгі тригонометриялық тепе-теңдік алынады. Дербес жағдайда $\theta_0 = -1$, $\theta_1 = 0$ дейік. Сонда $p^2 = 1$, $p = j$, $z = x + py = x + jy$ және $D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 = 1$. Нәтижесінде (3.4) тепе-теңдік $\cosh^2(\psi) - \sinh^2(\psi) = 1$, өйткені $T(\theta_0, \theta_1, \psi) = \cosh(\psi)$, $S(\theta_0, \theta_1, \psi) = \sinh(\psi)$.

Анықтама. Гиперболалық координаттар жүйесінде берілген бірлік гипербола

$$|x + py| = 1 \text{ немесе } x^2 + \theta_1 xy + \theta_0 y^2 = 1 \quad (3.5)$$

тендеуімен анықталады, мұнда $p^2 = -\theta_0 + p\theta_1$ және $D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 > 0$.

Гиперболалық бұрыштың анықтамасы. Евклид геометриясында шеңберлік бұрыш (аргумент) доғаның ұзындығы арқылы анықталады. Алайда гиперболалық комплекс сандар жазықтығында бұрышты тікелей Евклид бұрышы ретінде ала салуға болмайды. Жоғарыда айтылғандай гиперболалық бұрыш – "бірлік гиперболадағы" доға арқылы анықталатын сектордың екі еселенген ауданына тең шама.

Гиперболалық бұрыштың қорытылуы. Жалпы жағдайда бірлік гипербола

$$x^2 + \theta_1 xy + \theta_0 y^2 = 1, D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 > 0 \quad (3.6)$$

тендеуімен беріледі. Сонда гиперболалық бұрыш

$$\psi = 2S_{\text{сектор}} \quad (3.7)$$

теңдігі арқылы анықталады. Мұндағы сектор $N(1,0)$ және гиперболаның бойындағы $z = x + py$ нүктелері арқылы өтетін сәулелер мен гиперболаның

тармағымен шенелген облыс. Осы сектордың ауданын табу үшін бірлік гиперболаның параметрлік теңдеулеріне көшеміз:

$$\begin{aligned}x &= |z|T(\theta_0, \theta_1, u) = T(\theta_0, \theta_1, u), \\y &= |z|S(\theta_0, \theta_1, u) = S(\theta_0, \theta_1, u).\end{aligned}$$

Одан әрі OMN секторының Евклидтік ауданын

$$S_{\text{сектор}} = \frac{1}{2} \int_N^M xdy - ydx$$

формуласы арқылы табамыз. Мұндағы интеграл $\overline{NM}$ доғасы бойынша алынады. Сонда

$$S_{\text{сектор}} = \frac{1}{2} \int_0^u du = \frac{1}{2} u, \quad (3.8)$$

өйткені $dx = (\sqrt{D} \sinh(\sqrt{D}u) - \frac{\theta_1}{2} \cosh(\sqrt{D}u)) du$, $dy = \cosh(\sqrt{D}u) du$ және $x dy - y dx = du$.

Сонымен $M(T(\theta_0, \theta_1, u), S(\theta_0, \theta_1, u))$ нүктесі бірлік гиперболаға тиесілі. Демек анықтамаға сәйкес u саны ψ – гиперболалық бұрышын анықтайды. Шынында да (3.7) анықтама бойынша

$$\psi = 2S_{\text{сектор}} = 2S_{ONM} = 2 \cdot \frac{u}{2} = u.$$

Енді гиперболалық бұрышты $\sigma = \frac{y}{x}$ арқылы өрнектейміз:

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{x}{y} = \sqrt{D} \coth(\sqrt{D}\psi) - \frac{\theta_1}{2}, \quad (3.9)$$

бұдан $\coth(\sqrt{D}\psi) = \frac{1}{\sqrt{D}} \left(\frac{x}{y} + \frac{\theta_1}{2} \right)$. Сонда гиперболалық бұрыш

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{D}} \coth^{-1} \frac{1}{\sqrt{D}} \left(\frac{x}{y} + \frac{\theta_1}{2} \right) \quad (3.10)$$

формуласы арқылы анықталады. Дербес жағдайда $\theta_0 = -q$, $\theta_1 = 0$ дейік. Сонда (3.6) бірлік гипербола $x^2 - qy^2 = 1$ теңдеуі, ал гиперболалық бұрыш $\psi = \frac{1}{\sqrt{q}} \tanh^{-1}(\sigma\sqrt{q})$ теңдігі арқылы анықталады. Нәтижесінде біз

[8] ғылыми мақалада алынған нәтижелерді дербес жағдайда таптық.

Арнайы салыстырмалылықтағы байланыс. Арнайы салыстырмалылық теориясында уақыт пен кеңістік координаттары Лоренц түрлендіруі арқылы байланысады. Жарық жылдамдығына жақын жылдамдықтарда ($v \approx c$) Галилей түрлендіруі жарамсыз болып қалады. Сондықтан оның орнына Лоренц түрлендіруі қарастырылады. Арнайы салыстырмалылық теориясында Лоренц түрлендірулері кеңістіктегі айналуларға ұқсас, бірақ олар Евклидтік

геометриядағы шеңберлер емес Минковский кеңістігіндегі гиперболаармен байланысты. Минковский метрикасы мен Лоренц түрлендіруі бір-бірімен тығыз байланысты, өйткені Лоренц түрлендірулері дәл осы метриканы сақтайды.

Гиперболалық жазықтықта оқиғаны көрсету. $1 + 1$ өлшемді жағдайда (тек t және x) оқиғаны

$$z = ct + xj, j^2 = 1 \quad (3.11)$$

түрінде жазамыз. Осы оқиғаның Минковский интервалы

$$N(z) = (ct)^2 - x^2 \quad (3.12)$$

түрде анықталады. Бұл жарықтың жылдамдығы барлық бақылаушылар үшін бірдей деген постулатқа сәйкес.

Енді (3.11) оқиғаны жалпы гиперболалық комплекс сандар үшін

$$z = (ct) + px, p^2 = -\theta_0 + p\theta_1, D = \frac{\theta_1^2}{4} - \theta_0 > 0$$

түрде, ал оның түйіндесін $\bar{z} = (ct) + \theta_1 x - px$ түрде жазамыз. Сонда (3.12) Минковский интервалы (инварианты)

$$N(z) = (ct)^2 + \theta_1(ct) + \theta_0 x^2 \quad (3.13)$$

түрде жазылады. Алайда Минковский нормасы барлық инерциалды жүйелерде бірдей, ол таңдалған координаттар жүйесінің "қисықтығына" тәуелсіз. Сонда да жалпы гиперболалық экспонентаға негізделген айнаруды қарастырайық:

$$z = z' e^{(p-\frac{\theta_1}{2})} = \psi((ct') + px')(T(\psi) + pS(\psi)) \quad (3.14)$$

(3.14) теңдікті ашып жазайық. Содан кейін нақты және жорамал бөліктерін ажыратамыз. Нәтижесінде

$$\begin{cases} ct = ct'T(\psi) - \theta_0 S(\psi), \\ x = x'(T(\psi) + \theta_1 S(\psi)) + ct'S(\psi) \end{cases} \quad (3.15)$$

түрлендіруін аламыз. Дербес жағдайда $\theta_0 = -1$, $\theta_1 = 0$ дейік. Сонда $z = (ct) + px = (ct) + xj$ өйткені $p^2 = 1$, $p = j$. Ал (3.15) түрлендіру

$$\begin{cases} ct = ct \cosh(\psi) + x \sinh(\psi), \\ x = xcosh(\psi) + ct' \sinh(\psi) \end{cases} \quad (3.16)$$

түрде жазылады. Мұндағы ψ салыстырмалылық теориясында қолданылатын гиперболалық немесе рапидтік бұрыш. Бұл жерде v жылдамдық векторы $\tanh(\psi) = v/c$ қатынасы түрінде беріледі. (3.16) жүйеге $\cosh(\psi) = \gamma$, $\sinh(\psi) = \gamma v/c$ өрнектерін қойсақ, нәтижесінде кәдімгі Лоренц түрлендіруін аламыз:

$$\begin{cases} ct = \gamma(ct' + vx'/c), \\ x = \gamma(x' + vt'). \end{cases} \quad (3.17)$$

Нәтижелер және талқылау

Жалпыланған сандарды қолдану арқылы Галилей және Лоренц түрлендірулерін біртұтас алгебралық және геометриялық негізде сипаттау мүмкіндігі көрсетілді. Параболалық комплекс сандар Галилей түрлендірулерінің табиғи формализмі ретінде көрінді, өйткені дуал сандардың экспоненциалдық қасиеттері уақыт пен кеңістік координаталарының сызықтық байланыстарын дәл бейнелейді. Мұндай көзқарас классикалық механикадағы салыстырмалылық принципін жаңа тұрғыдан қарастыруға мүмкіндік берді.

Гиперболалық комплекс сандар негізінде Лоренц түрлендірулерін интерпретациялау олардың Евклидтік айналымдардың гиперболалық аналогы екендігін нақты дәлелдейді. Гиперболалық тригонометриялық функциялар мен рапидтік бұрыштың енгізілуі Минковский кеңістігінің метрикасын сақтайтын түрлендірулерді табиғи түрде түсіндіруге мүмкіндік берді. Нәтижесінде Лоренц түрлендіруі гиперболалық айналу ретінде алынатыны көрсетілді, ал Минковский интервалы барлық инерциялық жүйелерде инвариант болып қалатыны дәлелденді.

Алынған нәтижелер теориялық физика мен математикалық талдауда маңызды рөл атқарады. Біріншіден, жалпыланған комплекс сандардың көмегімен әртүрлі геометрияларды (эллиптикалық, параболалық, гиперболалық) бір ортақ құрылымға біріктіру жүзеге асты. Бұл құрылым Галилей мен Лоренц түрлендірулерінің арасындағы ішкі байланысты көрнекті түрде ашуға мүмкіндік береді. Екіншіден, гиперболалық тригонометрияны қолдану релятивистік кинематика заңдылықтарын түсіндіруді жеңілдетеді және студенттер мен зерттеушілер үшін түсінікті математикалық аппарат қалыптастырады.

Талқылау барысында айқындалғандай, мұндай тәсіл тек теориялық сипатта ғана емес, қолданбалы бағытта да құнды. Мысалы, жалпыланған комплекс сандарды сигналдарды өңдеу, фазалық деформацияларды модельдеу немесе жасанды интеллект саласында қозғалыс траекторияларын сипаттау үшін пайдалануға болады. Осы тұрғыдан алғанда, ұсынылған әдістеме заманауи ғылымдағы көпқырлы қолданыстарға жол ашады.

Қорытынды

Жалпыланған комплекс сандар – Галилей және Лоренц түрлендірулерін ықшам әрі біртұтас формада жазуға мүмкіндік беретін қуатты құрал. Олар тек классикалық және релятивистік механикада ғана емес қазіргі заманғы қолданбалы математика мен физикада үлкен рөл атқарады.

Жұмыста жалпыланған параболаның (дуалды) және гиперболалық комплекс сандар ұғымдарын енгізе отырып біз жалпы Галилей және Лоренц түрлендірулерін қорытып шығардық. Бұл ретте әртүрлі геометрияларды бір құрылымда сипаттауға тырыстық. Алда жалпыланған комплекс сандарды:

1) InSAR сияқты сигналдық модельдерде фазалық деформацияны көрсету;

2) жасанды интеллект пен компьютерлік көруде қозғалысты модельдеу үшін пайдаланамыз.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Эйнштейн, А.** О специальной и общей теории относительности [Текст] – М. : Изд-во АН СССР, 1960.

2 **Бом, Д.** Специальная теория относительности [Текст] / Д. Бом; под ред. А. З. Петрова; пер. с англ. Н. В. Мицкевия. – М. : Мир, 1967. – 287 с.

3 **Сазанов, А.А.** Четырехмерный мир Минковского [Текст] – М. : Наука, 1988. – 224 с.

4 **Шариков, Р. А.** Классическая электродинамика и теория относительности [Текст] – Уфа : Изд-во Башкирского ун-та, 1997. – 164 с.

5 **Глазун, А. Д.** Элементы релятивистской механики: учебно-методическое пособие [Текст] – М.: МФТИ, 2012. – 37 с.

6 **Фатыхов, М. А.** Механика для математиков: учебное пособие [Текст] – Уфа: Изд-во БГПУ, 2009. – 152 с.

7 **Hahn, L.** Complex Numbers and Geometry [Text]. – Washington, DC : Mathematical Association of America, 1994.

8 **Harkin, A. A., Harkin, J. B.** Geometry of Generalized Complex Numbers [Text] // Mathematics Magazine. – April 2004.

9 **Sagindykov, B.** Analytical functions of generalized complex variables and some applications [Text] // International Journal of Research in Education Technology, 2014. – Vol. 5, № 1. – P. 569–575.

10 **Sagindykov, B.** The generalized complex exponent and its application for finding sums [Text] // International Journal of Advanced Research, 2013. – Vol. 1. – № 10. – P. 546–550.

REFERENCES

1 **Einshtein, A.** O spetsial'noi i obshchei teorii otноситel'nosti [On the special and general theory of relativity] [Text] – М. : Izdatel'stvo AN SSSR, 1960.

2 **Bohm, D.** Spetsial'naya teoriya otnositel'nosti [Special theory of relativity] / D. Bohm; ed. A. Z. Petrov; transl. from Eng. N. V. Mitskevich. – M. : Mir, 1967. – 287 p.

3 **Sazanov, A. A.** Chetyrekhmernyi mir Minkovskogo [The four-dimensional world of Minkowski] – M. : Nauka, 1988. – 224 p.

4 **Sharikov, R. A.** Klassicheskaya elektrodinamika i teoriya otnositel'nosti [Classical electrodynamics and the theory of relativity] – Ufa : Izdatel'stvo Bashkirskogo un-ta, 1997. – 164 p.

5 **Glazun, A. D.** Elementy relyativistskoi mekhaniki: uchebno-metodicheskoe posobie [Elements of relativistic mechanics: teaching manual] – M. : MFTI, 2012. – 37 p.

6 **Fatykhov, M. A.** Mekhanika dlya matematiko: uchebnoe posobie [Mechanics for mathematicians: textbook] – Ufa: Izdatel'stvo BGPU, 2009. – 152 p.

7 **Hahn, L.** Complex Numbers and Geometry [Text]. – Washington, DC : Mathematical Association of America, 1994.

8 **Harkin, A. A., Harkin, J. B.** Geometry of Generalized Complex Numbers [Text] // Mathematics Magazine. – April 2004.

9 **Sagindykov, B.** Analytical functions of generalized complex variables and some applications [Text] // International Journal of Research in Education Technology, 2014. – Vol. 5, № 1. – P. 569–575.

10 **Sagindykov, B.** The generalized complex exponent and its application for finding sums [Text] // International Journal of Advanced Research, 2013. – Vol. 1. – № 10. – P. 546–550.

14.10.25 ж. баспаға түсті.

14.10.25 ж. түзетулерімен түсті.

01.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

Б. Ж. Сагиндыков¹, *Ж. Бимурат², М. Бимурат³

^{1,3}Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы;

²Институт горного дела имени Д. А. Кунаева,
Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 14.10.25.

Поступило с исправлениями 14.10.25.

Принято в печать 01.12.25.

РОЛЬ ОБОБЩЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЕЛ В ОПИСАНИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ГАЛИЛЕЯ И ЛОРЕНЦА

В статье рассматриваются фундаментальные элементарные свойства гиперболической тригонометрии и анализируются их применение в геометрической интерпретации специальной теории относительности. В статье рассматриваются методы использования обобщенных комплексных чисел для описания преобразований Лоренца и кинематических соотношений в специальной теории относительности. Предложенный подход позволяет просто и систематически объяснить математическую природу преобразований Лоренца и структурные особенности релятивистской кинематики. Анализируются алгебраические свойства обобщенных комплексных чисел, их геометрическая интерпретация и роль в формализме гиперболического вращения. Кроме того, представлены обобщенная формула Эйлера, гиперболические тригонометрические функции и их физическая интерпретация в специальной теории относительности.

В статье рассматриваются простейшие свойства гиперболической тригонометрии и показывается, как их можно использовать для простого и содержательного геометрического объяснения специальной теории относительности. Такой подход открывает ясное и непосредственное понимание преобразований Лоренца и законов релятивистской кинематики. Геометрический и гиперболический методы комплексных чисел, используемые в статье, раскрывают широкий спектр альтернативных видов тригонометрии, которые традиционно не рассматриваются в бакалавриате и магистратуре. Введение таких альтернативных видов тригонометрии может быть ценным дополнительным теоретическим и эффективным методическим инструментом для студентов и преподавателей в образовательном процессе.

Ключевые слова: специальная теория относительности, обобщенные комплексные числа, преобразование Галилея, преобразование Лоренца, дуальные числа, гиперболический угол, обобщенная парабола, гиперболические комплексные числа.

B. Sagindykov¹, *Zh. Bimurat², M. Bimurat³

^{1,3}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Institute of Mining named after D. A. Kunaev,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 14.10.25.

Received in revised form 14.10.25.

Accepted for publication 01.12.25.

THE ROLE OF GENERALIZED COMPLEX NUMBERS IN THE DESCRIPTION OF GALILEO AND LORENTZ TRANSFORMATIONS

This article examines the fundamental elementary properties of hyperbolic trigonometry and analyzes their applicability in the geometric interpretation of the special theory of relativity. Methods of employing generalized complex numbers to describe Lorentz transformations and kinematic relations in the framework of special relativity are discussed. The proposed approach allows for a simple and systematic explanation of the mathematical nature of Lorentz transformations and the structural features of relativistic kinematics. The algebraic properties of generalized complex numbers, their geometric interpretation, and their role in formalism of hyperbolic trigonometric functions, and their physical interpretations in special relativity are presented.

The study demonstrates how the simplest properties of hyperbolic trigonometry can be employed to provide an accessible and meaningful geometric interpretation of the special theory of relativity. This approach facilitates a clearer and more direct understanding of Lorentz transformations and the laws of relativistic kinematics. The method of geometric and hyperbolic complex numbers employed in the paper reveals a broad spectrum of alternative trigonometric frameworks, which are traditionally not addressed at the undergraduate and graduate levels. The introduction of such alternative trigonometric concepts into the educational process may serve as an additional theoretical and effective methodological tool for both students and instructors.

Keywords: special theory of relativity, generalized complex numbers, Galilean transformation, Lorentz transformation, dual numbers, hyperbolic angle, generalized parabola, hyperbolic complex numbers.

«ОҚУ ПӘНДЕРІН ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ» СЕКЦИЯСЫ

FTAMP 29.01.45; 29.01.11

<https://doi.org/10.48081/RHUY2345>

***А. Д. Акылбекова¹, А. Н. Айтбаева²**

^{1,2}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1211-8877>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7880-2420>

*e-mail: akylbekova_ad_1@enu.kz

ИНКЛЮЗИВТІ БІЛІМ БЕРУ ЖАҒДАЙЫНДА ФИЗИКА САБАҚТАРЫН ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР АРҚЫЛЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ

Мақалада инклюзивті білім беру үдерісінде цифрлық технологияларды қолданудың өзектілігі мен маңызы жан-жақты қарастырылады. Ерекше білім беру қажеттіліктері бар оқушыларды оқытуда қолайлы жағдай жасау және олардың білім алу мүмкіндіктерін кеңейту мақсатында заманауи цифрлық құралдарды тиімді пайдалану мәселесіне баса назар аударылған. Атап айтқанда, CircuitLab, PhET және Narakeet.com сияқты цифрлық платформалардың физика пәнін оқытудағы рөлі мен артықшылықтары нақты мысалдармен талданып, олардың оқыту сапасын арттыруға, оқушылардың пәнге деген қызығушылығын оятуға, танымдық белсенділігін дамытуға қосатын үлесі сарапталады. Сонымен қатар, автор әзірлеген жаңа танымдық үстел ойыны – «Менің физика әлемі» жобасы ұсынылып, оның инклюзивті ортадағы оқушылар үшін қолданбалы маңыздылығы сипатталады. Зерттеу нәтижелері инклюзивті білім беруде цифрлық шешімдерді кешенді әрі жүйелі түрде енгізу білім беру сапасын арттыруға ықпал ететінін дәлелдейді.

Мақалада ұсынылған әдіс-тәсілдер инклюзивті сынып жағдайында оқыту процесін жекелеңдіруге және оқушының қабілетіне сай білім беруге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері педагогтерге жаңа әдістемелік бағыт ретінде қызмет етуі мүмкін. Сонымен қатар, цифрлық ресурстарды қолдану оқыту процесін визуализациялауға, күрделі физикалық құбылыстарды көрнекі

түрде түсіндіруге жағдай жасайды. Бұл оқушылардың пәндік сауаттылығын арттырып қана қоймай, олардың шығармашылық ойлау қабілетін де дамытады.

Кілтті сөздер: инклюзивті білім беру, цифрлық технология, әдіс-тәсілдер, физика, үстел ойыны.

Кіріспе

Қазіргі әлемдік қауымдастықтың басты назарындағы мәселелердің бірі – балалардың жеке ерекшеліктері мен қажеттіліктерін ескере отырып, оларды отбасы мен қоғамның қолдауымен білім беру процесіне толыққанды қосу болып табылады. Осы тұрғыда инклюзивті білім беру – оқушылардың әлеуметтік, мәдени, тілдік, физикалық айырмашылықтарына қарамастан, барлығына тең мүмкіндіктер мен сапалы білім алуға жағдай жасауға бағытталған [1].

Инклюзивті білім берудің мәні халықаралық деңгейде мойындалған. БҰҰ-ның Мүгедектерге тең мүмкіндіктер жасау туралы стандартты ережелері мен Бала құқықтары декларациясы сияқты негізгі құжаттарда бұл жүйенің адам құқықтарына негізделетіні көрсетілген. Аталған құжаттарда нәсіліне, ұлтына, жынысына немесе денсаулығына қарамастан, әр балаға білім алуда тең жағдай жасау қағидаттары бекітілген. Әлемдік қауымдастық бұл идеяны қолдай отырып, білім берудегі шектеулерді жоюды мақсат етеді [2].

Бұл қағидаттар Қазақстан Республикасының білім беру саясатына да интеграцияланған. Елдегі заңнамалар барлық оқушыларға, соның ішінде ерекше білім беру қажеттіліктері бар балаларға сапалы және қолжетімді білім беруді қамтамасыз етуге бағытталған [1]. Соңғы жылдары инклюзивтілік пен цифрлық технологиялардың үйлесімді енгізілуі білім беру процесінің тиімділігін арттырудың маңызды жолына айналды.

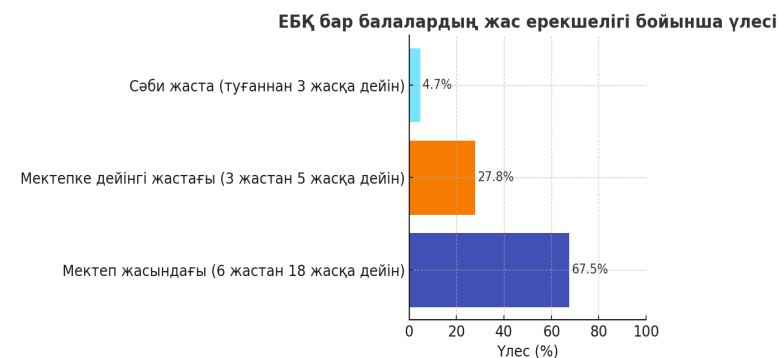
Инклюзивті білім беру тек ерекше қажеттіліктері бар оқушылар үшін емес, барлық балалар, олардың отбасылары мен қоғам үшін де маңызы зор. Дені сау балалармен бірлесіп оқыту ерекше қажеттіліктері бар балалардың танымдық, сөйлеу, физикалық және әлеуметтік дамуына оң әсер етеді. Сонымен қатар, өзге оқушылар үшін де бұл орта адамгершілік пен төзімділік қасиеттерін дамытуға мүмкіндік береді [2].

Инклюзивті білім беру жүйесі инклюзивті мектептер арқылы жүзеге асырылады. Мұндай мектептер арнайы білім беру бағдарламалары мен жоспарларын, оқыту әдістерін, физикалық ортаны бейімдеумен қатар, ата-аналар мен мамандардың бірлескен қатысуын көздейді. Бұл мектептерде барлық балаларға қолайлы жағдай жасау – басты талап [3].

Осы орайда, жаратылыстану-математикалық бағыттағы пәндер, әсіресе физика, ерекше қажеттіліктері бар оқушылар үшін қосымша бейімдеуді қажет етеді. Физиканың күрделілігі, абстрактілі ұғымдардың көптігі мен оқыту мотивациясының төмендігі – бұл оқушылардың оқу жетістігіне кері әсер етеді. Осыған байланысты инклюзивті білім беру шеңберінде оқытушыларға арналған ресурстар мен әдістемелердің рөлі айрықша. Авторлар [4] өз зерттеулерінде инклюзивті физика курстарын жүргізуге арналған нақты тәсілдер мен Universal Design for Learning (U.D.L.) қағидаларына негізделген ұсыныстар ұсына отырып, білім алушылардың барлығына тең қолдау көрсету қажеттілігін атап өткен болатын.

Қазіргі таңда цифрлық технологиялар білім беру процесінің ажырамас бөлігіне айналып отыр. Олар оқу материалын меңгеруді жеңілдетіп, оқушылардың танымдық белсенділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл тек физика пәнімен шектелмей, білім берудің барлық саласында инклюзивті орта қалыптастыруға септігін тигізеді және оқушылардың зияткерлік әлеуетін ашуға ықпал етеді [3–5].

Инклюзивті білім беруді қажет ететін балалар санының жыл сайын артып келе жатқаны байқалады. Психологиялық-медициналық-педагогикалық консультациялардың (ПМПК) деректеріне сәйкес, Қазақстанда 0 жастан 18 жасқа дейінгі ерекше білім беру қажеттіліктері бар балалардың жалпы саны 203 717-ні құрайды. Оның ішінде 0–3 жас аралығында – 9556 бала (4,7%), 3–5 жас аралығында – 56 727 бала (27,8%), ал 6–18 жас аралығында – 137 434 бала (67,5%) тіркелген [6]. Бұл көрсеткіштер инклюзивті білім беруді жетілдіру мен оны заманауи технологиялар арқылы қолдаудың өзектілігін айқындайды.



1-сурет – Ерекше қажеттілігі бар балалардың жас ерекшеліктеріне қарай жіктелуі [6]

Бұл диаграмма Қазақстан Республикасындағы ерекше білім беру қажеттіліктері бар балалардың жас ерекшеліктері бойынша таралуын бейнелейді.

Материалдар мен әдістері

Физика пәнін оқыту үдерісінде цифрлық технологияларды тиімді пайдалану бірнеше маңызды бағыттарды қамтиды. Осы бағыттардың мазмұны мен ерекшеліктерін жүйелі түрде талдау төменде келтірілген (1-кесте).

1-кесте – Физика сабағында цифрлық технологияларды қолдану аспектілері [7]

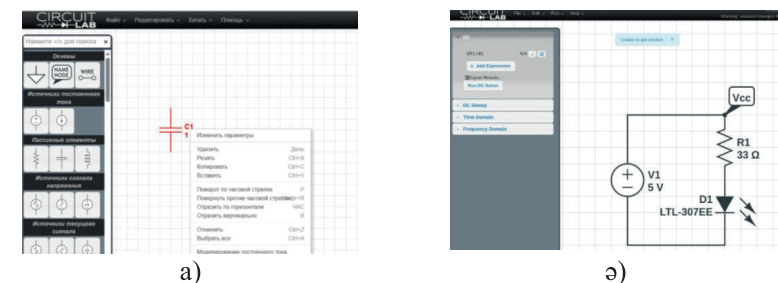
Аспектілер	Сипаттамасы
Жалпы сипаттама	Цифрлық технологияларды физика пәніне енгізу – педагогикалық зерттеулердің маңызды бағыты.
Технологиялық аспект	Физикалық процестерді цифрлық құралдар арқылы зерттеу.
Технологиялық аспект	Физикалық есептерді шешуде арнайы қосымшалар мен бағдарламаларды пайдалану.
Технологиялық аспект	Цифрлық және виртуалды зертханаларды қолдану.
Білім беру және мотивациялық аспект	Физикаға қызығушылық пен цифрлық құралдарды қолдануға ынтаны арттыру.
Білім беру және мотивациялық аспект	Математикалық білім мен дағдыларды тереңдету.
Білім беру және мотивациялық аспект	Интеллектуалдық, шығармашылық және көрнекі ойлау қабілеттерін дамыту.
Ұйымдастырушылық аспект	Физикалық процестерді модельдеу, визуализациялау, имитациялау мүмкіндігі.

Физикалық процестерді модельдеуге бағытталған мамандандырылған цифрлық орталарды қолдану қазіргі зерттеулерде тиімді педагогикалық құрал ретінде танылып отыр. Бұл бағыттағы тұжырымдар Banda мен Nzabahimana ұсынған «Физика біліміндегі технологиялық симуляцияларды біріктірудің білім алушылардың физиканы концептуалды түсінуіне әсері» атты еңбекте егжей-тегжейлі қарастырылған [8]. Аталған зерттеуде CircuitLab және PhET секілді симуляциялық платформаларды қолдану бойынша 31 ғылыми дереккөзге шолу жасалып, олардың оқушылардың физикалық ұғымдарды

терең түсінуіне оң ықпал ететіні дәлелденген. Мұндай құралдар белсенді оқыту әдістерімен үйлесіп, оқытудың интерактивтілігін арттырады.

Физика сабақтарында тәжірибелік және зертханалық жұмыстар білім алушылар үшін аса маңызды компоненттердің бірі болып табылады, әрі олардың пәнге деген қызығушылығын арттырады. Дегенмен, инклюзивті білім беру жағдайында кейбір оқушылардың сызбаларды түсіну мен зертханалық құралдарды қолдану барысында қиындықтарға тап болуы мүмкін. Осыған байланысты оқыту үдерісін жеңілдету және барлық оқушының қолжетімділігін қамтамасыз ету мақсатында CircuitLab, PhET Interactive Simulations және Vascak.kz платформаларын қолдану анағұрлым тиімді әрі өзекті болып саналады.

CircuitLab платформасы – электр тізбектерін онлайн түрде сызуға және олардың жұмыс принципі талдауға арналған тиімді цифрлық құрал. Бұл платформа білім алушыларға сызбада көрсетілген элементтерді дұрыс тануға мүмкіндік беріп, зертханалық жұмыстарды визуалды түрде орындауға қолайлы орта ұсынады (2-сурет). Аталған жүйеде зертханалық тапсырмаларда қолданылатын негізгі компоненттер алдын ала енгізілгендіктен, оқушылар тізбек құрастыру мен оны талдау әрекеттерін еш қиындықсыз жүзеге асыра алады. Осылайша, CircuitLab зертханалық жұмыстардың қолжетімділігі мен орындалу тиімділігін арттыра отырып, практикалық дағдыларды қалыптастыруда маңызды рөл атқарады.



2-сурет – CircuitLab платформасын физиканы оқытуда пайдалану мүмкіндіктері:

а) Платформаның негізгі құралдары; ә) Жинақталған тізбектің сызбасы

Физика пәні ерекше білім беру қажеттіліктері бар оқушылар үшін, әсіресе көру қабілеті бұзылған немесе зағип білім алушылар үшін, оқытуда ерекше қиындықтар туғызатын пәндердің бірі болып табылады. Бұл күрделілік, ең алдымен, оқу материалының басым бөлігінің көрнекі түрде – диаграммалар, сызбалар, графиктер, карикатуралар мен фотосуреттер

арқылы ұсынылуымен байланысты. Мұндай визуалды материалдар көбінесе аннотациялармен және түсіндірмелермен толықтырылады, бұл олардың қабылдануын одан әрі қиындата түседі.

Сонымен қатар, физикада әртүрлі физикалық шамалар арасындағы сандық және символдық қатынастарды көрсету үшін формулалар мен теңдеулер кеңінен қолданылады. Оқу үдерісінде ақпаратты қабылдаудың негізгі арнасы көру болып табылатындықтан, көру қабілетінің шектелуі білім алушының пәнді толыққанды меңгеруіне едәуір кедергі келтіреді.

Зағип немесе көру қабілеті нашар оқушылармен жұмыс істеуде мұғалімнің педагогикалық ұстанымдары мен әдістемелік тәсілдері ерекше маңызға ие. Мұндай жағдайда білім беру процесін тиімді ұйымдастыру үшін арнайы қағидаларды сақтау қажет. 3-суретте осындай оқушыларды оқыту барысында ескерілетін негізгі әдістемелік принциптер көрсетілген.

Сонымен қатар, оқу үдерісінде пайдаланылатын оқу және дидактикалық материалдар оқушының көру қабілетіне сәйкес бейімделуі тиіс. Осы тұрғыдан алғанда, мұғалімнің білім алушының көру өткірлігі, медициналық диагнозы, қабылдау ерекшеліктері мен жалпы денсаулық жағдайы туралы ақпараттан хабардар болуы ерекше маңызды. Бұған қоса, педагог оқытудың мультимодальды тәсілдерін қолдана отырып, басқа сенсорлық арналарды (есту, сезіну және т.б.) да ескеруі қажет. Мұндай тәсіл оқушыға мәтін мазмұнының аудио нұсқасын тыңдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді [9].

Оқыту үдерісінде тақырыптың негізгі ақпаратын дыбыстық форматта ұсыну үшін Narakeet.com платформасын қолдануға болады. Бұл платформа тек зағип немесе көруі нашар оқушыларға ғана емес, сонымен қатар сөйлеу қабілетінде ауытқуы немесе дислексиясы бар оқушылар үшін де тиімді. Narakeet.com қазақ тіліндегі мәтіндерді MP3 форматындағы аудио файлдарға айналдыруға, PowerPoint презентацияларын дыбыстауға, бейнежазба түрінде экспорттауға және басқа да қолдаушы функцияларды ұсынуға мүмкіндік береді.



3-сурет – Көру қабілеті шектеулі балаларға білім беру жолдары

Қазіргі зерттеулер нәтижелері инклюзивті білім беру аясында физика пәні бойынша оқу материалдарының бейімделуі көбіне көру қабілеті бұзылған оқушыларға (59 %), қозғалыс мүмкіндігі шектеулі оқушыларға (23 %) және есту қабілеті бұзылған оқушыларға (18 %) бағытталғанын көрсетеді [10]. Бұл мәліметтер көруінде ақауы бар оқушыларға ерекше назар аударылып отырғанын дәлелдейді. Мұндай бейімделу инклюзивті қоғам қалыптастыруға, яғни барлық оқушылардың білім алуға және ақпаратқа тең қолжетімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау

Жүргізілген тәжірибелік жұмыс нәтижесінде инклюзивті білім беруде қолдануға қолайлы оқу құралдарының бірі ретінде танымдық үстел ойыны әзірленді. Цифрлық технологияларды тиімді пайдалану негізінде жасалған бұл құрал 8-сынып оқушыларына арналып, физика пәнін ойын форматы арқылы меңгеруге мүмкіндік береді. «Менің физика әлемім» атты аталмыш үстел ойыны оқушылардың пәнге деген қызығушылығын арттырып, оқу үдерісін белсенді әрі қолжетімді етуді мақсат етеді (4-сурет).



4-сурет – а) ойынның қаптамасы; б) тақта құрылымы

Ойын тақтасында 5 кезең бар. Әр кезең 8 сынып деңгейіне сәйкес етіп жасалған.

«Менің физика әлемім» атты бұл ойын негізгі мектеп оқушыларының ерекше балаларына арнап жасалған дүние. Оның негізгі мақсаты – ерекше білім беруді қажет ететін оқушылардың физикаға деген қызығушылығын арттыра отырып басқа оқушылармен біріктіру, топтық жұмыс арқылы олардың әлеуметтік қарым-қатынасын жақсарту және физиканы қызықты түрде меңгеруге көмектесу. Ойын тек ерекше білім беру қажеттілігі бар оқушылар үшін емес, қарапайым оқушыларға да арналған.



5-сурет – QR-код арқылы ұсынылған сұрақ-жауап картасының мультимедиялық нұсқасы

Білім алушылардың оқу ынтасын арттырып, білімді ойын формасында меңгеруге мүмкіндік беру мақсатында «Менің физика әлемім» атты

танымдық үстел ойыны әзірленді. Төменде осы ойынға арналған оқу карточкалары мен авторлық құқықты растайтын құжат ұсынылған (6-сурет).



6-сурет – а) «Менің физика әлемім» атты танымдық үстел ойынының карточкалары; б) авторлық құқықты растайтын куәлік

Сұрақ-жауап карталарында орналасқан QR-кодтар – көру қабілеті бұзылған оқушылардың қажеттіліктерін ескере отырып әзірленген. Бұл кодтарды ұялы телефон камерасы арқылы сканерлеу арқылы карталарға сәйкес аудио форматтағы ақпаратқа қол жеткізуге болады. Мұндай тәсіл материалдың қолжетімділігін арттырып, инклюзивті ортада тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

«Менің физика әлемім» атты танымдық үстел ойыны жеңіл әрі түсінікті ережелерге негізделген. Оның құрылымы кең таралған «Монополия» ойынына ұқсас болғандықтан, оқушылардың қабылдауына қиындық туғызбайды және тез меңгеріледі. Аталған ойын 2025 жылғы 13 қаңтарда № 53397 нөмірімен авторлық құқық куәлігімен тіркелген (6, ә-сурет).

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижелерін жинақтай келе, инклюзивті білім беру аясында цифрлық технологияларды қолданудың маңыздылығы айқындалып отыр. Ерекше білім беру қажеттілігі бар оқушылар үшін оқыту үдерісін бейімдеу мен оңтайландыруда заманауи цифрлық ресурстардың әлеуеті зор. Бұл технологиялар тек оқу материалдарын қолжетімді етуге ғана емес,

сонымен қатар оқушылардың пәнге деген қызығушылығын арттыруға да ықпал етеді.

Атап айтқанда, CircuitLab, PhET және Narakeet.com секілді платформалар оқу контентін әртүрлі форматта ұсынуға мүмкіндік беріп, білім алушылардың ерекшеліктеріне сай оқыту процесін икемді ұйымдастыруға жағдай жасайды. Осындай платформаларды қолдану нәтижесінде білім беру сапасы жақсарып, оқушылардың пәнді қабылдау деңгейі артады.

Зерттеу барысында қолданылған әдіс-тәсілдер – соның ішінде «Менің физика әлемім» атты танымдық үстел ойыны мен мультимедиялық ресурстар – оқушылардың физика пәніне деген ынтасын арттырып қана қоймай, оқу сапасының артуына, сонымен қатар топпен және жұппен жұмыс жасау дағдыларының қалыптасуына оң әсерін тигізді. 8-сынып оқушыларымен жүргізілген тәжірибе бұл құралдардың тиімділігін және педагогикалық тұрғыдан орынды екенін дәлелдеді.

Осыған орай, инклюзивті білім берудің сапасын арттыруда мұғалімдердің цифрлық құралдарды сауатты және мақсатты түрде пайдалана білуі аса маңызды. Болашақта осындай технологиялық шешімдерді кеңінен енгізу және педагог кадрларды осы бағытта жүйелі түрде даярлау инклюзивті білім берудің стратегиялық басымдығы болып қала береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Қазақстан Республикасының «Білім туралы» Заңы [Текст]. – Астана, 2016. – [Электронды ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1300008424#27> (қол жеткізу күні: 02.05.2025)

2 **Odarch, I. N., Sofronov, R. P., Shichiyakh, R. A.** Principles of inclusive education and its importance in modern society [Текст] // Revista on line de Política e Gestão Educacional. – 2021. – Vol. 25. – № 2. – P. 853–862.

3 **Babanova, E. M.** Inclusive education: basic principles, history of formation and experience of the Moscow State University of Economics [Текст] // Man. Society. Inclusion. – 2015. – Vol. 3. – № 23. – P. 127–132.

4 **Lannan, A., Chini, J. J., Scanlon, E.** Resources for supporting students with and without disabilities in your physics courses [Текст] // The Physics Teacher. – 2021. – Vol. 59. – №. 3. – P. 192–195.

5 **Florian, L., Rouse, M.** Inclusive practice in English secondary schools: Lessons learned [Текст] // Cambridge Journal of Education. – 2010. – Vol. 31, № 3. – P. 399–412. – <https://doi.org/10.1080/03057640120086648> (қол жеткізу күні: 19.06.2025).

6 Қазақстан Республикасындағы инклюзивті саясаттың 2025–2030 жылдарға арналған тұжырымдамасын бекіту туралы қаулысы [Текст] // [Электронды ресурс]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400001143> (қол жеткізу күні: 04.05.2025)

7 **Yurchenko, A., Ivanova, O., Petrov, K.** The use of digital technologies in education: the case of physics learning [Текст] // International Journal of Research in E-learning. – 2023. – № 9(2). – P. 1–25.

8 **Banda, H. J., Nzabanimana, J.** Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature [Текст] // Physical review physics education research. – 2021. – Vol. 17. – №. 2. – P. 023108.

9 **Мухамедова, Т. А., Рудинский, И. Д.** Особенности обучения физике в условиях инклюзивного образования слепых и слабовидящих детей [Текст] // Актуальные вопросы развития современного общества, экономики и профессионального образования. – 2022. – С. 178–181.

10 **Naraian, S.** Teaching for inclusion: Eight principles for effective and equitable practice [Текст]. – New York: Teachers College Press, 2017. – 144.

REFERENCES

1 Qazaqstan Respublikasynyn «Bilim turaly» Zańy [Law of the Republic of Kazakhstan 'On Education']. – Astana, 2016. – Accessed: 02 May 2025. – Available at: [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1300008424#27>

2 **Odarch, I. N., Sofronov, R. P., Shichiyakh, R. A.** Principles of inclusive education and its importance in modern society [Текст] // Revista on line de Política e Gestão Educacional. – 2021. – Vol. 25. – № 2. – P. 853–862.

3 **Babanova, E. M.** Inclusive education: basic principles, history of formation and experience of the Moscow State University of Economics [Текст] // Man. Society. Inclusion. – 2015. – Vol. 3. – № 23. – P. 127–132.

4 **Lannan, A., Chini, J. J., Scanlon, E.** Resources for supporting students with and without disabilities in your physics courses [Текст] // The Physics Teacher. – 2021. – Vol. 59. – №. 3. – P. 192–195.

5 **Florian, L., Rouse, M.** Inclusive practice in English secondary schools: Lessons learned [Текст] // Cambridge Journal of Education. – 2010. – Vol. 31, № 3. – P. 399–412. <https://doi.org/10.1080/03057640120086648> (қол жеткізу күні: 19.06.2025).

6 Qazaqstan Respublikasındagy inkl'yuzivті siyasattyn 2025–2030 zhylyghara arналghan tuzhyrymdamасыn bekitу turaly qaulыs [Decree on Approval of the Concept of Inclusive Policy in the Republic of Kazakhstan for 2025–2030] [Text].

– Accessed: 04 May 2025. – Available at: [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400001143>

7 Yurchenko, A., Ivanova, O., Petrov, K. The use of digital technologies in education: the case of physics learning [Текст] // International Journal of Research in E-learning. – 2023. – № 9(2). – P. 1–25.

8 Banda, H. J., Nzabahimana, J. Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature [Текст] // Physical review physics education research. – 2021. – Vol. 17. – №. 2. – P. 023108.

9 Mukhamedova, T. A., Rudinskiy, I. D. Osobennosti obucheniya fizike v usloviyakh inkl'yuzivnogo obrazovaniya slepykh i slabovidiaschikh detey [Features of teaching physics under inclusive education conditions for blind and visually impaired children] // Aktual'nye voprosy razvitiya sovremennogo obshchestva, ekonomiki i professional'nogo obrazovaniya – 2022. – P. 178–181.

10 Naraian, S. Teaching for inclusion: Eight principles for effective and equitable practice [Text]. – New York: Teachers College Press, 2017. – 144 p.

17.07.25 ж. баспаға түсті.

21.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

23.10.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*А. Д. Акылбекова¹, А. Н. Айтбаева²

^{1,2}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Астана

Поступило в редакцию 17.07.25.

Поступило с исправлениями 21.07.25.

Принято в печать 23.10.25.

ОРГАНИЗАЦИЯ УРОКОВ ФИЗИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статье комплексно рассматриваются актуальность и важность использования цифровых технологий в процессе инклюзивного образования. Акцент делается на эффективном использовании современных цифровых инструментов для создания благоприятных условий для обучения учащихся с особыми образовательными потребностями и расширения их образовательных возможностей. В частности, на конкретных примерах анализируются роль и преимущества цифровых платформ,

таких как CircuitLab, PhET и Narakeet.com, в преподавании физики, а также их вклад в повышение качества обучения, пробуждение интереса к предмету и развитие познавательной активности. Кроме того, представлена разработанная автором новая познавательная настольная игра – проект «Мой мир физики» – и описывается её практическая значимость для учащихся в инклюзивной среде. Результаты исследования доказывают, что комплексное и системное внедрение цифровых решений в инклюзивное образование способствует повышению качества образования.

Предложенные в статье методы и подходы позволяют индивидуализировать процесс обучения в инклюзивном классе и обеспечить образование в соответствии с возможностями учащихся. Результаты исследования могут стать новым методическим направлением для педагогов. Кроме того, использование цифровых ресурсов создаёт условия для визуализации процесса обучения и наглядного объяснения сложных физических явлений. Это не только повышает предметную грамотность учащихся, но и развивает их творческое мышление.

Ключевые слова: инклюзивное образование, цифровые технологии, методы, физика, настольная игра.

*А. Д. Акылбекова¹, А. Н. Айтбаева²

^{1,2}L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Astana

Received 17.07.25.

Received in revised form 21.07.25.

Accepted for publication 23.10.25.

ORGANISATION OF PHYSICS LESSONS USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN INCLUSIVE EDUCATION

The article comprehensively examines the relevance and importance of using digital technologies in the process of inclusive education. The focus is on the effective use of modern digital tools to create favourable conditions for teaching students with special educational needs and expanding their educational opportunities. In particular, specific examples are used to analyse the role and advantages of digital platforms such as CircuitLab, PhET and Narakeet.com in teaching physics, as well as their contribution to improving the quality of education, stimulating interest in the subject and developing cognitive activity. In addition,

the author presents a new educational board game he has developed, called «My World of Physics» and describes its practical significance for students in an inclusive environment. The results of the study prove that the comprehensive and systematic introduction of digital solutions into inclusive education contributes to improving the quality of education.

The methods and approaches proposed in the article allow for the individualisation of the learning process in an inclusive classroom and ensure education in accordance with the abilities of students. The results of the study may become a new methodological direction for teachers. In addition, the use of digital resources creates conditions for visualising the learning process and clearly explaining complex physical phenomena. This not only improves students' subject literacy but also develops their creative thinking.

Keywords: inclusive education, digital technologies, methods, physics, board game.

SRSTI 14.25.07

<https://doi.org/10.48081/DDAL7554>

***K. A. Nurumzhanova¹, A. B. Aigumusova², G. E. Senkina³**

^{1,2}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

³Smolensk State University, Russian Federation, Smolensk

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7071-412X>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0278-2934>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7972-4025>

*e-mail: 75646100@mail.ru

APPLYING THE LESSON STUDY STRATEGY TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF PHYSICS LESSONS

This article explores the didactic resource potential of the collaborative teaching and learning strategy Lesson Study for the cognitive-constructivist modernization of the methodological system of school lessons. The focus is on developing an effective constructivist technology for teaching the 9th-grade physics curriculum, using the topic "Oscillatory Motion" as an example. The research problem addresses the pressing need to modernize the methodological toolkit for lesson planning, selection of didactic content, and lesson technologization in both higher and secondary education, using the Lesson Study strategy. Research objective: To examine the didactic capabilities of the Lesson Study collaboration strategy for teachers and students in order to modernize the methodological system and, based on the obtained results, to develop an effective cognitive-constructivist teaching technology for the school physics course. The study presents: 1) A technological map of the cognitive-functional structure of a physics lesson; 2) A methodological system for studying the section «Mechanical Oscillations» in accordance with Jean Piaget's didactic concept; 3) A lesson plan for the same topic; 4) Confirmation of the hypothesis that it is possible to improve the effectiveness and methodological tools of lessons within the cognitive-constructivist paradigm through the collaboration of teachers and students, taking full advantage of the scientific-methodological potential of the Lesson Study platform.

Keywords: Cognitive constructivism, Lesson Study strategy, methodological system, teaching technology, physics course, «Oscillatory Motion» topic.

Introduction

Scientific and technological progress around the world has led to the emergence of fundamentally new societal and individual demands regarding the quality of education. The education system is expected to update its content—that is, to modernize its goals, objectives, content, forms, methods, and instructional tools—which must be defined from the standpoint of learners' motivational and needs-based structures. This implies that the education system must turn the student, as the consumer of educational services, into an active subject of the educational process. The main result of modernizing the education system becomes the creation of an information-digital educational environment designed to foster a competitive, value-oriented, functionally literate, and critically thinking individual. Global experience shows that this is possible only when education is delivered through a constructivist didactic system.

Under current conditions in Kazakhstan, the global process of updating educational content has manifested in schools as a necessity for the cognitive-constructivist modernization of subject-specific lesson methodologies. The school lesson is a complex structured system composed of four subsystems: 1) Epistemological, 2) Cognitive-functional, 3) Subject-specific, and 4) Organizational.

The selection of this research topic is grounded in practical school teaching experience and empirical studies of the Lesson Study strategy. Our empirical research revealed that Lesson Study has proven to be an effective and acceptable strategy for lesson modernization. However, its scientific-didactic potential has not yet been fully explored. Its effectiveness lies in the fact that it can serve as a universal methodological platform not only for developing teaching methods across disciplines but also for enhancing and technologizing the learning process, thereby facilitating active, constructivist learning in any subject area.

A key contradiction identified through research is that while Kazakhstani schoolteachers understand what should be done to improve lesson effectiveness, they often struggle to answer how it should be done. Although familiar with the characteristics of modern cognitive and constructivist didactic systems, they find it difficult to apply constructivist principles to the teaching of specific physics content.

The resolution of this contradiction forms the core problem of our study: the need for constructivist modernization of the methodological toolkit for lesson planning, content selection, and technologization of physics lessons in schools, based on the Lesson Study strategy.

Object of the study: The school physics lesson, examined through the lens of the activity-based approach by A. N. Leontiev [1]. Given the complexity of the research object, we formulated the following research hypothesis: Effective modernization of the methodological tools and technologies for conducting

physics lessons within the cognitive-constructivist paradigm is possible through collaboration between teachers and students, with the fullest use of the scientific and methodological potential of the Lesson Study platform. As mentioned earlier, the school lesson is a complex resource-based and functionally structured system composed of four subsystems. Therefore, in this article, we deliberately limited the scope of our study to the modernization and development of methodological tools and technologies specifically for the cognitive-constructivist functional structure of the physics lesson, using the topic «Mechanical Oscillations» from the 9th-grade physics course. Studies of the epistemological and subject-content structures of physics lessons will be addressed in future articles.

Research Objective: To explore the didactic resource potential of the collaborative strategy between teachers and students within the Lesson Study framework for modernizing the methodological system and, based on the results obtained, to develop an effective cognitive-constructivist technology for teaching the school physics curriculum.

Research Tasks: 1) To determine the theoretical and methodological foundation of the study; 2) To concisely describe the main principles of the cognitive-constructivist didactic concept in the article; 3) To develop a methodological system and technology for teaching a selected topic from the school physics curriculum within the context of cognitive-constructivist didactics; 4) To provide examples of the implementation of the developed methodological system in the teaching of the selected topic.

The existing structural hierarchy of fundamental elements in the curriculum of the education system—as a social institution—assumes the following structural-functional sequence: didactic concept → didactic system → corresponding methodological system → system of instrumental concepts for creating a modern educational environment (technologies, methods, technical tools). These are used for the practical implementation of the developed methodological system to achieve educational outcomes, with teaching technologies, realized in the form of subject lessons, at the center. Based on the above, the shift toward a constructivist didactic system necessitates changes in the methodological toolkit used in school lessons across various academic disciplines. One of the primary reasons for lesson modernization lies in the needs of the current generation of students, the global advancement of technologies, and international educational practices, all of which underscore the necessity of introducing the constructivist didactic concept.

The leading didactic concept within an education system is an integral part of a society's culture. Therefore, the key principles guiding its functioning and development include: 1) The value-based approach; 2) The activity-based approach—relating to the level of technologies and tools used to create material

and spiritual values; 3) The learner-centered (or competency-based) approach, depending on the chosen didactic concept.

Under these conditions, a systematic exploration of the resource potential of the modern school lesson becomes a pressing issue for the educational community.

Materials and Methods

The methodological foundation of the study is the system-synergetic approach to investigating the subject, based on identifying the resource structure of the Lesson Study strategy [2; 3]. The process of studying a lesson for effective planning and implementation within the learning process is made possible by uniting the scientific and methodological efforts of like-minded educators. The success of such collaboration (perception, interaction, communication) depended on the participants' interest, experience, level of intelligence, and professional qualifications.

The theoretical foundation of the methodology is the didactic concept of cognitive constructivism developed by Jean Piaget [4; 5; 6; 7; 8]. In our view, curriculum content renewal involves the reorientation of didactic content in various school subjects to focus on the development and enhancement of students' meta cognitive potential, by forming a system of knowledge and skills whose core includes meta cognitive abilities and practically applicable competencies.

According to American cognitive psychologist Robert Solso, cognitive potential includes not only knowledge, abilities, and skills, but also a wide range of characteristics related to psychological processes such as perception, attention, awareness, memory, thinking, concept formation, speech development, and emotions [5; 6; 7; 8].

The cognitive (mental) sphere of an individual is composed of knowledge acquired through the functioning of higher mental processes. In various sources, cognitive development is described as occurring through several key stages:

- Sensorimotor level – actions, physical labor;
 - Sensorial-perceptive level – perception via all sensory organs;
 - Symbolic-conceptual level – awareness, comprehension of disciplinary concepts;
 - Integral thinking level – analysis, synthesis, comparison, analogy, evaluation
- cognitive structure processing during active learning.

This regularity of knowledge acquisition aligns with Bloom's taxonomy [9]. For the cognitive-functional part of short-term lesson planning, Bloom's taxonomy correlates with its corresponding stages, which are presented in Table 1.

Table 1 – Bloom's Taxonomy for Lesson Stages

Bloom's Taxonomy			
Lesson stages	Challenge		
		1. Activation of prior knowledge, stimulating interest based on: – Students' life experiences – Prior physics knowledge – Information from other subjects 2. Sensory-based perception of the new lesson topic. Creation of a problem situation. Brainstorming; idea basket; games: "true/false".	Creating a problem situation. Brainstorming; Idea basket; Games: "True or False";
	Understanding	1. Development of new knowledge through cognitive category schemas. 2. Working on comprehension and ensuring understanding of new material. 3. Student reproduction of learned empirical content (definitions, formulas, units of measurement based on cognitive schema). 4. Ensuring understanding of the essence and physical meaning of the new knowledge, forming new competencies and applying it. 5. Establishing logical connections with existing knowledge. Tasks: creating and presenting texts or clusters; constructing graphs; filling in tables; conducting class-wide Q&A with criteria-based descriptors.	Preparing and presenting texts and clusters; Completing cognitive-constructivist tasks, plotting patterns on graphs; filling in a table; Conducting a whole-class quiz on empirical learning material according to criterion-based descriptors.
	Reflection	1. Refinement and concretization of knowledge from the new material; generalization, systematization, and refinement of learned knowledge, skills, and competencies. 2. Revealing the value-cognitive potential of the material, reflection, and formation of new learning needs. 3. Organizing independent homework. 4. Goal setting through reflection. Tools: developing analysis and synthesis tasks, systematization of knowledge; crossword; self-assessment; peer review; "cinquain" poems; target exercises; surveys.	Various methods and tools of active learning: developing tasks for the analysis, systematization, and generalization of knowledge and skills. Crossword puzzle. Self-assessment. Peer assessment. Cinquain. Target. Questionnaire.

From the standpoint of the activity-based approach, learning as a student's activity during a lesson follows a specific chain of psychological patterns: «...need → motive → goal → tasks, content, methods, tools, conditions of activity, algorithm of actions (lesson technology)».

The operational part of the activity (the technology) involves performing a system of functional cognitive actions related to cognition—executing a system of goal-oriented tasks that align with the psychological patterns of acquiring new knowledge. The result is the formation of hard, soft, and meta cognitive skills for applying knowledge and abilities on the studied topic.

Within the cognitive-constructivist didactic paradigm, the content of learning is understood as methods of cognitive activity, which are defined and formulated through a system of didactic tasks. The teacher's goal is not simply to teach physics, but to teach students how to learn physics.

Taking into account the most relevant trend in modern education – personalization, which best aligns with the constructivist didactic concept, the lesson objective must be formulated from the learner's perspective. There is only one general objective: to master the topic presented in the physics curriculum. However, there may be many individual learning goals, which vary depending on:

- 1 the student's personality,
- 2 the content of the topic,
- 3 the instructional technology used,
- 4 the learner's value system:
 - transcendental (universal human values);
 - sociocentric (social, political, state-level);
 - anthropocentric (personal self-realization);

In the cognitive constructivist didactic system, technology is interpreted as the operational (activity-based) component that brings to life the conceptual foundations of the lesson's methodological system. Studying the functional or cognitive structure of a lesson within the Lesson Study strategy is an effective resource for developing teachers' competencies through collaborative intellectual engagement, leading to improved planning and organization of modern physics lessons.

It is important to note that modern lesson technologies aim to implement specific methodological ideas. The planned methodological system—which is part of a variable set of lessons on a specific topic—must be developed based on a clearly defined didactic concept. This concept must have a theoretical origin, such as behaviorism, cognitivism, constructivism, or connectivism.

The theoretical basis of a person's systemic cognitive sphere consists of knowledge obtained through the activities of higher mental functions, specifically at the following levels:

- 1 Sensorimotor – actions, labor;
- 2 Sensorial-perceptive – perception through all sensory organs;
- 3 Symbolic-conceptual – awareness;
- 4 Integral thinking – analysis, synthesis under conditions of active learning.

Results and Discussion

In the constructivist didactic system, the primary form of educational activity in lessons is student learning. The teacher's role is to create conditions for independent and active learning, organized in a creative and collaborative classroom environment, in accordance with the associative-reflective theory

of learning. This theory represents the psychological regularities in mastering knowledge and skills through: 1) perception, 2) awareness, 3) understanding, 4) reproduction, 5) memorization and 6) practical application of new knowledge and skills, as well as reflection and evaluation (analysis, synthesis, comparison, generalization) [10].

This article presents the results of applying the Lesson Study strategy in real school practice with international collaboration, involving Russian physics students from Smolensk State University.

It is well known that the subject-specific structure of a physics lesson includes:

- 1 Prior knowledge and skills:
 - 1.1 From the physics course;
 - 1.2 From other disciplines;
 - 1.3 From everyday life, experience, and observation.
- 2 Content system of the new topic—structural elements of physical knowledge to be mastered by students:
 - 2.1 Methodological knowledge (systemic, cognitive, metacomponent);
 - 2.2 Curricular content—a system of knowledge, skills, and abilities for the topic;
 - 2.3 Axiological component—emotional and value-related content;
 - 2.4 Activity-based creative component.

Example assignment for Smolensk State University students: 1) «...Study the physics textbook for grade 7 by I. S. Puryshov and N. E. Vazheevskaya, pp. 139–141»; 2) «...Pay attention to and answer the question: Why is the paragraph titled with the question 'What is meant by the inertia of a body?' What was the authors' intent?»

The selection of learning materials and methods of mental activity was based on classical principles: systematic approach, durability, scientific validity, accessibility, coherence, and visual clarity, as well as theories of cognitive learning. The cognitive process begins with observation, comparison, classification, and generalization of observed facts (from sensory perception). Tasks must be developed not only according to the psychological laws of learning (activation, awareness, understanding, initial reproduction, application, analysis), but their content should also support the lesson's objectives. In our case, for the topic «Mechanical Oscillations», nine objectives were defined within the methodological system—each helping to achieve the lesson's overall goal.

The practical implementation of this theoretical approach is achieved through Jean Piaget's concept of cognitive constructivism. While the theory is «constructivist» in nature, its practical realization is carried out through cognitive process algorithms. According to Piaget's theory, a person constructs their cognitive abilities independently, through actions within a developmental educational

environment. Cognitive development, in Piaget's view, is the development of thinking operations during the process of learning. In practice, Piaget's theory can be implemented through cognitive schemas that help study categorical concepts within a science. In physics, these include: facts, phenomena, processes, quantities, laws, theories, principles. Each category of knowledge has a well-known schema. For example, the schema for a physical quantity includes: definition, physical meaning (what it describes, what property it characterizes), symbol, formula, unit of measurement, limits of applicability, method of measurement. In our view, a «schema» is an algorithm of mental operations corresponding to the structure of knowledge in physics. The criterion for concept formation is the correct practical use of a new term within the knowledge system of the given subject. To describe the dynamics of development, Piaget uses concepts such as schema, adaptation, assimilation, accommodation. Following Piaget, we used these terms as the conceptual foundation for developing the didactic content and instructional technology of the topic «Oscillatory Motion».

To visualize this, the didactic content for the topic is presented in Table 2 – Technological Map for Studying the Topic «Oscillatory Motion».

Table 2 – Technological Map for Studying the Topic «Oscillatory Motion»

Need & Motivation Formation	Lesson Goal	Lesson Objectives		
		What needs to be known?	What needs to be understood?	What needs to be applied? What skills must be developed?
Diagnosis of prior knowledge system.	Master the learning material.	Empirical material	Theoretical and methodological material, metacognitive knowledge	Apply in practice
Review the schema for studying a physical phenomenon or process: definition, physical meaning (what changes), internal mechanism of change, and external indicators. Recall: What is mechanical motion? Why is oscillation considered a type of mechanical motion?	Learn the topic «Oscillatory Motion»	Know the definition of mechanical oscillation. A mechanical oscillation is a type of motion in which the position of a body in space changes over time at regular intervals.	Oscillatory motion is a special type of mechanical motion that repeats at a regular time interval, called the period, and occurs in oscillatory systems (such as a mathematical pendulum and a spring pendulum).	Provide examples, solve problems involving period, frequency, pendulum length, etc.

Table 3 – Cognitive Functional Structure of the Lesson

Perception	Awareness	Understanding	Application	Reflection	Control	New Need Formation
Organize students' perception of the learning material through all sensory channels.	Organize initial reproduction through guided questions, reading the textbook paragraph, composing a story based on a schema.	Answer the following: – Why is oscillation a type of mechanical motion? – Why do oscillations occur in oscillatory systems?	1 Answer questions. 2 Complete tasks. 3 Solve problems.	What new kind of mechanical motion have we studied?	– Oral questioning. – Independent written work. Example control question: Does oscillatory motion involve energy transformations?	Does oscillatory motion involve the change and transformation of energies?

Topic: Oscillatory Motion

Lesson Objective: To study the topic «Oscillatory Motion» [11].

Lesson Tasks: 1) To learn about a new type of mechanical motion as a natural phenomenon; 2) To learn its definition; 3) To recall, using the example of which body we studied mechanical motion earlier – what is the specific feature of this phenomenon?; 4) To learn about the mathematical pendulum and the spring as oscillatory systems; 5) To understand why oscillatory motion is a special type of motion, what changes during this motion, what its specific features are, and which physical quantities characterize it; 6) To learn the definitions of these quantities; 7) To understand the mechanism of an oscillatory system and why it is called so; 8) To understand what a restoring force is; 9) To learn and analyze the formula of oscillatory motion.

At the psychological level, the content of the learning material during its acquisition passes through the following stages:

Recognition – activation of prior knowledge, creation of a problem situation based on reference knowledge;

Awareness – perception of new material through all sensory channels, transferring «external» knowledge into the mental space, into inner speech;

Initial reproduction of the studied material at the level of knowledge, i.e., at the empirical content level (definitions, concepts, facts, units of measurement, formulations, notations – that part of the learning material which can be memorized and reproduced without understanding);

Understanding – analysis, synthesis, generalization, systematization, and reproduction of the essence of the studied material, its connections, its place and significance in the system of the discipline or section content, based on deduction, induction, comparison, analogy, and modeling;

Memorization – conscious reproduction, operating with the material, composing a narrative;

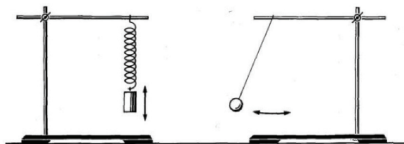
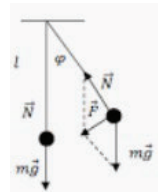
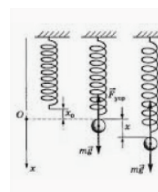
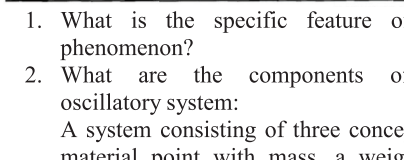
Application of acquired knowledge, formation of competencies, abilities, and skills: first by example, then in a modified situation, and finally in creative application;

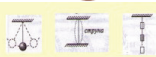
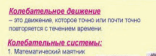
New attitude toward knowledge – new activation of prior knowledge based on reflection, a need for deeper understanding of the new properties of the studied material.

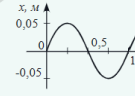
In order to present the above-described introductory part of the lesson more compactly, we developed a lesson plan table (Table 4).

Table 4 – Lesson Plan on the Topic «Oscillatory Motion. The Equation of Oscillatory Motion. Oscillations of the Mathematical and Spring Pendulums»

Topic:	Oscillatory Motion. The Equation of Oscillatory Motion. Oscillations of the Mathematical and Spring Pendulums.
Objectives recommended by the Model Physics Curriculum:	9.2.5.1 – give examples of free and forced oscillations; 9.2.5.2 – determine experimentally the amplitude, period, and frequency; 9.2.5.3 – calculate the period, angular frequency, and phase using the formula; 9.2.5.5 – write equations for displacement, velocity, and acceleration based on the graphs of harmonic oscillations; 9.2.5.6 – explain the causes of oscillations in various oscillatory systems; 9.2.5.7 – investigate the dependence of the pendulum's oscillation period on various parameters.
Lesson objective from the learner's perspective:	To study the proposed topic.
Tasks:	1. To learn about a new type of mechanical motion as a natural phenomenon; 2. To learn the definition of oscillatory motion; 3. To recall, using the example of which body we studied mechanical motion; 4. To understand why oscillatory motion is a special type of motion and what changes during this motion; 5. To understand what a restoring force is; 6. To identify the distinctive features of oscillatory motion and the physical quantities that characterize it, and to learn their definitions; 7. To define harmonic oscillation; 8. To apply knowledge and understanding when solving a set of problems on the topic.

Functional Cognitive Structure of the Lesson	Teacher's Activity	Students' Activity
Beginning of the lesson 1. Identifying existing prior knowledge and skills of students taking into account their life experience and observations, as well as knowledge and skills from the physics course and other academic disciplines (5 min)	Activation of knowledge and skills Brief introductory speech (sample text): “Guys, I have a mathematical pendulum and a weight suspended from a spring in my hands. When I pull it back and release it, the ball starts moving, and the spring moves as well. Can we call this motion mechanical? What is mechanical motion? Does the position of a body in space change? Does the position of the ball and spring change, and what is the peculiarity? Correct! It repeats. After a certain time interval. So, we have approached the topic of the lesson.” Lesson topic: Oscillatory Motion. The Equation of Oscillatory Motion. Oscillations of the Mathematical and Spring Pendulums. Objective: To understand the mechanism of action of an oscillatory system using the example of a mathematical pendulum and a spring pendulum. Answer questions. Observe the demonstration, respond to questions, draw conclusions. Explain the diagram and identify the error in it. II. Demonstration. 	I. Answer the questions. II. Observe the demonstration, respond to questions, draw conclusions. II. Explain the diagram and identify the error in it.  
		1. What is the specific feature of the phenomenon? 2. What are the components of an oscillatory system: A system consisting of three concepts (a material point with mass, a weightless string, and the equilibrium position). 3. Why does the pendulum pass through the equilibrium position and a restoring force arise? (due to the property of inertia)

Activation 2. Working on the perception of new lesson material by students “through all sensory channels” (5 minutes)	Task 1:What is called oscillatory motion or mechanical oscillation? Task 2:Write down the definition and present it aloud in the group. Task 3:Why does oscillation occur? Due to what property of the weight? What is the inertia of a body? Metacognition: 1. Why do we say that this is a type of mechanical motion? 2. What is the distinctive feature of this motion? What is the name of the <i>physical quantity</i> that characterizes the time after which this motion repeats? 3. Give the definition of the oscillation period and compose a short text about one of the physical quantities: “period” / “frequency” / “amplitude” / “displacement”. Descriptors: • gives the definition of oscillatory motion – 1; • explains why the weight performs oscillatory motion – 1; • gives the definition of a body’s inertia – 1; • gives the definition of oscillation period – 1; • composes a text about one physical quantity – 1.	Колесательное движение - это движение, точно или приблизительно повторяющееся через одинаковые промежутки времени, при котором тело многократно и в разных направлениях проходит положение равновесия   Колесательное движение - это движение, которое точно или приблизительно повторяется с течением времени Колесательные системы: 1. Математический маятник 2. Пружинный маятник 3. Круговой маятник  Параметры колебательного движения $T = \frac{t}{N}$ $\nu = \frac{N}{t}$ Частота Амплитуда Период Дисциплина: Физика Тема: Механика Подтема: Колебательное движение Цели: Задачи: Результаты:
Middle of the lesson(Know Understand) 3. Work on comprehension of the perceived material and ensuring understanding of new content (8 minutes) 4. Work on initial reproduction to consolidate the studied material (12 minutes)	Divide the class into 6 groups. Distribute the studied material among them: • Group 1 – <i>Oscillatory motion</i>, pp. 142–146. • Group 2 – <i>Equation of oscillatory motion</i>, pp. 149–150. • Group 3 – <i>Oscillations of the mathematical and spring pendulums</i>, pp. 153–155. • Group 4 – Perform Experiment No. 1, p. 154. • Group 5 – Perform Experiment No. 2, p. 155. • Group 6 – Perform Experiment No. 3, p. 155. Answer the questions: 1. What is discussed in the paragraph? 2. Identify the main idea of the paragraph. 3. Draw conclusions from the experiment performed. For this task, we study the textbook text with the goal of learning how to extract new information	• Read the paragraph • Answer the questions • Make a drawing • Conduct an experiment • Present to the class and answer any questions that arise • Draw conclusions based on the results of the experiment

	from the text and formulate its main idea in relation to the content. Draw conclusions based on the results of the experiment. Descriptor: • Identifies the main idea of the paragraph (experiment) – 1; • Explains the content of the paragraph (experiment) – 1; • Answers the three questions – 3.	
Consolidation 5. Work on developing new competencies and applying knowledge of the new material (10 minutes)	Solving a set of problems: 1. Complete Exercise 24, No. 2, p. 142.  Упражнение 24 1. Маятник совершил 50 колебаний за 1 мин 40 с. Определите период и частоту колебаний. 2. Определите амплитуду, период, частоту и циклическую частоту колебаний пружинного маятника по графику, изображенному на рисунке 142. При каких значениях фаз смещение достигает амплитудного значения? Рис. 142. График координаты x (в метрах) от времени t (в секундах) для колебаний маятника. 2. Complete Exercise 25, No. 3, p. 145. 3. Complete Exercise 26, No. 1, p. 157. Descriptor: • Ex. 24, No. 2 – Determines amplitude, frequency, and period from the graph – 3 points. • Ex. 25, No. 3 – Draws the graph of coordinate vs. time – 2 points; Draws the graph of velocity vs. time; Draws the graph of acceleration vs. time. • Ex. 26, No. 1 – Writes the formula for period and frequency – 2 points; Calculates the frequency of oscillations of a spring pendulum – 1 point.	Solve the problems.
Work on improving and specifying the acquired knowledge of the new material; generalizing, systematizing, and specifying	1. Compare mechanical motion and oscillatory motion. 2. What key property of an oscillatory system do you know, without which a restoring force could not arise? 3. Draw diagrams of the mechanism for the occurrence of a restoring force in oscillatory systems (mathematical pendulum and spring pendulum). 4. State the nature of restoring forces in oscillatory systems. 5. Indicate the physical meaning of all	Each group answers the assigned questions.

Conclusions

This article presents the results of the diagnostic stage of the research based on the development of the resource potential of the Lesson Study strategy for the cognitive subsystem of the school lesson. The methodological value of the Lesson Study strategy lies in its ability to unite teaching practice and the research activities of educators into a single, purposeful process aimed at improving the quality of education and enhancing subject-methodological qualifications. This approach is particularly significant not only in the context of general secondary education but also in higher professional teacher education, including technical fields, where it is important to combine psychological-didactic theoretical knowledge with skills in developing applied educational technologies.

Like the CLIL strategy, Lesson Study does not in any way limit teachers' creativity but provides an effective algorithm for selecting directions of activity. For CLIL, these are the «four Cs» – Content, Cognition, Collaboration, Culture [12; 13]. For Lesson Study, it is the study and development of four structural elements of the lesson system, regardless of the format of delivery or the level of the education system: 1) the gnoseological; 2) the cognitive-functional; 3) the specific-subject; 4) the organizational.

REFERENCES

- 1 **Леонтьев, А. Н.** Деятельность. Сознание. Личность: учебное пособие / А.Н. Леонтьев. – 2-е издание, стереотипное. – Москва : Смысл: Академия, 2005. – 352 с.
- 2 **Dudley, P.** Lesson study in England: from school networks to national policy. Presented at the World Association of Lesson Studies Annual Conference, Hong Kong Institute of Education. – 2008. – 46 p.
- 3 **Dudley, P.** How Lesson Study orchestrates key features of teacher knowledge and teacher learning to create profound changes in professional practice. Presented at the World Association of Lesson Studies Annual Conference, Tokyo. – 2011. – 19 p.
- 4 **Пиже, Ж.** Психогенез знаний и его эпистемологическое значение. / Перевод с французского Н. В. Уфимцевой. / Семиотика. Сборник статей под общей редакцией Ю. С. Степанова. – Москва : 1983. – С. 90 – 101 с.
- 5 **Солсо, Роберт, Л.** Когнитивная психология / Роберт Солсо; [пер. с англ. С. Комаров]. – 6-е изд. – М. : Питер, 2006. – 588 с. ISBN 5-94723-182-4 (в пер.)]
- 6 **Пиже, Ж.** Избранные психологические труды / Психология интеллекта. Генезис числа у ребенка. Логика и психология: [пер. с фр.]. – М. : Просвещение, 1969. – 659 с.

- 7 **Дьюи, Дж.** Психология и педагогика мышления /Пер. с англ. Н.М. Никольской. – Москва : Совершенство, 1997. – 208 с.
- 8 **Чошанов, М. А.** Дидактика и инженерия. – 4-изд. Электрон. – М. : Лаборатория знаний, 2020. – 251 с.
- 9 **Мурзагалиева, А. Е., Утегенова, Б. М.** Сборник заданий и упражнений. Учебные цели согласно таксономии Блума / А.Е. Мурзагалиева, Б. М. Утегенова. – Астана: АОО «Назарбаев Интеллектуальные школы». – Центр педагогического мастерства, 2015. – 54 с.
- 10 **Нурумжанова, К. А.** Стратегия модернизации учебного процесса в сельской школе на основе развивающей эвристической технологии //Интернет-журнал «Эйдос». – Москва.– 2008. e-mail: Hst@eidos.ru [Электронный ресурс]. – <https://eidos.ru/journal/2008/0820.htm>.
- 11 **Закирова, Н. А., Аширов, Р. Р.** Физика: учебник для 10 класса естественно-математического направления общеобразовательной школы. / Н. А. Закирова, Р. Р. Аширов. – Нур-Султан : Издательство «Арман - ПБ», 2019. – 336 с.
- 12 **DavidScott, Shane Beadle.** Improving the effectiveness of language learning: CLIL and computer assisted language learning // A report submitted by ICF Date: 25 June, 2014. – Job Number: J60173 2
- 13.CO-CLIL: Coperative CLIL. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.co-clil.eu/index.html>.

REFERENCES

- 1 **Leont'yev, A. N.** Deyatel'nost'. Soznaniye. Lichnost': uchebnoye posobiye [Activity. Consciousness. Personality: a textbook] [Text] / A.N. Leontiev. - 2nd edition, stereotypical. – М. : Smysl: Academy, 2005. – 352 p.
- 2 **Dudley, P.** Lesson study in England: from school networks to national policy. Presented at the World Association of Lesson Studies Annual Conference, Hong Kong Institute of Education. – 2008. – 46 p.
- 3 **Dudley, P.** How Lesson Study orchestrates key features of teacher knowledge and teacher learning to create profound changes in professional practice. Presented at the World Association of Lesson Studies Annual Conference, Tokyo. – 2011. – 19 p.
- 4 **Piazhe, Zh.** Psikhogenez znaniy i yego epistemologicheskoye znachenije. [Piaget J. Psychogenesis of knowledge and its epistemological significance] [Text] // Translated from French by N. V. Ufimtseva. /Semiotics. Collection of articles edited by Yu. S. Stepanov. – М. : 1983. – P. 90–101.

5 **Solso, Robert L.** Kognitivnaya psikhologiya / Robert Solso; Solso, Robert L. [Cognitive Psychology / Robert Solso;] [Text] // [translated from English by S. Komarov]. – 6 th ed. – M. : Piter, 2006. – 588 p. – ISBN 5-94723-182-4 (in translation)].

6 **Piazhe, Zh.** Izbrannye psikhologicheskie trudy [Selected psychological works / Psikhologiya intellekta. Genezis chisla u rebenka. Logika i psikhologiya [Psychology of intelligence. The genesis of a number in a child. Logic and psychology]: [Text] M. : Prosveshenie, 1969. – 659 p.

7 **D'yui, Dzh.** Psikhologiya i pedagogika myshleniya [Psychology and Pedagogy of Thinking / Translated from English by N. M. Nikolskaya] [Text]. – M. : Perfection, 1997. – 208 p.

8 **Choshanov, M. A.** Didaktika i inzheneriya. [Didactics and engineering] [Text] – 4th ed. Electron. – M. : Laboratory of Knowledge, 2020. – 251 p.

9 **Murzagaliyeva, A. Ye., Utegenova, B. M.** Sbornik zadaniy i uprazhneniy. Uchebnyye tseli soglasno taksonomii Bluma [Collection of tasks and exercises. Learning objectives according to Bloom's taxonomy] [Text] // Astana: AEO «Nazarbayev Intellectual Schools». – Center for Pedagogical Excellence, 2015. – 54 p.

10 **Nurumzhanova, K. A.** Strategiya modernizatsii uchebnogo protsessa v selskoi shkole na osnove razvivayushchei evristicheskoi tekhnologii [Strategy for modernizing the educational process in a rural school based on developing heuristic technology] // Internet-jurnal «Eidos», 2008. – M.: [Electronic resource]. – <http://eidos.ru/journal/2008/0820.htm>.

11 **Zakirova, N. A., Ashirov, R. R.** Fizika: uchebnikdlya 10 klassa yestestvenno-matematicheskogo napravleniya obshcheobrazovatel'noy shkoly. [Physics: a textbook for the 10th grade of the natural sciences and mathematics direction of a comprehensive school] [Text] – Nur-Sultan : Publishing house «Arman-PV», 2019. – 336 p.

12 **David Scott, Shane Beadle.** Improving the effectiveness of language learning: CLIL and computer assisted language learning // A report submitted by ICF Date: 25 June, 2014. – Job Number: J60173 2

13. CO-CLIL: Coperative CLIL. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.co-clil.eu/index.html>.

Received 18.10.25.

Received in revised form 18.10.25.

Accepted for publication 06.11.25.

***К. А. Нурумжанова¹, А. Б. Айгумусова², Г. Е. Сенькина³**

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

³Смоленск мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Смоленск қ.

18.10.25 ж. баспаға түсті.

18.10.25 ж. түзетулерімен түсті.

06.11.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ФИЗИКА САБАҚТАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН LESSON STUDY СТРАТЕГИЯСЫН ҚОЛДАНУ

Мақала «тербелмелі қозғалыс» тақырыбының мысалында 9-сынып физикасы курсын оқытудың тиімді конструктивтік технологиясын жасауға мүмкіндік берген мектеп сабағының әдістемелік жүйесін когнитивті-конструктивтік жаңғырту үшін Lesson Study мектебінің мұғалімдері мен оқушыларының ынтымақтастық стратегиясының дидактикалық ресурстық мүмкіндіктерін зерттеуге арналған. Зерттеудің проблемасы Lesson Study стратегиясын қолдану негізінде ЖОО және мектеп сабақтарын жоспарлау, дидактикалық мазмұнды іріктеу және технологияландыру әдістемелік құралдарын конструктивтік жаңғыртудың өзекті қажеттілігінде жатыр. Зерттеудің мақсаты: әдістемелік жүйені жаңғырту үшін Lesson Study мектебінің педагогтары мен оқушыларының ынтымақтастық стратегиясының ресурстық дидактикалық мүмкіндіктерін зерделеу және алынған нәтижелер негізінде мектепте физика курсын оқытудың тиімді когнитивті-конструктивтік технологиясын әзірлеу. Зерттеу нәтижесінде: 1) физика сабағының когнитивтік функционалдық құрылымының технологиялық картасы; 2) Ж. Пиаженің дидактикалық тұжырымдамасына сәйкес «механикалық тербелістер» бөлімін зерттеудің әдістемелік жүйесі; 3) осы тақырып бойынша сабақтың қысқаша мазмұны; 4) когнитивтік конструктивизм парадигмасындағы сабақтардың тиімділігі мен әдістемелік құралдарын арттыру мүмкіндігі туралы зерттеу гипотезасы расталды. Lesson Study платформасының ғылыми-әдістемелік ресурстық әлеуетін барынша пайдалануды ескере отырып, мектеп мұғалімдері мен оқушыларының ынтымақтастығы негізінде.

Кілтті сөздер: когнитивті конструктивизм, Lesson Study стратегиясы, әдістемелік жүйе, оқыту технологиясы, физика курсы, «тербелмелі қозғалыс» тақырыбы.

*К. А. Нурумжанова¹, А. Б. Айғұмусова², Г. Е. Сенькина³

^{1,2}Торайғыров университет, Республика Казахстан, Павлодар қ.

³Смоленский государственный университет,

Российская Федерация, г. Смоленск

Поступило в редакцию 18.10.25.

Поступило с исправлениями 18.10.25.

Принято в печать 06.11.25.

ПРИМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИИ LESSON STUDY ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УРОКОВ ФИЗИКИ

Статья посвящена изучению дидактических ресурсных возможностей стратегии сотрудничества педагогов и учащихся школы Lesson Study для когнитивно-конструктивистской модернизации методической системы школьного урока, позволившей разработать эффективную конструктивистскую технологию изучения курса физики 9 класса, на примере темы «Колебательное движение». Проблема исследования заключается в актуальной необходимости конструктивистской модернизации методического инструментария планирования, отбора дидактического контента и технологизации вузовских и школьных уроков на основе применения стратегии Lesson Study. Цель исследования: изучить ресурсные дидактические возможности стратегии сотрудничества педагогов и учащихся школы Lesson Study для модернизации методической системы и на основе полученных результатов разработать эффективную когнитивно-конструктивистскую технологию изучения курса физики в школе. В результате исследования представлены: 1) технологическая карта когнитивной функциональной структуры урока физики; 2) методическая система изучения раздела «Механические колебания» в соответствии с дидактической концепцией Ж. Пиаже; 3) конспект урока по этой же теме; 4) подтверждена гипотеза исследования о возможности повышения эффективности и методического инструментария уроков в парадигме когнитивного конструктивизма на основе коллаборации педагогов и учащихся школы с учетом максимального использования научно-методического ресурсного потенциала платформы Lesson Study.

Ключевые слова: когнитивный конструктивизм, стратегия Lesson Study, методическая система, технология обучения, курс физики, тема «Колебательное движение».

МРНТИ 14.35.07

<https://doi.org/10.48081/SUDW7882>

*Ю. П. Похолков¹, Е. В. Исаева²

^{1,2}Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, г. Томск.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1310-8227>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4463-5812>

*e-mail: pyuori@mail.ru

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ: ОЧЕРЕДНОЙ ВЫЗОВ, ПЛЮСЫ И МИНУСЫ, ОТВЕТЫ, ФАНАЗИИ И РЕШЕНИЯ

Настоящая статья посвящена анализу роли искусственного интеллекта (далее – ИИ) в инженерном образовании и рассматривает его как новый устойчивый вызов для образовательной системы. Целью статьи является анализ роли и места ИИ в современном инженерном образовании, выявление ключевых преимуществ и недостатков, а также формирование обоснованных рекомендаций и предложений по внедрению инновационных подходов в учебный процесс, повышения качества подготовки инженеров и развития преподавательских компетенций. В статье рассматриваются особенности взаимодействия обучающихся с ИИ, его влияние на профессиональное становление инженеров и решение конкретных образовательных задач.

Содержание работы охватывает: введение в актуальность проблемы, обзор парадигм и возможностей внедрения ИИ в образовательную среду, формулировку гипотезы о необходимости создания благоприятной среды использования ИИ в вузах, задачи исследования и методы их проверки; анализ и характеристику среды ИИ и её влияния на образовательные процессы. Рассматриваются плюсы и минусы применения ИИ в инженерном образовании, этические и правовые аспекты, а также примеры реализации адапционных курсов и программ повышения квалификации для преподавателей.

Объекты исследования – образовательный процесс в вузе, студенты и преподаватели, применяющие и изучающие ИИ, уровни

компетенций, методики оценки, педагогические стратегии и инфраструктура ИИ.

Выводы подчёркивают необходимость опережающих подходов к формированию компетенций и мировоззрения выпускников инженерных вузов в эпоху искусственного интеллекта, разработки и реализации программ повышения квалификации, обновления содержательных и методических основ обучения, формирования инженерного мышления и мотивации к постоянному самосовершенствованию, а также создания инновационной образовательной экосистемы, ориентированной на устойчивое развитие и подготовку конкурентоспособных инженеров.

Структура статьи включает введение; теоретико-методологическую часть (гипотеза, задачи, определения, парадигмы и возможности); анализ плюсов и минусов применения ИИ; описание среды ИИ и конкретизации внедрения; практические предложения по инструментам, курсам и оценочным мероприятиям; выводы и рекомендации для дальнейших исследований.

Ключевые слова: инженерное образование, искусственный интеллект, оценка результатов обучения, среда искусственного интеллекта.

Введение

Искусственный интеллект (далее – ИИ) выступает серьезным вызовом для всей системы образования [1,2], включая высшее образование, и особенно остро влияет на подготовку высококвалифицированных инженерных кадров. Современный этап характеризуется множеством непростых испытаний для инженерной отрасли страны: переход от централизованной экономики к рыночной модели, потребность конкурировать на международном рынке, стремительное обновление технических и технологических процессов, кризис пандемии, массовый тренд цифровой трансформации и бюрократизация. Однако, несмотря на всю сложность ситуации, внедрение ИИ воспринимается, скорее, как инструмент, который становится неотъемлемой частью образовательного процесса, подобно привычным предметам повседневной жизни — шариковой ручке вместо чернил и пера, смартфону вместо фотоаппарата с плёнкой, или заменителю поисковика вроде Google. Отказавшись от необоснованных конспирологических спекуляций относительно непредсказуемого и неконтролируемого развития ИИ, можно признать, что искусственный интеллект – это естественный компонент глобальной интеллектуальной сети и общества, расширяющий человеческие возможности не только для

эффективного выполнения текущих задач, но и открывающий перспективы возникновения принципиально новых вызовов и проблем, способных позитивно влиять на качество жизни людей.

Из этого следует важный вывод: современный мир кардинально изменился, и, наряду с традиционным человеческим интеллектом, сейчас активно формируется и стремительно развивается искусственный интеллект. Важно принять эту реальность спокойно и объективно, поскольку взаимодействие с ИИ обещает значительные преимущества для всех участников образовательного и профессионального пространств.

Искусственный интеллект всё активнее проникает в нашу повседневную деятельность, создавая новую форму интеллектуальной среды, в которую мы неизбежно углубляемся и совершенствуемся вместе с развитием соответствующих технологий. Это предъявляет серьёзный вызов специалистам-инженерам и педагогическим работникам: нам предстоит своевременно и профессионально реагировать на растущие возможности ИИ, использовать его потенциал максимально эффективно и конструктивно.

Одной из наиболее актуальных проблем современной образовательной среды является вопрос признания студенческих достижений, выполненных с помощью искусственного интеллекта, либо тех работ, которые были полностью или частично созданы алгоритмами и предоставлены преподавателю. Если студент правильно сформулировал техническое задание для ИИ и получил разумные, грамотные ответы, можно ли считать, что именно он самостоятельно выполнил задание и демонстрирует необходимую квалификацию?

Однако доступность современных ИИ-решений ставит под сомнение традиционное понимание ответственности за выполненную работу. Не исключено, что настало время пересмотреть устоявшиеся стандарты и подходы к оценке компетенций студентов, сформировав новый подход к определению результатов их труда. Вероятно, будущим инженерам необходима особая среда, сочетающая активное использование ИИ в образовательном процессе и формирование у студентов нового набора компетенций, связанных с эффективным взаимодействием с технологиями ИИ в профессиональной практике. Речь идет о возможности эффективно применять искусственный интеллект в решении инженерных задач, приобретая необходимые умения и навыки в области самостоятельной постановки задач и обработки результатов работы интеллектуальных систем.

Материалы и методы

Гипотеза. Задачи

Предположим, что формирование благоприятной образовательной среды (включающей комплекс необходимых условий и мероприятий) в

рамках подготовки инженеров посредством применения ИИ позволит достичь существенно лучших показателей образовательного процесса и, соответственно, повысить качество инженерного образования.

Для проверки выдвинутого предположения потребуется проведение специализированных педагогических исследований, включающих следующие задачи [3]:

- Пересмотр существующих концептуальных основ инженерного образования: необходимо выявить целесообразность изменения существующих подходов, учитывая появление и активное использование ИИ, и предложить обновленную концепцию, адаптированную к новым условиям.

- Определение критериев оценки успеваемости студентов: предстоит определить требования к структуре и формату итогового контроля знаний выпускников-инженеров, исходя из специфики обучения с применением ИИ.

- Оценка уровня профессиональных компетенций педагога: важно оценить и описать компетенции преподавателя, вовлеченного в работу с активно используемым ИИ, чтобы обеспечить эффективное применение современных методик и технологий.

- Формирование готовности студентов: предполагается установить уровень компетентности студентов как уверенных пользователей ИИ (возможно, предусмотреть последующую сертификацию).

- Разработка методологических принципов и рекомендаций: на основе проведенных исследований целесообразно подготовить учебные и методические материалы, направленные на разработку специального курса (например, «ИИ и инженерное образование») для студентов, а также программу повышения квалификации для преподавательского состава, участвующего в разработке и реализации инженерных образовательных программ.

Результаты и обсуждения

Определение

Рассмотрение вопросов, связанных с использованием в инженерном образовании искусственного интеллекта, требует принятия непротиворечивого определения понятия ИИ, используемого в обиходе современного общества.

Обратимся к классическому определению ИИ, которое дает Википедия [4] – искусственный интеллект – свойство искусственных интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека; наука и технология создания интеллектуальных машин, особенно интеллектуальных компьютерных программ.

Можно увидеть, что ключевыми (опорными) словами в данной дефиниции являются лексические единицы – интеллект, интеллектуальный, творческие функции, человек, которые и придают искусственному интеллекту

человеческие черты. При этом, эксперты полагают, что нарастание этих человеческих черт или «очеловечивание» ИИ будет идти очень стремительно.

Парадигмы и возможности

Переход к широкому использованию автоматизированных систем, выполняющих творческие задачи, ранее относившиеся исключительно к человеку, действительно может повлечь существенные преобразования в высшем образовании и инженерной сфере, в частности.

Во второй половине прошлого столетия человечество осознало ключевое значение образования в контексте научного прогресса и технологического роста. Реакция международного сообщества на запуск первого искусственного спутника Земли и полет первого космонавта стали наглядным свидетельством результативности существовавшей тогда системы образования. Тогда существовала устойчивая концепция высшей школы, основанная на приоритетности фундаментального образования, предполагавшая, что накопленные базовые знания позволят специалисту успешно справляться с будущими профессиональными проблемами, прогнозируемыми в течение ближайших 25–30 лет. То есть, можно представить это как принцип «Фундаментальное образование – на всю жизнь». Изменяющиеся условия – лавинообразное развитие современных технологий – привели к корректировке этой парадигмы в части необходимости уменьшения горизонта до 10–15 лет, и, в конечном итоге, к принципу «Обучение через всю жизнь». При этом требования к результатам обучения сместились от высоких требований к знанию вообще, и к знанию фундаментальных дисциплин, в частности, в сторону практических умений обращаться с быстро изменяющимися техникой и технологией. Это привело к существенному сокращению объема часов для изучения фундаментальных дисциплин, но, к сожалению, не привело к усилению практической подготовки будущих специалистов. Появились требования к компетенциям (знания, умения, навыки/владения), которые предполагали всё-таки контроль именно этих составляющих как необходимой основы для будущей успешной профессиональной инженерной деятельности при условии выполнения принципа «Обучение через всю жизнь».

Новые реалии (ИИ...), возможно, потребуют от инженерно-образовательного сообщества осознанного перехода на новые принципы типа «Инженерное мышление и мотивация к самосовершенствованию – на всю жизнь» и, как дополнительный, но не второстепенный – «Устойчивое развитие – приоритет».

То есть, сформированное в вузе на высоком уровне инженерное мышление даст возможность подготовленному специалисту решать

задачи, возникающие в будущем, с горизонтом не 25 – 30 лет, а на всю его профессиональную, производственную, а, возможно, и физическую жизнь.

Естественно, что принятие новой парадигмы потребует кардинального изменений в организации и контроле учебного процесса, целью которого будет устойчивая ориентация на формирование инженерного мышления, формирования мотивации к получению новых компетенций в их полном составе и к формированию мировоззрения устойчивого развития у будущих инженеров, основанного на наборе ценностей, в основе которых сохранение ресурсов, природо- и человеколюбие. Важным направлением деятельности коллектива инженерного вуза при решении этих задач будет поиск и использование факторов, играющих существенную роль в формировании этих признаков выпускника вуза. Последнее, естественно, позволит управлять качеством нового инженерного образования и диверсифицировать его в интересах конкретной личности, бизнеса, общества и государства.

При формировании фонда оценочных средств в этом случае понадобятся методы количественной оценки уровня развития инженерного образования, уровня сформированности мировоззрения устойчивого развития и уровня мотивации выпускника к самосовершенствованию и к труду в выбранной сфере инженерной деятельности.

Плюсы и минусы

Перечень аргументов «за» и «против» использования искусственного интеллекта в инженерном образовании, судя по публикациям, достаточно широк [5,6,7]. Приведём только некоторые из них.

За:

1 Расширение доступа к образованию: использование искусственного интеллекта позволяет обеспечить доступ к образованию инженерного профиля для большего числа студентов. Технологии ИИ могут быть использованы для разработки онлайн-курсов и дистанционного обучения, что позволяет обучаться из любого места и в любое время.

2 Индивидуализированное обучение: искусственный интеллект обладает способностью настраивать образовательный процесс в соответствии с уникальными особенностями и потребностями каждого учащегося. С помощью методов машинного обучения система изучает уровень знаний и степень подготовленности студента, предлагая персонализированные учебные ресурсы и задания, оптимально соответствующие уровню подготовки конкретного ученика.

3 Расширение практической подготовки: использование ИИ открывает перед студентами возможность получать доступ к реалистичным цифровым симуляторам и виртуальным лабораторным средам, позволяющим развивать инженерные навыки без значительных затрат на оборудование. Такие

технологии способствуют глубокому пониманию процессов и явлений, повышая качество и глубину изучения предметов.

4 Повышение эффективности образования: применение искусственного интеллекта улучшает качество образовательного процесса путем разработки и внедрения наиболее эффективных методов обучения. Система автоматически отслеживает успехи студентов, оперативно выявляя пробелы в знаниях и рекомендуя индивидуальные стратегии и методики, наилучшим образом отвечающие нуждам каждого учащегося.

5 Увеличение скорости освоения материала: благодаря наличию функций ИИ, учебная деятельность становится более продуктивной и ускоренной. Искусственный интеллект оперативно предоставляет своевременную обратную связь и точные ответы на возникающие вопросы, обеспечивая быстрое усвоение учебного материала и сокращение времени на подготовку и выполнение заданий.

6 Освобождение от рутины: искусственный интеллект берет на себя выполнение типовых и повторяющихся операций, освобождая внимание и время студентов и преподавателей для творческой работы над сложными и перспективными проектами. Преподаватели получают больше возможностей разрабатывать новые подходы и методики, позволяющие глубже погружаться в инновационные идеи и концепции.

Против:

1 Отсутствие реального опыта. Использование искусственного интеллекта в инженерном образовании может привести к сокращению возможности получения студентом реального практического опыта. Это может привести к тому, что выпускники будут не способны применять свои знания в реальных ситуациях.

2 Недостаточная значимость общения с преподавателем. Хотя искусственный интеллект играет важную роль в учебном процессе, он не способен полноценно заменить человеческое взаимодействие с преподавателем. Коммуникация с опытным наставником особенно значима для стимулирования познавательной активности, формирования критического мышления и обеспечения комфортного эмоционального фона во время учебы.

3 Возможные недостатки и ограничения алгоритмов ИИ. Алгоритмы искусственного интеллекта имеют ряд ограничений и уязвимостей. В некоторых случаях ИИ не способен предложить адекватные или верные решения, допускает ошибки и сбои в работе программного обеспечения, что приводит к неверной интерпретации учебного материала и дезориентирует обучающихся в процессе обучения [8].

4 Риск замещения рабочих мест. Применение ИИ может снизить спрос на квалифицированных инженеров. Студенты могут оказаться менее конкурентоспособными на рынке труда, поскольку ИИ способен выполнять некоторые инженерные задачи быстрее и эффективнее.

5 Этические аспекты применения ИИ. Искусственный интеллект имеет ограничения в осознании и понимании этических аспектов инженерной деятельности, что, в конечном итоге, может приводить к упущениям или неправильному внедрению этических норм и ценностей в реальной практике [9,10].

6 Потеря междисциплинарной базы знаний. ИИ может ограничиваться узкими задачами или областями, что угрожает развитию широкой мультидисциплинарной подготовки. Инженерия требует совокупности разных знаний, а не только специализированной направленности.

7 Ограниченность креативности и инноваций. ИИ не всегда способен на творческое мышление и порождение новых идей. Инженер часто сталкивается с новыми проблемами и нуждается в способности нестандартно мыслить и находить инновационные решения, которые ИИ может не обеспечить.

8 Зависимость от технических средств. Применение ИИ в инженерном образовании может создать привязанность к технологиям. В случае сбоя или недоступности системы ИИ образовательный процесс может быть прерван, и студентам может не хватать необходимых материалов.

Среда ИИ. Немного конкретики

ИИ становится неотъемлемой частью образовательного процесса. Рано или поздно все образовательные учреждения вынуждены будут использовать технологии ИИ, чтобы создать и/или укрепить собственную образовательную экосистему и сохранить конкурентоспособность на рынке образовательных услуг. Те, кто будет пренебрегать прогрессом, в следующие 10 лет рискуют остаться за бортом.

Для внедрения ИИ в учебный процесс необходимо создание соответствующей среды через реализацию комплекса условий и мероприятий.

Условия:

– Доступность инструментов ИИ для студентов и преподавателей (база генеративных сетей для решения разного рода задач).

– Осведомленность ППС о возможностях применения ИИ в учебном процессе, способность ППС использовать ИИ в профессиональной деятельности.

– Применение систем оценки результатов обучения, учитывающих использование студентами ИИ.

– Взаимодействие с передовыми предприятиями-заказчиками – для определения вектора развития ИИ для промышленности.

– Наличие политики вуза в области ИИ (кодекс этики);
– допустимость применения ИИ при выполнении заданий студентами;
– допустимость применения ИИ при проектировании рабочих программ дисциплин.

Мероприятия:

– Разработка и реализация программ повышения квалификации преподавателей в вопросах применения ИИ в обучении.

– Обновление УММ (РПД, ФОС) с учетом применения ИИ.

– Модернизация систем оценки результатов обучения.

– Разработка (элективного) адаптационного курса для студентов «ИИ и инженерное образование».

Инструменты ИИ могут быть применены для реализации любой дисциплины (таблица 1). Чем раньше будет обеспечено качественное и полезное взаимодействие студента и преподавателя с данными инструментами, тем выше вероятность успешного применения ИИ в профессиональной деятельности.

Таблица 1 – Варианты применения ИИ в учебном процессе

	Образовательная задача	Пользователь «Студент»	Пользователь «Преподаватель»
1	Анализ литературы	+	+
2	Поиск проблемных ситуаций	+	+
3	Постановка инженерных задач, генерирование ИДЗ		+
4	Разработка тестовых заданий		+
5	Формулирование тем проектов	+	+
6	Решение инженерных задач	+	+
7	Использование ИИ как члена команды проекта	+	
8	Анализ предложенных студентом решений с помощью ИИ	+	+
9	Использование инструментария ИИ для создания лекций, видео, презентаций, информационного поиска и т.д.	+	+
10	Написание выпускных квалификационных работ с помощью средств ИИ	+	

ИИ выступает как инструмент, облегчающий сбор информации (альтернатива учебникам, статьям, web-поисковикам), но на данном

этапе анализ этой информации не всегда является грамотным, точным и достоверным.

Студенты будут пользоваться ИИ, даже если ввести формальные ограничения на его применение. Поэтому необходимо корректировать методики оценки текстов (рефератов, курсовых работ, ВКР и др. материалов), подготавливаемых студентом и в целом методики оценки образовательных результатов.

Необходимо тщательно подходить к оценке степени владения материалом у студента, расценивать текстовые материалы как необходимый минимум (допуск) к беседе с преподавателем и/или с экспертной комиссией. А саму оценку знаний проводить на основе оценки «мышления в коммуникации»: беседы, ответов на вопросы, способности ориентироваться в тексте, анализировать его, быстро находить ответы и др. Другими словами – выводы автора по результатам разговора, а не текст, должны стать подтверждением качества проделанной студентом работы.

Это, безусловно, увеличит нагрузку на преподавателя. Компенсацией возросшей нагрузки должна стать система автоматизированной оценки компетенций студентов посредством тестовых заданий на знания и умения (проект в разработке в УНЦ САУ ТПУ).

Вне зависимости от желания ППС, студенты будут обращаться к ИИ как к усовершенствованной замене поисковикам для выполнения заданий по социально-гуманитарным наукам, для написания курсовых проектов и др. ИДЗ.

Несмотря на то, что многие студенты уже сегодня используют ИИ, разработка и реализация адаптационного курса для студентов «ИИ и инженерное образование» может оказаться полезной для ознакомления с инструментами, доступными в ТПУ, и изучения возможностей ИИ для самостоятельного обучения. Курс может быть элективным. Реализация – первый семестр.

Предварительная подготовка совершенно необходима преподавателям для:

- а) развития собственных способностей по применению ИИ,
- б) модернизации дисциплин,
- в) модернизации системы оценки результатов обучения.

Использование ИИ требует квалифицированных преподавателей, способных эффективно интегрировать технологии в учебный процесс и помогать студентам развивать навыки. Для подготовки ППС к использованию ИИ в учебном процессе необходима реализация программ повышения квалификации. Такие программы могут быть разработаны и реализованы в сотрудничестве с экспертами в области искусственного интеллекта и

образования, а также включать в себя ресурсы для доступа к необходимым инструментам и технологиям. Программы помогут преподавателям лучше использовать ИИ в своей работе, что, в свою очередь, улучшит качество обучения студентов в инженерных дисциплинах.

Примерное содержание программы ПК по ИИ для ППС: (пример взят из группового пилотного проекта «Искусственный интеллект в учебном процессе вуза», подготовленного в рамках программы повышения квалификации «Управление проектной деятельностью в цифровой образовательной среде», руководитель Исаева Е.В.).

Модуль 1. Методическое сопровождение дисциплин:

- Применение ИИ для обновления содержания РП дисциплины
- Применение генеративных искусственных нейронных сетей в профессиональной деятельности инженера
- Учебная библиотека ИИ – инструмент для создания лекций, видео, презентаций, информационного поиска и т.д:
- генерации текстов: GPT-3-TURBO, Perplexity AI (Яндекс суммаризатор), OpenAI Ada, BERT, YandexGPT;
- генерации изображений: Dream, Midjourney, Stable Diffusion, Craiyon, Starryai;
- видео: wonderdynamics, vidyo.ai

Модуль 2. Проектная деятельность с применением ИИ:

- Активизация творческой активности студента при решении инженерных задач
- ИИ для командообразования в образовательных проектах
- ИИ для создания тем студенческих проектов

Модуль 3. Оценочные мероприятия:

- Оценка результатов обучения студентов с учетом использования ими ИИ (можно использовать такие библиотеки глубокого обучения, как LibTorch, Microsoft CNTK, TensorFlow и другие)
- Написание выпускных квалификационных работ с помощью средств ИИ и методы их оценки

– Практикумы с использованием ИИ

Модуль 4. Образовательные траектории студентов:

- Формирование индивидуальных образовательных траекторий студента
- Коррекция образовательной траектории студента
- Умные тесты (автоматический возврат к конкретному месту неусвоенного теоретического материала)

Выводы

Искусственный интеллект – явление неизбежное и объективное, которое невозможно проигнорировать. Следовательно, изучение его влияния на систему инженерного образования сегодня приобретает особую важность и неотложность. Именно эти факторы – высокий уровень инженерного мышления, стабильная мотивация студентов постоянно повышать свою квалификацию и осознанное восприятие ими ценностей устойчивого развития – определяют ключевые черты поведения выпускников инженерных специальностей в условиях активного внедрения и распространения искусственного интеллекта.

Разработка и реализация программ повышения квалификации в области ИИ для преподавателей и студентов инженерных образовательных программ – необходимое условие, обеспечивающее опережающее инженерное образование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Итинсон, К. С., Чиркова, В. М. К вопросу о влиянии искусственного интеллекта на сферу современного образования // Азимут научных исследований: педагогика и психология, 2021. – Т.10. – № 1 (34). – С. 299–301. <https://doi.org/1026140/anip-2021-1001-0076>.
- 2 Корчагин, С. А. Анализ тенденций применения технологий искусственного интеллекта в образовательной сфере // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Социология. Политология. 2021. Т.21, вып. 1. С. 37–42. – <https://doi.org/10.18500/1818-9601-2021-21-1-37-42>.
- 3 Чулюков, В. А., Дубов, В. М. Искусственный интеллект и будущее образования // Современное педагогическое образование, 2020. – С. 27–31.
- 4 Лёвин, Б. А., Пискунов, А. А., Поляков, В. Ю., Савин, А. В. Искусственный интеллект в инженерном образовании // Высшее образование в России, 2022. – Т. 31. – № 7. – С. 79–95. – <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2022-31-7-79-95>.
- 5 Charles Radcly, Mafalda Ribeiro and Robert H. Wortham The assessment list for trustworthy artificial intelligence: A review and recommendations // The frontiers of artificial intelligence, 2023. – Т. 6. – [Электронды ресурс]. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2023.1020592>
- 6 Charlotte Stix Actionable Principles for Artificial Intelligence Policy: Three Pathways// Science and Engineering Ethics. 2021, Т. 27 (1), 15. – [Электронды ресурс]. – <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00277-3>.

7 Nessrine Omrani and et al. To trust or not to trust? An assessment of trust in AI-based systems: Concerns, ethics and contexts // Technological Forecasting & Social Change, 2022. – Т.181, 121763. – <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121763>.

8 Лизикова, М. С. Этические и правовые вопросы развития искусственного интеллекта // Труды Института государства и права Российской академии наук, 2022. С. 1–18.

9 Jacqui Ayling, Adriane Chapman. Putting AI ethics to work: are the tools fit for purpose? // AI and Ethics. 2022. Выпуск 2. – С. 405–429. – <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00084-x>.

10 Siau K., Wang W. Artificial Intelligence (AI) Ethics: Ethics of AI and Ethical AI // Journal of Database Management 31(2):74-87; Sun W. Artificial Intelligence and Ethical Principles // Reconstructing Our Orders: Artificial Intelligence and Human Society / Ed. by D. Jin. Singapore: Springer, 2018. – P. 29–59. – <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2209-9-2>.

11 Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» // СЗ РФ. 14.10.2019. № 41. – Ст. 5700.

REFERENCES

- 1 Itinson, K. S., Chirkova, V. M. K voprosu o vliyaniy iskusstvennogo intellekta na sferu sovremennogo obrazovaniya [On the impact of artificial intelligence on modern education]// Azimut nauchny`x issledovaniy: pedagogika i psixologiya, 2021. – Т. 10. – № 1 (34). – P. 299–301. – <https://doi.org/1026140/anip-2021-1001-0076>.
- 2 Korchagin, S. A. Analiz tendencij primeneniya texnologij iskusstvennogo intellekta v obrazovatel'noj sfere [Analysis of trends in the use of artificial intelligence technologies in the educational field]// Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Sociologiya. Politologiya, 2021. – Т.21, vy`p. 1. – P. 37–42. – <https://doi.org/10.18500/1818-9601-2021-21-1-37-42>.
- 3 Chulyukov, V. A., Dubov, V. M. Iskusstvenny`j intellekt i budushhee obrazovaniya [Artificial intelligence and the future of education]//Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie, 2020. – P. 27–31.
- 4 Lyovin, B. A., Piskunov, A. A., Polyakov, V. Yu., Savin, A. V. Iskusstvenny`j intellekt v inzhenernom obrazovanii [Artificial intelligence in engineering education] // Vy`shee obrazovanie v Rossii, 2022. – Т. 31. – № 7. – P. 79–95. – <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2022-31-7-79-95>.

5 Charles Radcly, Mafalda Ribeiro and Robert H. Wortham The assessment list for trustworthy artificial intelligence: A review and recommendations // The frontiers of artificial intelligence, 2023. – Т. 6. – [Электронды ресурс]. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2023.1020592>

6 Charlotte Stix Actionable Principles for Artificial Intelligence Policy: Three Pathways// Science and Engineering Ethics. 2021, Т. 27 (1), 15. – [Электронды ресурс]. – <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00277-3>.

7 Nesslerine Omrani and et al. To trust or not to trust? An assessment of trust in AI-based systems: Concerns, ethics and contexts // Technological Forecasting & Social Change, 2022. – Т.181, 121763. – <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121763>. 8 Lizikova, M.S. E'ticheskie i pravovy'e voprosy' razvitiya iskusstvennogo intellekta [Ethical and legal issues of artificial intelligence development]// Trudy' Instituta gosudarstva i prava Rossijskoj akademii nauk., 2022. – P. 1–18.

9 Jacqui Ayling, Adriane Chapman. Putting AI ethics to work: are the tools fit for purpose? // AI and Ethics. 2022. Vy'pusk 2. – P. 405–429. – <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00084-x>.

10 Siau K., Wang W. Artificial Intelligence (AI) Ethics: Ethics of AI and Ethical AI // Journal of Database Management 31(2):74-87; Sun W. Artificial Intelligence and Ethical Principles // Reconstructing Our Orders: Artificial Intelligence and Human Society / Ed. by D. Jin. Singapore: Springer, 2018. P. 29–59. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2209-9-2>.

11 Ukaz Prezidenta RF ot 10 oktyabrya 2019 g. № 490 «O razviti iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii» [Decree of the President of the Russian Federation dated October 10, 2019 No. 490 «On the development of artificial Intelligence in the Russian Federation»] // SZ RF. 14.10.2019. – № 41. – St. 5700.

Поступило в редакцию 20.11.25.

Поступило с исправлениями 20.11.25.

Принято в печать 04.12.25.

*Ю. П. Похолоков¹, Е. В. Исаева²

^{1,2}Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Томск қ.

20.11.25 ж. баспаға түсті.

20.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ИНЖЕНЕРЛІК БІЛІМ БЕРУДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ: ТАҒЫ БІР СЫНАҚ, АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН КЕМШІЛІКТЕРІ, ЖАУАПТАРЫ, ҚИЯЛДАРЫ МЕН ШЕШІМДЕРІ

Бұл мақала инженерлік білім берудегі жасанды интеллекттің (бұдан әрі – АИ) ролін талдауға арналған және оны білім беру жүйесі үшін жаңа тұрақты сынақ ретінде қарастырады. Мақаланың мақсаты қазіргі заманғы инженерлік білім берудегі АИ ролі мен орнын талдау, негізгі артықшылықтар мен кемшіліктерді анықтау, сондай-ақ оқу процесіне инновациялық тәсілдерді енгізу, инженерлерді даярлау сапасын арттыру және оқытушылық құзыреттерді дамыту бойынша негізделген ұсынымдар мен ұсыныстарды қалыптастыру болып табылады. Мақалада студенттердің АИ-мен өзара әрекеттесу ерекшеліктері, оның инженерлердің кәсіби қалыптасуына және нақты білім беру міндеттерін шешуге әсері қарастырылады.

Жұмыстың мазмұны: проблеманың өзектілігіне кіріспе, білім беру ортасына АИ енгізу парадигмалары мен мүмкіндіктеріне шолу, жоғары оқу орындарында АИ-ді пайдаланудың қолайлы ортасын құру қажеттілігі туралы гипотезаны тұжырымдау, зерттеу міндеттері мен оларды тексеру әдістері; АИ ортасын талдау және сипаттау және оның білім беру процесіне әсері. Инженерлік білім беруде жасанды интеллектті қолданудың оң және теріс жақтары, этикалық және құқықтық аспектілері, сондай-ақ оқытушыларға арналған бейімделу курстары мен біліктілікті арттыру бағдарламаларын жүзеге асырудың мысалдары қарастырылады.

Зерттеу нысандары-ЖОО-дағы білім беру процесі, АИ, құзыреттілік деңгейлерін, бағалау әдістемелерін, педагогикалық стратегияларды және АИ инфрақұрылымын қолданатын және зерттейтін студенттер мен оқытушылар.

Қорытындылар жасанды интеллект дәуірінде инженерлік жоғары оқу орындары тұлғаларының құзыреттілігі мен дүниетанымын қалыптастыруға, біліктілікті арттыру бағдарламаларын әзірлеуге және іске асыруға, оқитудың мазмұндық және әдістемелік негіздерін жаңартуға, инженерлік ойлауды қалыптастыруға және тұрақты өзін-өзі жетілдіруге ынталандыруға, сондай-ақ бәсекеге қабілетті инженерлерді тұрақты дамытуға және даярлауға

бағдарланған инновациялық білім беру экожүйесін құруға озық тәсілдердің қажеттілігін атап көрсетеді.

Мақаланың құрылымына кіріспе; теориялық-әдістемелік бөлім (гипотеза, міндеттер, анықтамалар, парадигмалар мен мүмкіндіктер); АИ қолданудың оң және теріс жақтарын талдау; АИ ортасын сипаттау және енгізуді нақтылау; құралдар, курстар және бағалау іс-шаралары бойынша практикалық ұсыныстар; одан әрі зерттеуге арналған қорытындылар мен ұсыныстар кіреді.

Кілтті сөздер: инженерлік білім, жасанды интеллект, оқу нәтижелерін бағалау, жасанды интеллект ортасы.

*Y. P. Pokholkov¹, E. V. Isaeva²

^{1,2}National Research Center Tomsk Polytechnic University,
Russian Federation, Tomsk.

Received 20.11.25.

Received in revised form 20.11.25.

Accepted for publication 04.12.25.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGINEERING EDUCATION: ANOTHER CHALLENGE, PROS AND CONS, ANSWERS, FANTASIES AND SOLUTIONS

This article analyzes the role of artificial intelligence (AI) in engineering education and considers it as a new sustainable challenge for the educational system. The purpose of the article is to analyze the role and place of AI in modern engineering education, identify key advantages and disadvantages, as well as form sound recommendations and suggestions for the introduction of innovative approaches in the educational process, improving the quality of engineering training and the development of teaching competencies. The article examines the features of students' interaction with AI, its impact on the professional development of engineers and the solution of specific educational tasks.

The content of the work covers: an introduction to the relevance of the problem, an overview of the paradigms and possibilities of introducing AI into the educational environment, the formulation of a hypothesis about the need to create a favorable environment for the use of AI in universities, research objectives and methods of their verification; analysis and characterization of the AI environment and its impact on educational processes. The pros and cons of using AI in engineering education, ethical and legal aspects, as well as examples of the implementation of

adaptation courses and advanced training programs for teachers are considered.

The objects of research are the educational process at the university, students and teachers who apply and study AI, competence levels, assessment methods, pedagogical strategies and AI infrastructure.

The conclusions emphasize the need for proactive approaches to the formation of competencies and worldviews of engineering graduates in the era of artificial intelligence, the development and implementation of professional development programs, updating the substantive and methodological foundations of education, the formation of engineering thinking and motivation for continuous self-improvement, as well as the creation of an innovative educational ecosystem focused on sustainable development and the training of competitive engineers.

The structure of the article includes an introduction; a theoretical and methodological part (hypothesis, objectives, definitions, paradigms, and opportunities); an analysis of the pros and cons of AI application; a description of the AI environment and implementation specifics; practical suggestions on tools, courses, and evaluation activities; conclusions and recommendations for further research.

Keywords: engineering education, artificial intelligence, assessment of learning outcomes, artificial intelligence environment.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Адилжанова Салтанат Альмуханбетовна, PhD, доцентінің м.а., «Киберқауіпсіздік және криптология» кафедрасы, «Ақпараттық технологиялар» факультеті Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: asaltanat81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1768-064X>

Айгүмүсова Асемгүль Бейсенбаевна, магистрант, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asemgul.b.a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0278-2934>

Айтбаева Аружан Нурланқызы, студент, «Физика-техникалық ғылымдар институты», Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 011000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aruzhanaitbaeva04@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-7880-2420>

Айтимова Ұлзада Жолдасбековна, қауымдастырылған профессор, «Бизнес және цифрлық технологиялар» институты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: zada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0803-7137>

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, қауымдастырылған профессордың м.а., «Компьютерлік ғылымдар» кафедрасы, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akerkegansaj1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Акылбекова Айман Дүйсембаевна, PhD, доцент м.а., «Техникалық физика» кафедрасы, Физика-техникалық ғылымдар институты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 011000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aiman88_88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1211-8877>

Алиакбарова Әдемау Аманқызы, докторант, кіші ғылыми қызметкер, Research Group altAir nanolab, Алматы қ., 050043, Қазақстан Республикасы Алматы, Қазақстан Республикасы, e-mail: ademau@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7428-8279>

Алпысова Гульнур Кенжебековна, PhD, Қауымдастырылған профессор, «Физика-техникалық» факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulnur-0909@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7164-2188>

Амирханова Гульшат Аманжоловна, PhD, «Ақпараттық технологиялар» факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulshat.aa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3933-5476>

Әкім Гүлім Берлібайқызы, студент, «Физика-техникалық» факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulim.berlibay@icloud.co, <https://orcid.org/0009-0002-8081-417X>

Әсілхан Әділхан Досмаханбетұлы, докторант, «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандығы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы Энергетика және Телекоммуникация университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: asilkhanadilkhan1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6428-2084>

Бакранова Дина Игоревна, PhD, қауымдастырылған профессор, SDU University, Қаскелең қ., 040900, Қазақстан Республикасы, e-mail: dinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

Бакранова Медина Нұрланқызы, оқушысы, 11-сынып, «Dana High School», Жаңа-Қуат ауылы, 041611, Қазақстан Республикасы, e-mail: medinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-5296-6557>

Бармин Владислав Юрьевич, студент, «Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: vldslvbarmin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6226-5637>

Бауыржан Гүлнур Бауыржанқызы, PhD, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасы, «Физика-техникалық ғылымдар» институты, Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., 10008, Қазақстан Республикасы, e-mail: bauyrzhan.g.b@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8410-6640>

Бимұрат Жанар, PhD, Ассистент профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zh.bimurat@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Бимұрат Мұхтар, докторант, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bimurat.mukhtar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3639-2892>

Доктор Дидар Али Джамро, профессор, «Физика және электроника кафедрасы», Шах Абдул Латиф университеті, Хайрпур қ., 66020, Пәкістан, e-mail: deedar.jamro@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

Ержанов Қобыланды Канаевич, PhD, кафедрасының меңгерушісі, «Жалпы және теориялық физика» кафедрасы, Физика-техникалық ғылымдар институты, Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., 10008, Қазақстан Республикасы, e-mail: yerzhanov_kk@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0732-2080>

Есіркепова Айжан Өмірзаққызы, аға оқытушы, «Компьютерлік ғылымдар» кафедрасы, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 120014, Қазақстан Республикасы, e-mail: aizhan_kizi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3219-3022>

Жубанышева Гулдана Талатовна, магистрант, «Киберқауіпсіздік және криптология» кафедрасы, «Ақпараттық технологиялар факультеті», Өл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhubanysheva03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0620-4879>

Жумабеков Алмар Жумағалиевич, PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

Зубеда Бхатти, профессор, «Физика және электроника кафедрасы», Шах Абдул Латиф Университеті, Хайрпур, 66020, Пәкістан, e-mail: zubeda.bhatti@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-3765-7458>

Идрисова Тұнық Қайратқызы, ғылыми қызметкер, Research Group altAir nanolab, Алматы қ., 050043, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhamauovatk@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6352-0908>

Исаева Евгения Владимировна, филология ғылымдарының кандидаты, доцент, оқу-ғылыми орталығының жетекшісі, «Инженерлік білім берудегі жүйелік талдау және басқару» Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Ресей Федерацияс, 634050, Томск Алматы қ., e-mail: naiden@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4463-5812-8-000-000-00-00>

Испулов Нурлыбек Айдарғалиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Каракеев Таалайбек Тултемирович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, «Ақпараттық технологиялар және бағдарламалау» кафедрасы, Ж. Баласағұни атындағы Қырғыз ұлттық университеті, Бішкек Алматы қ., 720033, Қырғыз Республикасы, e-mail: tkarakeev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4346-0894>

Кисабекова Асемгуль Агибаевна, PhD, профессор ВШЕ, Ө. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: akisabekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

Кунсафина Айнұр, аға оқытушысы «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kunsafina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8756-7135>

Қаламбай Мухағали Токтарбайұлы, Негізгі ғылыми қызметкер, «Физика және Астрономия» мамандығы бойынша PhD, Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: M.Kalambay@hw.ac.uk, <https://orcid.org/0000-0002-0570-7270>

Құли Жансерік, докторант, Satbayev University, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: mpbszhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>

Ким Александр Викторович, «Integrity systems & solutions» ЖШС ғылыми қызметкері, Алматы қ., 050020, Қазақстан Республикасы, e-mail: is.solutions.kz@gmail, <https://orcid.org/0009-0008-3563-9994>

Құрманалиев Жәнібек, аға оқытушысы, аға ғылыми қызметкері және «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасы, «Advanced Research and Technology group» ЖШС, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ja_ku@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5431-0560>

Мәуей Бақытбек, аға оқытушысы, «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Advanced Research and Technology group» ЖШС Бас ғылыми қызметкері, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bahytbek01@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4301-1327>

Морзабаев Айдар, профессор, Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар кафедрасының ы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: morzabaev_ak@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5143-7286>

Мұратова Гүлжан Қылышқызы, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессордың міндетін атқарушы, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mugk1234@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

Назарова Нұргүл Ғарімжанқызы, докторант, Физика-техникалық ғылымдар институты, Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., 10008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nazarova080618@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2512-1688>

Накипова Саяжан Жеткеновна, докторант, «Ж. С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылуфизика» кафедрасы, «Физика-техникалық факультет»і, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000,

Қазақстан Республикасы; e-mail: sn88.06@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4999-8662>

Нургалиева Маржан Ильясовна, докторант, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mak4108@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2245-9711>

Нурумжанова Куляш Алдонгаровна, Педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Торайғыров университеті, Computer Science факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: 75646100@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7071-412X>

Омарова Гульден Сериковна, PhD, қауымдастырылған профессоры, «Физика және нанотехнологиялар кафедрасы», Физика- техникалық факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: guldenserikovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2900-2168>

Өтебай Айгерім Байнұрқызы, Ғылыми қызметкер, PhD, Қ. Жубанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aigerim.otebay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3041-547X>

Өтеген Гүлзат Жаңабайқызы, аға оқытушы, «Компьютерлік ғылымдар» кафедрасы, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 120014, Қазақстан Республикасы, e-mail: otegen.gulzat@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2490-9385>

Похолков Юрий Петрович, т.ғ.д., профессор, «Инженерлік білім берудегі жүйелік талдау және басқару» оқу-ғылыми орталығының жетекшісі, Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Томск қ., 634050, Ресей Федерациясы, e-mail: pyr@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1310-8227-8-000-000-00-00>

Сағындықов Бимұрат Жұмабекұлы, Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Қауымдастырылған профессор, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bimurat55@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Садықова Айгүл Елужанқызы, докторант, Физика- техникалық факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы, e-mail: sadikova-aigul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0148-3078>

Сақан Ақнұр Берікжанқызы, магистрант, кіші ғылыми қызметкер, «Электроника Және Астрофизика» кафедрасы, Бейсызықтық ақпараттық процестер зертханасы, Әл-Фараби атындағы қазақ Ұлттық университеті,

Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: sakan_aknur1@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8784-4470>

Сариева Динара Қайратқызы, PhD, «Химия және экология кафедрасы», Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071412, Қазақстан Республикасы, e-mail: tolkin-1001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1810-095X>

Сатыбалдин Амангельды Жарлыгасынович, химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Физика-техникалық» факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы, e-mail: satybaldin.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Сейтжан Райхан, магистр, аға оқытушы, «Химиялық технология және мұнайхимия» кафедрасы, академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы; e-mail: Raikhan.Seitzhan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

Сенькина Гульжан Ержановна, Педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Смоленск мемлекеттік университеті, Смоленск қ., 214000, Ресей Федерациясы, e-mail: gulzhan.senkina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7972-4025>

Сериков Медет Каликаримович, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Инженерия және ақпараттық технологиялар мектебі, Еуразия технологиялық университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: 7014547793@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6009-3216>

Тестов Дмитрий, Гамма-сәулеленуді бақылау бойынша эксперименттер бөлімінің аға ғылыми қызметкері, Физика және ядролық инженерия бойынша Хория Хулубей ұлттық ғылыми-зерттеу және даму институты, Бухарест-Мэгуреле, RO-077125, Румыния, e-mail: dmitry.testov@eli-np.ro, <https://orcid.org/0000-0003-3193-5311>

Тохтасын Мирас Муратұлы, бакалавр, «Ақпараттық технологиялар» факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: mirastoktasyn30@gmail.com, tokhtassyn_miras@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-8682-8262>

Улихина Юлия Викторовна, Магистр, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Үсіпов Нұржан Мұсайыпұлы, Ғылыми қызметкер, PhD, қауымдастырылған профессор м.а., «Электроника Және Астрофизика» кафедрасы, Әл-Фараби атындағы қазақ Ұлттық Университетінің, Бейсызықтық Ақпараттық Процестер Зертханасы, Алматы қ., 050040,

Қазақстан Республикасы е-mail: nurzhan.ussipov@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>

Хабсихова Дильназ Жансикқызы, магистрант, «Бизнес және цифрлық технологиялар» институты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, е-mail: dilnaz.zhansikh@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6759-3211>

Шаймерденова Кулжан Мейрамовна, техника ғылымдарының кандидаты, «Физика-техникалық» факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университеті, Қарағанды қ., 10000, Қазақстан Республикасы, е-mail: gulzhan.0106@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Адемау Амановна Алиакбарова, PhD студент, младший научный сотрудник, Research Group altAir nanolab, г. Алматы, 050043, Республика Казахстан, е-mail: ademau@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7428-8279>

Адилжанова Салтанат Альмуханбетовна, PhD, и.о. доцента кафедры «Кибербезопасность и криптология» факультета информационных технологий Казахского национального университета имени аль-Фараби. г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, е-mail: asaltanat81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1768-064X>

Айгумусова Асемгуль Бейсенбаевна, магистрант, специальность «Физика», Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, е-mail: asemgul.b.a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0278-2934>

Айтбаева Аружан Нурланқызы, студент кафедры Технической физики, институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 011000, Республика Казахстан, е-mail: aruzhanaitbaeva04@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-7880-2420>

Айтимова Ұлда Жолдасбековна, ассоциированный профессор, Институт «Бизнес и цифровые технологии», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, е-mail: zada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0803-7137>

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, исполняющий обязанности ассоциированного профессора кафедры «Компьютерные науки», Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана, 010000, е-mail: akerkegansaj1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Акылбекова Айман Дүйсембаевна, и.о. доцента кафедры Технической физики, институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, 011000, Республика Казахстан, е-mail: aiman88_88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1211-8877>

Алпысова Гульнур Кенжебековна, Ассоц. Профессор, PhD, Физико-технический факультет, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан, е-mail: gulnur-0909@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7164-2188>

Амирханова Гульшат Аманжоловна, PhD, по специальности «Компьютерные науки», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, факультет информационных технологий, г. Алматы, 050040,

Республика Казахстан, e-mail: gulshat.aa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3933-5476>

Асылхан Адильхан, Научный сотрудник, Докторант по специальности «Космическая техника и технологии», Алматинский университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: asilkhanadilkhan1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6428-2084>

Әкім Гүлім Берлібайқызы, студент, Физико-технический факультет, Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: gulim.berlibay@icloud.com, <https://orcid.org/0009-0002-8081-417X>

Бакранова Дина Игоревна, PhD, ассоциированный профессор, SDU University, Каскелен, 040900, Республика Казахстан, e-mail: dinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

Бакранова Медина Нурлановна, ученица 11 класса «Dana High School», село Жана-Қуат, 041611, Республика Казахстан, e-mail: medinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-5296-6557>

Бармин Владислав Юрьевич, студент, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: vldslvbarmin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6226-5637>

Бауыржан Гүлнур Бауыржановна, PhD, кафедра «Космической техники и технологий», Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет, г. Астана, 10008, Республика Казахстан, e-mail: bauyrzhan.g.b@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8410-6640>

Бимурат Жанар, PhD, Ассистент профессор, АО «Международный университет информационных технологий», г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: zh.bimurat@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Бимурат Мухтар, Докторант, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: bimurat.mukhtar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3639-2892>

Доктор Дидар Али Джамро, профессор, кафедра «Физики и электроника», Университет Шаха Абдула Латифа, г. Хайрпур, Пакистан, 66020 e-mail: deedar.jamro@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

Ержанов Кобыланды Канаевич, PhD, заведующий кафедрой, кафедра «Общей и теоретической физики», Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет, г. Астана, 10008, Республика Казахстан, e-mail: yerzhanov_kk@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0732-2080>

Есіркепова Айжан Өмірзаққызы, старший преподаватель, кафедра «Компьютерные науки», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, 120014, Республика Казахстан, e-mail: aizhan_kizi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3219-3022>

Жубанышева Гулдана Талатовна, магистрант кафедры «Кибербезопасность и криптология» факультета информационных технологий Казахского национального университета имени аль-Фараби. г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: zhubanysheva03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0620-4879>

Жумабеков Алмар Жумағалиевич, PhD, ассоциированный профессор (доцент), Факультет Computer Science, Торайғыров университет, 140008, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

Зубеда Бхатти, профессор, кафедра «Физика и электроника», Университет имени Шаха Абдула Латифа, Хайрпур, Пакистан, 66020, e-mail: zubeda.bhatti@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-3765-7458>

Идрисова Тунык Кайратовна, научный сотрудник, Research Group altAir nanolab, Алматы, 050043, Республика Казахстан, e-mail: zhamaouvatk@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6352-0908>

Исаева Евгения Владимировна, кандидат филологических наук, доцент учебно-научного центра «Системный анализ и управление в инженерном образовании», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, e-mail: naiden@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4463-5812>

Испулов Нурлыбек Айдарғалиевич, кандидат физико-математических наук, профессор, факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Каламбай Мухағали, Ведущий научный сотрудник, PhD по специальности «Физика и Астрономия», Ақтобе региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: M.Kalambay@hw.ac.uk, <https://orcid.org/0000-0002-0570-7270>

Каракеев Таалайбек Түлтемирович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра Информационных технологий и программирования, Кыргызский национальный университет имени Ж. Баласагына, г. Бишкек, 720033, Кыргызская Республика, e-mail: tkarakeev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4346-0894>

Кисабекова Асемгуль Агибаевна, PhD, ЖЖМ профессора, Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: akisabekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

Кули Жансерик, PhD студент, Satbayev University, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: mpbszhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>

Кунсафина Айну, Старший преподаватель кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: kunsafina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8756-7135>

Курманалиев Жанибек, Старший научный сотрудник ТОО «Advanced Research and Technology group» и Старший преподаватель кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ja_ku@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5431-0560>

Ким Александр Викторович, научный сотрудник ТОО «Integrity systems & solutions», г. Алматы, 050020, Республика Казахстан, e-mail: is.solutions.kz@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3563-9994>

Мауей Бакытбек, Старший преподаватель кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева и главный научный сотрудник ТОО «Advanced Research and Technology group», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: bahytbek01@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4301-1327>

Морзабаев Айдар, профессор кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: morzabaev_ak@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5143-7286>

Муратова Гульжан Клычовна, кандидат физико-математических наук, исполняющий обязанности ассоциированного профессора, Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана, 010000, e-mail: mugk1234@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

Назарова Нургуль Гаримжановна, докторант, Институт физико-технических наук, Евразийский национальный университет, г. Астана, 10008, Республика Казахстан, e-mail: nazarova080618@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2512-1688>

Накипова Саяжан Жеткеновна, докторант, кафедра «Инженерной теплофизики имени Ж. С. Акылбаева», «Физико-технический» факультет, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан; e-mail: sn88.06@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4999-8662>

Нургалиева Маржан Ильясовна, докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана, 010000, e-mail: mak4108@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2245-9711>

Нурумжанова Куляш Алдонгаровна, доктор педагогических наук, профессор, Торайғыров Университет, Факультет «Computer Science», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, 75646100@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7071-412X>

Омарова Гульден Сериковна, PhD, ассоциированный профессор, кафедра «Физики и нанотехнологий», Физико-технический факультет, Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е. А. Букетова, Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: guldenserikovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2900-2168>

Отебай Айгерим, Научный сотрудник, PhD, Ақтобе региональный университет имени К. Жубанова, Ақтобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: aigerim.otebay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3041-547X>

Өтеген Гүлзат Жаңабайқызы, старший преподаватель, кафедра «Компьютерные науки», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, 120014, Республика Казахстан, e-mail: otegen.gulzat@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2490-9385>

Похолков Юрий Петрович, доктор технических наук, профессор, руководитель учебно-научного центра «Системный анализ и управление в инженерном образовании», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, г. Томск, 634050, e-mail: pyp@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1310-8227>

Сагиндыков Бимурат Жумабекович, Кандидат физико-математических наук, Ассоциированный профессор, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: bimurat55@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Садықова Айгүл Елужанқызы, докторант, Физико-технический факультет, Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 100024, Республика Казахстан, e-mail: sadikova-aigul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0148-3078>

Сакан Акнур, Младший научный сотрудник, Магистрант по специальности «Физика и Астрономия», Кафедра электроники и астрофизики Казахского национального университета имени Аль-Фараби, Лаборатория нелинейных информационных процессов, Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: sakan_aknur1@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8784-4470>

Сариева Динара Кайратовна, докторант, по специальности Химия, кафедра «Химии и экологии», Университет Шакарим, г. Семей, 071412, Республика Казахстан, e-mail: tolkin-1001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1810-095X>

Сатыбалдин Амангельды Жарлыгасынович, кандидат химических наук, ассоц. профессор, Физико-технический факультет, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан; e-mail: satybaldin.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Сейтжан Райхан, магистр, старший преподаватель, кафедра «Химической технологии и нефтехимии», Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан, e-mail: Raikhan.Seitzhan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

Сенькина Гульжан Ержановна, доктор педагогических наук, профессор, Смоленский государственный университет, Российская федерация, г. Смоленск, 214000, e-mail: gulzhan.senkina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7972-4025>

Сериков Медет Каликаримович, магистр технических наук, старший преподаватель, школа инженерии и информационных технологий, Евразийский технологический университет, Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: 7014547793@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6009-3216>

Тестов Дмитрий, старший научный сотрудник отдела экспериментов по контролю гамма-излучения, Национальный институт исследований и разработок в области физики и ядерной инженерии имени Хория Хулубэя, Бухарест-Мэгуреле, RO-077125, Румыния, e-mail: dmitry.testov@eli-np.ro, <https://orcid.org/0000-0003-3193-5311>

Тохтасын Мирас Муратулы, бакалавр, по специальности «Наука о Данных», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, факультет информационных технологий, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: mirastoktasyn30@gmail.com, tokhtassyn_miras@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-8682-8262>

Улихина Юлия Викторовна, Магистр, старший преподаватель, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Усипов Нуржан, Научный сотрудник, PhD по специальности «Физика и Астрономия», и.о. доцента, Кафедра электроники и астрофизики Казахского национального университета имени Аль-Фараби, Лаборатория нелинейных информационных процессов, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: nurzhan.ussipov@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>

Хабсихова Дильназ Жансикхызы, магистрант, Институт «Бизнес и цифровые технологии», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: dilnaz.zhansikh@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6759-3211>

Шаймерденова Кулжан Мейрамовна, кандидат технических наук, Физико-технический факультет, Карагандинский исследовательский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганда, 10000, Республика Казахстан, e-mail: gulzhan.0106@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ademau Aliakbarova, PhD student, Junior Researcher, Research Group altAir nanolab, Almaty, 050043, Republic of Kazakhstan, e-mail: ademau@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7428-8279>

Adilzhanova Saltanat Almukhanbetovna, PhD, Acting Associate Professor of the Department of Cybersecurity and Cryptology, Faculty of Information Technology, Al-Farabi Kazakh National University. Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: asaltanat81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1768-064X>

Aigumusova Asemgul Beisenbaevna, master's student in «Physics» Toraighyrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asemgul.b.a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0278-2934>

Aitbayeva Aruzhan Nurlankyzy, Student of the Department of Technical Physics, Institute of Physical and Technical Sciences, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 011000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aruzhanaitbaeva04@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-7880-2420>

Aitimova Ulzada Zholdasbekovna, Associate Professor, Institute of «Business and Digital Technologies», Kazakh Agro Technical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: zada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0803-7137>

Akanova Akerke Saparovna, PhD, Acting Associate Professor, Chair «Computer Science» Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seifullin., Republic of Kazakhstan, Astana City, 010000, e-mail: akerkegansaj1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Akylbekova Aiman, Acting Associate Professor, Department of Technical Physics, Institute of Physical and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 011000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aiman88_88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1211-8877>

Alpysova, Gulnur Kenzhebekovna, Associate Professor, PhD, Faculty of Physics and Technology, Karagandy Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulnur-0909@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7164-2188>

Amangeldy Zharlygassynovich Satybaldin, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Faculty of Physics and Technology, Karagandy Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan; e-mail: satybaldin.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Amirkhanova Gulshat Amanzholovna, PhD in Computer Science, Faculty of Information Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulshat.aa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3933-5476>

Assilkhan Adilkhan, Researcher, PhD student in Space engineering and technology, Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: asilkhanadilkhan1995@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6428-2084>

Bakranova Dina, PhD, Associate Professor, SDU University, Kaskelen, Republic of Kazakhstan, 040900, e-mail: dinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0793-9905>

Bakranova Medina, 11th grade student, Dana High School, Zhana-Kuat village, Republic of Kazakhstan, e-mail: medinabakranova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-5296-6557>

Barmin Vladislav Yurievich, student, Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: vldslvbarmin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6226-5637>

Bauyrzhan Gulnur, PhD, Department of Space Engineering and Technology, Institute of Physical and Technical Sciences, Eurasian National University, Astana, 10008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bauyrzhan.g.b@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8410-6640>

Bimurat Muhtar, Doctoral student, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bimurat.mukhtar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3639-2892>

Bimurat Zhanar, PhD, Assistant Professor, JSC "International University of Information Technologies", Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zh.bimurat@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Zhubanysheva Guldana Talatovna, Master's student of the Department of Cybersecurity and Cryptology of the Faculty of Information Technology of the Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhubanysheva03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0620-4879>

Zhumabekov Almar Zhumagalievich, PhD, Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: almar89-89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2360-3747>

Zubeda Bhatti, Professor of department of Physics and electronics, Shah Abdul Latif University, Khairpur, 66020, Pakistan, e-mail: zubeda.bhatti@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-3765-7458>

Yerzhanov Kobylandy, PhD, Head of the Department of General and Theoretical Physics, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Physical and Technical Sciences, Eurasian National University, Astana, 10008, Republic of Kazakhstan, e-mail: yerzhanov_kk@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0732-2080>

Yessirkepova Aizhan Omirzakkyzy, senior lecturer, Department of Computer Science, Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, 120014, Republic of Kazakhstan, e-mail: aizhan_kizi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3219-3022>

Dr. Deedar Ali Jamro, Professor of department of Physics and electronics, Shah Abdul Latif University, Khairpur, Pakistan, 66020, e-mail: deedar.jamro@salu.edu.pk, <https://orcid.org/0000-0002-4082-2207>

Idrissova Tunyk, Researcher, Research Group altAir nanolab, Almaty, 050043, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhamauovatk@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6352-0908>

Isaeva Evgeniya Vladimirovna, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of Training and Research Center for System Analysis and Management in Engineering Education”, National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, 634050, Tomsk, e-mail: naiden@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4463-5812>

Ispulov Nurlybek Aidargalievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Toraighyrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurlybek_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4703-1413>

Kalambay Mukhagali, Lead researcher, PhD in Physics and Astronomy, K. Zhubanov Aktobe regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: M.Kalambay@hw.ac.uk, <https://orcid.org/0000-0002-0570-7270>

Karakeev Taalaibek Tultemirovich, doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Information Technology and Programming, Kyrgyz National University named after J. Balasagyn, Bishkek, 720033, Kyrgyz Republic, e-mail: tkarakeev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4346-0894>

Khabikhova Dilnaz Zhansikhkyzy, master’s degree student in «Information systems and IT solutions by industry», Institute of «Business and Digital Technologies», Kazakh Agro Technical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: dilnaz.zhansikh@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6759-3211>

Kissabekova Assemgul, PhD, NSS Professor, Margulan University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: akisabekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-6758>

Kuli Zhanserik, PhD student, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: mpbszhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>

Kunsafina Ainur, Senior Lecturer, Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kunsafina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8756-7135>

Kurmanaliev Zhanibek, Senior researcher «Advanced Research and Technology group» LLP and Senior Lecturer, Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ja_ku@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5431-0560>

Kim Alexandr Viktorovich, Researcher at Integrity systems & solutions LLP, Almaty, 050020, Republic of Kazakhstan, e-mail: is.solutions.kz@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3563-9994>

Morzabayev Aidar, Professor, Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: morzabaev_ak@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5143-7286>

Muratova Gulzhan Kylyshkyzy, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Acting Associate Professor Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana, 010000, e-mail: mugk1234@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

Nakipova Sayazhan Zhetkenovna, PhD Student, Department of Engineering Thermophysics named after Zh. S. Akyibaev, Faculty of Physics and Technology, Academician E. A. Buketov Karaganda Research University, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sn88.06@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4999-8662>

Nazarova Nurgul, doctoral student, Institute of Physical and Technical Sciences, Eurasian National University, Astana, 10008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazarova080618@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2512-1688>

Nurgalieva Marzhan Ilyasovna, Doctoral student of Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana, 010000, e-mail: mak4108@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2245-9711>

Nurumzhanova Kulyash Aldongarovna, Doctor of pedagogic sciences, professor «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: 75646100@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7071-412X>

Otebay Aigerim, Researcher, PhD, K. Zhubanov Aktobe regional University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aigerim.otebay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3041-547X>

Otegen Gulzat Zhanabaikyzy, senior lecturer, Department of Computer Science, Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, 120014, Republic of Kazakhstan, e-mail: otegen.gulzat@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2490-9385>

Sagindykov Bimurat, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bimurat55@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>

Sakan Aknur, Junior researcher, Master's student in Physics and Astronomy, Department of Electronics and Astrophysics, Al-Farabi Kazakh National University, Nonlinear Information Process Laboratory, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: sakan_aknur1@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-8784-4470>

Sarieva Dinara Kairatovna, PhD candidate in Chemistry, Department of Chemistry and Ecology, Shakarim University, Semey, 071412, Republic of Kazakhstan, e-mail: tolkin-1001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1810-095X>

Seitzhan Raikhan, Senior Lecturer, Department of Chemical Technology and Petrochemistry, Master's degree holder, Karagandy Research University named after Academician E. A. Buketov, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan; e-mail: Raikhan.Seitzhan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2362-6383>

Senkina Gulzhan Erzhonovna, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Smolensk State University, Russian federation, Smolensk, 214000, e-mail: gulzhan.senkina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7972-4025>

Serikov Medet, Master of Engineering Sciences, Senior Lecturer, School of Engineering and Information Technologies, Eurasian Technological University, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan, e-mail: 7014547793@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6009-3216>

Pokholkov Yury Petrovich, doctor of technical science, professor, head of Training and Research Center for System Analysis and Management in Engineering Education", National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Ave, 30, e-mail: pyp@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1310-8227>

Testov Dmitry, Senior researcher of the Department of Gamma Radiation Monitoring Experiments, Horia Hulubei National Institute for Research and Development in Physics and Nuclear Engineering, Bucharest-Magurele, RO-077125, Romania, e-mail: dmitry.testov@eli-np.ro, <https://orcid.org/0000-0003-3193-5311>

Tokhtassyn Miras Muratuly, Bachelor, in «Data Science», Faculty of Information Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: mirastoktasyn30@gmail.com, tokhtassyn_miras@live.kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-8682-8262>

Ulikhina Yuliya Viktorovna, Master, Senior Lecturer, Faculty of «Computer Science», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Ussipov Nurzhan, Researcher, PhD in Physics and Astronomy, acting associate professor, Department of Electronics and Astrophysics, Al-Farabi Kazakh National University, Nonlinear Information Process Laboratory, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurzhan.ussipov@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>

Shaymerdenova Kulzhan Meiramovna, Candidate of Technical Sciences, Faculty of Physics and Technology, Karagandy Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulzhan.0106@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9588-4886>

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА.
СЕРИЯ: ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

* В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.

* Количество соавторов одной статьи не более 5.

* Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 % (согласно решению редакционной коллегии).

* Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.

* Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.

* Двойное рецензирование (слепое) проводится конфиденциально, автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.

* Квитанция об оплате предоставляется после принятия статей к публикации. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге.

* докторантам НАО «Торайғыров университет» и иностранным авторам (без казахстанских соавторов) публикация в журнале бесплатно.

* Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирование 1 раз. Ответственность за содержание статьи несет автор.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления. Журнал формируется исходя из количества не более 30 статей в одном номере.

Периодичность издания журналов – 4 раза в год (ежеквартально).

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

Научный журнал «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» выпускается с периодичностью 4 раза в год в сетевом (электронном) формате в следующие установленные сроки выхода номеров журнала:

- первый номер выпускается до 30 марта текущего года;
- второй номер – до 30 июня;
- третий номер – до 30 сентября;
- четвертый номер – до 30 декабря.

Статью (электронную версию и квитанции об оплате) следует направлять на сайтах:

- <https://vestnik.tou.edu.kz/>
- <https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>

Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

Автор, который внес наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и обозначается «*».

Авторы из разных учебных заведений указываются цифрами ^{1,2}.

Для осуществления процедуры двойного рецензирования (слепого), авторам необходимо отправлять два варианта статьи: первый – с указанием личных данных, второй – без указания личных данных. При нарушении принципа слепого рецензирования статья не рассматривается.

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, в электронном варианте со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для Windows» (в форматах .doc, .docx, .rtf).

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы должен составлять **не менее 7 и не более 12 страниц печатного текста**. Поля страниц – 30 мм со всех сторон листа; Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).

Структура научной статьи включает название, аннотация, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список использованных источников (литературы) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Статья должна содержать:

1. **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2. **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3. **Инициалы** (имя, отчество) **Фамилия** автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (жирным шрифтом, по центру);

Автор, который внес наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и обозначается «*».

Авторы из разных учебных заведений указываются цифрами ^{1,2}.

4. **Аффилиация** (организация (место работы (учебы)), страна, город) – на казахском, русском и английском языках. Полные данные об аффилиации авторов представляются в конце журнала;

5. **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий);

6. **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (рекомендуемый объем аннотации на языке публикации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец);

7. **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

8. **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. *Объем не менее 10, не более чем 20 наименований* (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки), преимущественно за последние 10–15 лет.

В случае наличия в списке использованных источников работ на кириллице (на казахском и русском языках), необходимо представить список литературы в двух вариантах: 1) в оригинале (указываются источники на русском, казахском и английском либо немецком языках); 2) романизированный вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках), то есть транслитерация латинским алфавитом. см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) *Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Онлайн сервис Транслитерация по ГОСТу – <https://transliteration-online.ru/>

Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация либо англоязычный вариант при его наличии) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название при его наличии) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

• **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

• **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail** (номера телефонов для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 04.51.59

DOI xxxxxxxxxxxxxx

С. К. Антикеева*, С. К. Ксембаева

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХКППК ПК, 2001. – 152 с.
- 3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования :учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. –2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование: монография [Текст]. –Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовностибудущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс.на соиск.степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 –Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.
- 10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиСим. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie: suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ecologicheskomu obrazovaniu i vospitaniu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i ideal'y. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

- 8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.
- 9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.
- 10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева*, С. К. Ксембаева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель

әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeyeva*, S. K. Ksembaeva
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант Торайғыров университеті, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология», Торайғыров университет, Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology», Toraighyrov University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»
СЕРИЯ: ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА И
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ»**

Редакционная коллегия научных журналов НАО «Торайғыров университет» «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» и научно-популярного журнала «Краеведение» в своей профессиональной деятельности придерживаются принципов и норм Публикационной этики научных журналов НАО «Торайғыров университет». Публикационная этика разработана в соответствии с международной публикационной этической нормой Комитета по публикационной этике (COPE), этическими принципами публикации журналов Scopus (Elsevier), Кодекса академической честности НАО «Торайғыров университет».

Публикационная этика определяет нормы, принципы и стандарты этического поведения редакторов, рецензентов и авторов, меры по выявлению конфликтов интересов, неэтичного поведения, инструкции по изъятию (ретракции), исправлению и опровержению статьи.

Все участники процесса публикации, соблюдают принципы, нормы и стандарты публикационной этики.

Качество научного журнала обеспечивается исполнением принципов участников процесса публикации: равенства всех авторов, принцип конфиденциальности, однократные публикации, авторства рукописи, принцип оригинальности, принцип подтверждения источников, принцип объективности и своевременности рецензирования.

Права и обязанности членов редакционных коллегий научных журналов НАО «Торайғыров университет» «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана» и научно-популярного журнала «Краеведение» определены СО СМК 8.12.3-20 Управление научно-издательской деятельностью.

Права и обязанности рецензентов

Рецензенты научных журналов «Вестник Торайғыров университета», «Наука и техника Казахстана», научно-популярного журнала «Краеведение», обязаны руководствоваться принципом объективности.

Персональная критика в адрес автора(-ов) рукописи недопустима. Рецензент должен аргументировать свои замечания и обосновывать свое решение о принятии рукописи или о ее отклонении.

Национальность, религиозная принадлежность, политические или иные взгляды автора(-ов) не должны приниматься во внимание и учитываться в процессе рецензирования рукописи рецензентом(-ами).

Экспертная оценка, составленная рецензентом должна способствовать принятию решения редакцией о публикации и помогать автору улучшить рукопись.

Решение о принятии рукописи к публикации, возвращение работы автору на изменение или доработку, либо решение об отклонении от публикации принимается редколлекцией опираясь на результаты рецензирования.

Принцип своевременности рецензирования. Рецензент обязан предоставить рецензию в срок, определенный редакцией, но не позднее 2-4 недель с момента получения рукописи на рецензирование. Если рассмотрение статьи и подготовка рецензии в назначенные сроки невозможны, то рецензент должен незамедлительно уведомить об этом научного редактора.

Рецензент, который считает, что его квалификация не соответствует либо недостаточна для принятия решения при рецензировании предоставленной рукописи должен незамедлительно сообщить об этом научному редактору и отказаться от рецензирования рукописи.

Принцип конфиденциальности со стороны рецензента. Рукопись, предоставленная рецензенту на рецензирование должна рассматриваться как конфиденциальный материал. Рецензент имеет право демонстрировать ее и/или обсуждать с другими лицами только после получения письменного разрешения со стороны научного редактора журнала и/или автора(-ов).

Информация и идеи научной работы, полученные в ходе рецензирования и обеспечения публикационного процесса, не должны быть использованы рецензентом(-ами) для получения личной выгоды.

Принцип подтверждения источников. Рецензент должен указать научные работы, которые оказали бы влияние на исследовательские результаты рассматриваемой рукописи, но не были приведены автором(-ами). Также рецензент обязан обратить внимание научного редактора на значительное сходство или совпадение между рассматриваемой рукописью и ранее опубликованной работой, о котором ему известно.

Если у рецензента имеются достаточные основания полагать, что в рукописи содержится плагиат, некорректные заимствования, ложные и сфабрикованные материалы или результаты исследования, то он не должен допустить рукопись к публикации и проинформировать научного редактора журнала о выявленных нарушениях принципов, стандартов и норм публикационной и научной этики.

Права и обязанности авторов

Публикационная этика базируется на соблюдении принципов:

Однократность публикации. Автор(-ы) гарантируют что представленная в редакцию рукопись статьи не была представлена для рассмотрения в другие издания. Представление рукописи одновременно в нескольких журналах/изданиях неприемлемо и является грубым нарушением принципов, стандартов и норм публикационной этики.

Авторство рукописи. Лицо, которое внесло наибольший интеллектуальный вклад в подготовку рукописи (при двух и более соавторах), является автором-корреспондентом и указывается первым в списке авторов.

Для каждой статьи должен быть назначен автор для корреспонденции, который отвечает за подготовку финальной версии статьи, коммуникацию с редколлекцией, должен обеспечить включение всех участников исследования (при количестве авторов более одного), внесших в него достаточный вклад, в список авторов, а также получить одобрение окончательной версии рукописи от всех авторов для представления в редакцию для публикации. Все авторы, указанные в рукописи/статье, несут ответственность за содержание работы.

Принцип оригинальности. Автор(-ы) гарантирует, что результаты исследования, изложенные в рукописи, представляют собой оригинальную самостоятельную работу, и не содержат некорректных заимствований и плагиата, которые могут быть выявлены в процессе.

Авторы несут ответственность за публикацию статей с признаками неэтичного поведения, плагиата, самоплагиата, самоцитирования, фальсификации, фабрикация, искажения данных, ложного авторства, дублирования, конфликта интересов и обмана.

Принцип подтверждения источников. Автор(ы) обязуется правильно указывать научные и иные источники, которые он(и) использовал(и) в ходе исследования. В случае использования каких-либо частей чужих работ и/или заимствования утверждений другого автора(-ов) в рукописи должны быть указаны библиографические ссылки с указанием автора(-ов) первоисточника. Информация, полученная из сомнительных источников не должна использоваться при оформлении рукописи.

В случае, если у рецензентов, научного редактора, члена(-ов) редколлекции журнала возникают сомнения подлинности и достоверности результатов исследования, автор(-ы) должны предоставить дополнительные материалы для подтверждения результатов или фактов, приводимых в рукописи.

Исправление ошибок в процессе публикации. В случае выявления ошибок и неточностей в работе на любой стадии публикационного процесса авторы обязуются в срочном порядке сообщить об этом научному редактору и оказать помощь в устранении или исправлении ошибки для публикации

на сайте журнала соответствующей коррекции (Erratum или Corrigendum) с комментариями. В случае обнаружения грубых ошибок, которые невозможно исправить, автор(-ы) должен(-ны) отозвать рукопись/статью.

Принцип соблюдения публикационной этики. Авторы обязаны соблюдать этические нормы, связанные с критикой или замечаниями в отношении исследований, а также в отношении взаимодействия с редакцией по поводу рецензирования и публикации. Несоблюдение этических принципов авторами расценивается как грубое нарушение этики публикаций и дает основание для снятия рукописи с рецензирования и/или публикации.

Конфликт интересов

Конфликт интересов, по определению Комитета по публикационной этике (COPE), это конфликтные ситуации, в которых авторы, рецензенты или члены редколлекции имеют неявные интересы, способные повлиять на их суждения касательно публикуемого материала. Конфликт интересов появляется, когда имеются финансовые, личные или профессиональные условия, которые могут повлиять на научное суждение рецензента и членов редколлекции, и, как результат, на решение редколлекции относительно публикации рукописи.

Главный редактор, член редколлекции и рецензенты должны оповестить о потенциальном конфликте интересов, который может как-то повлиять на решение редакционной коллегии. Члены редколлекции должны отказаться от рассмотрения рукописи, если они состоят в каких-либо конкурентных отношениях, связанных с результатами исследования автора(-ов) рукописи, либо если существует иной конфликт интересов.

При подаче рукописи на рассмотрение в журнал, автор(-ы) заявляет о том, что в содержании рукописи указаны все источники финансирования исследования; также указывают, какие имеются коммерческие, финансовые, личные или профессиональные факторы, которые могли бы создать конфликт интересов в отношении поданной на рассмотрение рукописи. Автор(ы), в письме при наличии конфликта интересов, могут указать ученых, которые, по их мнению, не смогут объективно оценить их рукопись.

Рецензент не должен рассматривать рукописи, которые могут послужить причинами конфликта интересов, проистекающего из конкуренции, сотрудничества или других отношений с кем-либо из авторов, имеющих отношение к рукописи.

В случае наличия конфликта интересов с содержанием рукописи, ответственный секретарь должен известить об этом главного редактора, после чего рукопись передается другому рецензенту.

Существование конфликта интересов между участниками в процессе рассмотрения и рецензирования не значит, что рукопись будет отклонена.

Всем заинтересованным лицам необходимо, по мере возможности избегать возникновения конфликта интересов в любых вариациях на всех этапах публикации. В случае возникновения какого-либо конфликта интересов тот, кто обнаружил этот конфликт, должен незамедлительно оповестить об этом редакцию. То же самое касается любых других нарушений принципов, стандартов и норм публикационной и научной этики.

Неэтичное поведение

Неэтичным поведением считаются действия авторов, редакторов или издателя, в случае самостоятельного предоставления рецензии на собственные статьи, в случае договорного и ложного рецензирования, в условиях обращения к агентским услугам для публикации результатов научного исследования, лжеавторства, фальсификации и фабрикация результатов исследования, публикация недостоверных псевдо-научных текстов, передачи рукописи статей в другие издания без разрешения авторов, передачи материалов авторов третьим лицам, условия когда нарушены авторские права и принципы конфиденциальности редакционных процессов, в случае манипуляции с цитированием, плагиатом.

Теруге 01.12.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2025 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,50 Mb RAM

Шартты баспа табағы 10,01. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4491

Сдано в набор 01.12.2025 г. Подписано в печать 30.12.2025 г.

Электронное издание

7,50 Mb RAM

Усл.печ.л. 10,01. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4491

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

+7(718)267-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz

https://vestnik-pm.tou.edu.kz/