

Регистрационный
№ KZ71VPY00092356

ISSN 1561-4212
ISSN 2789-8210 (Online)
№ 2(104), июнь, 2024

Ғылыми журнал

Д. Серікбаев атындағы
Шығыс Қазақстан
техникалық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского
технического университета
им. Д. Серикбаева

Научный журнал

BULLETIN

of D. Serikbayev
East Kazakhstan
technical university

Scientific journal



1999 жылдан бастап шығады
Издается с 1999 года
Founded in 1999

—◆—
Жылына 4 рет шығады
Выходит 4 раза в год
Published 4 times a year

Өскемен, 2024
Усть-Каменогорск, 2024
Ust-Kamenogorsk, 2024

Бас редакторы

С.Ж. Рахметуллина

техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор

Редакция алқасы:

Бас редактордың орынбасары:

Н.Ф. Денисова, физика-математика ғылымдарының кандидаты,
Жауапты хатшы – О.Н. Николаенко

Алқа мүшелері:

У.Б. Абдикерова, Dr.PhD (Қазақстан)
Абрахам Атта Огву, профессор (Ұлыбритания)
Д.Л. Алонцева, ф.-м.ғ.к., профессор (Қазақстан)
Бешо Масахико, Dr.PhD, профессор (Жапония)
И.А. Бессмертный, т.ғ.д., профессор (Ресей)
Вальдемар Войчик, т.ғ.д. (Польша)
С.А. Выжва, г.ғ.д., профессор (Украина)
М.В. Дудкин, т.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Н.К. Ердыбаева, ф.-м.ғ.д. (Қазақстан)
В.А. Кескинов, т.ғ.к., доцент (Ресей)
Ю.В. Крак, т.ғ.д., профессор (Украина)
О.Н. Кузмина, Dr.PhD, қауымдастырылған профессор (Қазақстан)
Н.А. Куленова, т.ғ.к., профессор (Қазақстан)
В.И. Логанина, т.ғ.д., профессор (Ресей)
С.В. Мамяченков, т.ғ.д., профессор (Ресей)
Игнасио Менендес Пидаль де Наваскес, профессор (Испания)
М. Млынчак, Dr. hab, профессор (Польша)
А.Д. Погребняк, ф.-м.ғ.д., профессор (Украина)
Н.В. Прохоренкова, Dr.PhD (Қазақстан)
М.Д. Старостенков, ф.-м.ғ.д., (Ресей)
Я. Стрычек, Dr. hab, профессор (Польша)
А.С. Тулебекова (Қазақстан)
С.В. Хромых, г.-м.ғ.д. (Ресей)
Н.А. Чарыков, х.ғ.д., профессор (Ресей)
Ю.Н. Шапошник, т.ғ.д., профессор (Ресей)

© Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан
техникалық университеті, 2024

Главный редактор

С.Ж. Рахметуллина

кандидат технических наук, ассоциированный профессор

Редакционная коллегия:

Заместитель главного редактора:

Н.Ф. Денисова, кандидат физико-математических наук,
Ответственный секретарь – О.Н. Николаенко

Члены коллегии:

У.Б. Абдикерова, Dr.PhD (Казахстан)
Абрахам Атта Огву, профессор (Великобритания)
Д.Л. Алонцева, к.ф-м н., профессор (Казахстан)
Бешо Масахико, Dr.PhD, профессор (Япония)
И.А. Бессмертный, д.т.н., профессор (Россия)
Вальдемар Войчик, д.т.н. (Польша)
С.А. Выжва, д.г.н., профессор (Украина)
М.В. Дудкин, д.т.н., профессор (Казахстан)
Н.К. Ердыбаева, д.ф-м.н. (Казахстан)
В.А. Кескинов, к.т.н., доцент (Россия)
Ю.В. Крак, д.т.н., профессор (Украина)
О.Н. Кузьмина, доктор PhD, асс. профессор (Казахстан)
Н.А. Куленова, к.т.н., профессор (Казахстан)
В.И. Логанина, д.т.н., профессор (Россия)
С.В. Мамяченков, д.т.н., профессор (Россия)
Игнасио Менендес Пидаль де Наваскес, профессор (Испания)
М. Млынчак, Dr. hab, профессор (Польша)
А.Д. Погребняк, д.ф.м.н., профессор (Украина)
Н.В. Прохоренкова, Dr.PhD (Казахстан)
М.Д. Старостенков, д.ф-м.н., (Россия)
Я. Стрычек, Dr. hab, профессор (Польша)
А.С. Тулебекова (Казахстан)
С.В. Хромых, д.г.-м.н. (Россия)
Н.А. Чарыков, д.х.н., профессор (Россия)
Ю.Н. Шапошник, д.т.н., профессор (Россия)

© Восточно-Казахстанский технический
университет им. Д. Серикбаева, 2024

Chief Editor

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor –

S. Rakhmetullina

Editorial Team:

Deputy Chief Editor

Natalya Denissova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Executive Secretary – Oksana Nikolaenko

Members of Team:

Uliya Abdikerova, Dr. PhD (Kazakhstan)
Abraham Atta Ogwu, professor (Great Britain)
Darya Alontseva, Candidate of Phys.-math. sciences, professor (Kazakhstan)
Masahiko Bessho, Dr.PhD, professor (Japan)
Igor Bessmertnyy, Dr. techn. sciences, professor (Russia)
Waldemar Wojcik, Dr. techn. sciences, professor (Poland)
Sergey Vyzhva, Geophysics Dr. geolog. sciences, professor (Ukraine)
Mikhail Dudkin, Dr. techn. sciences, Professor (Kazakhstan)
Nazgul Yerdybayeva, Dr. phys.-math. sciences, professor (Kazakhstan)
Viktor Keskinov, PhD in Chemistry sciences (Russia)
Yuri Krak, Dr. techn. sciences, Professor (Ukraine)
Oxana Kuzmina, Dr.PhD, Assistant professor (Kazakhstan)
Natalya Kulenova, Cand. techn. sciences, Professor (Kazakhstan)
Valentina Loganina, Dr. techn. sciences, Professor (Russia)
Sergey Myamyachenkov, Dr. techn. sciences (Russia)
Ignacio Menéndez-Pidal de Navascués, Professor (Spain)
Marek Mlynček, Dr. hab, professor (Poland)
Aleksandr Pogrebnyak, Dr. phys.-math. sciences, professor (Ukraine)
Nadezhda Prokhorenkova, Dr.PhD (Kazakhstan)
Mikhail Starostenkov, Dr. phys.-math. sciences, professor (Russia)
Jarosław Strycek, Dr. hab, professor (Poland)
Assel Tulebekova (Kazakhstan)
Sergey Khromykh, Dr. geolog.-mineral. sciences (Russia)
Nikolay Charykov, Dr. of Chemistry (Russia)
Yuri Shaposhnik, Dr. techn. sciences, professor (Russia)



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

МАТЕРИАЛТАНУ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
MATERIAL SCIENCE

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_5
MFTAA 67.09.33

**А.М. Аскербекова¹, Д.С. Дюсембинов¹, Н.К. Скрипникова²,
А.Д. Алтынбекова¹, Г.М. Изтлеуов³**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

*E-mail: arai_09.91@mail.ru**

E-mail: dusembinov@mail.ru

E-mail: kleo-14@mail.ru

²Томск мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Томск қ., Ресей

E-mail: nks2003@mail.ru

³М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

E-mail: gani5@mail.ru

КЕШЕНДІ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ҚОСПАНЫҢ КӨБІКТІ БЕТОН ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУ САПАСЫНА ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДОБАВКИ НА КАЧЕСТВО ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

THE EFFECT OF A COMPLEX MODIFIED ADDITIVE ON THE QUALITY OF THE PRODUCTION OF FOAM CONCRETE PRODUCTS

Аңдатпа. Құрылыс саласының қарқынды дамуы және құрылыс материалдарының жаңа түрлеріне үлкен сұранысты ескере отырып, мақалада авторлар бетонның құрылымына жағымды әсер ететін пластификаторлық әсері бар кешенді модификацияланған қоспаны ұсынды. Мақалада өртүрлі пайыздық мөлшердегі кешенді модификацияланған қоспаның цемент қамырының ұстасу мерзіміне әсерін анықтау үшін жасалған зертханалық тәжірибе нәтижелері көрсетілген. Сондай-ақ жұмыста цемент қамырының ұстасу мерзімін анықтау әдістемесі, өртүрлі пайыздық көлемдегі кешенді модификацияланған қоспаны дайындау технологиясы баяндалған. Бұл мақалада жоспарланған құрамды қоспа алу үшін этил спирт өндірісінің қалдығы (спирттік кейінгі барда), қатуды тездеткіш (гипс) және сілті (каустикалық сода) қолданылды. Тәжірибе нәтижесінде натрий қосылысы спирттік кейінгі барданы бейтараптандырып, гипспен әрекеттескенде цемент қамырының физикалық-химиялық қасиеттеріне әсер етіп, синергетикалық эффект тудыратындығы анықталды. Қоспаның пластификаторлық әрекеті арқасында ұстасу мерзімінің басы мен соңы арасындағы аралық қысқарып, бұйым жасау процесінің қарқындылығы күшейді. Кешенді модификацияланған қоспа цемент қамырының беріктігі мен төзімділігі жоғарылады. Модификацияланған қоспаны қосқанда ұстасудың басталуы 1 сағат 29 минуттан 30 минутқа дейін және ұстасудың соңы 4 сағат 55 минуттан 2 сағат 15 минутқа дейін азайып, ең жақсы нәтиже көрсетті. Сонымен қатар, бақылаумен салыстырғанда қоспалары бар сынамалардағы судың мөлшері 35 %-ға азайған.

Түйін сөздер: цемент қамыры, спирттік кейінгі барда, модификацияланған қоспа, ұстасу мерзімі.

Аннотация. Учитывая быстрое развитие строительной отрасли и большой спрос на новые виды строительных материалов, в статье авторами было предложено комплексная модифицированная добавка с пластифицирующим действием, которое благоприятно

влияет на структуру бетона. В статье представлены результаты лабораторного эксперимента, проведенного для определения влияния комплексной модифицированной смеси в различных процентах на срок схватывания цементного теста. Также в работе описана методика определения сроков схватывания цементного теста, приготовление комплексной модифицированной смеси в различных процентных объемах. В данной статье для получения планируемой составной смеси применялся отход производства этилового спирта (послеспиртовая барда), ускоритель затвердевания (гипс) и щелочь (каустическая сода). В результате эксперимента было обнаружено, что соединение натрия нейтрализует послеспиртовую барду, вызывая синергетический эффект при взаимодействии с гипсом. Благодаря пластифицирующему действию смеси сократился интервал между началом и концом срока схватывания и усилилась интенсивность процесса изготовления изделия. Добавление модифицированной добавки дало наилучшие результаты, поскольку оно уменьшило время начального схватывания с (1 ч 29 мин) до (30 мин) и время окончательного схватывания с (4 ч 55 мин) до (2 ч 15 мин). Кроме того, по сравнению с контролем количество воды в образцах добавками уменьшилось на 35 %.

Ключевые слова: цементное тесто, послеспиртовая барда, модифицирующая добавка, сроки схватывания.

Abstract. Considering the rapid development of the construction industry and the great demand for new types of building materials, in the article the authors proposed a complex modified additive with a plasticizing effect, which favorably affects the structure of concrete. The article presents the results of a laboratory experiment conducted to determine the effect of a complex modified mixture in various percentages on the setting time of cement paste. The work also describes a method for determining the setting time of cement paste, the preparation of a complex modified mixture in various percentage volumes. In this article, waste from the production of ethyl alcohol (post-alcohol bard), solidification accelerator (gypsum) and alkali (caustic soda) were used to obtain the planned composite mixture. As a result of the experiment, it was found that the sodium compound neutralizes the post-alcohol bard, causing a synergistic effect when interacting with gypsum. Due to the plasticizing effect of the mixture, the interval between the beginning and end of the setting period was reduced and the intensity of the manufacturing process of the product increased. The addition of the modified additive gave the best results as it reduced the initial setting time from (1 hour 29 minutes) to (30 minutes) and the final setting time from (4 hours 55 minutes) to (2 hours 15 minutes). In addition, compared with the control, the amount of water in the samples with additives decreased by 35%.

Keywords: cement paste, post-alcohol bard, modified additive, setting time.

Кіріспе. Қазіргі таңда Президентіміз Қасым-Жомарт Кемелұлы Тоқаевтың жолдауымен қатар, тұрғын үй-коммуналдық инфрақұрылымды дамытудың 2023 жылдан 2029 жылға дейінгі тұжырымдамасын іске асыруда халықты сапалы тұрғын үймен қамтамасыз ету басты қадам болып табылады [1-2]. Осы мақсатқа жету үшін тұрғын үй бағдарламалары негізінде жоғары сапалы және бағасы жағынан қолжетімді ғимараттарды тұрғызу, сондай-ақ салынатын баспананың қоршаған орта әсеріне төзімділігін арттыратын шараларды қолдануымыз қажет [3]. Себебі заманауи құрылыстың негізі ретінде энергия шығындарын азайтатын, өмір сүру ортасының жайлылығын, қоршаған орта үшін қатерсіз және өрт қауіпсіздігін қамтамасыз ететін құрылыс материалдары мен бұйымдарын пайдалану қарастырылып жатыр. Осындай құрылыс саласындағы оң өзгерістер өндірістік қалдықтарды қайта пайдаланып, жана қасиеттерге ие құрылыс бұйымдары мен материалдарын шығаруға әсер етуде [4].

Соның ішінде бүкіл құрылыстың негізі болып саналатын бетон материалын заманауи талаптарға сай жетілдіру, оның құрылымы мен қасиеттерін әртүрлі қоспалар қосып модификациялау, құрылыстың әрбір сатысында жасанды тасты пайдалана алу мүмкіндігін арттыру, қазіргі бетон технологиясының негізі болып саналады.

Заманауи бетон алу технологиясы бойынша сапалы жасанды тас жоғары дисперстілікке ие болып, бұдырлығы аз және құрылымы тұрақты болуы шарт [5]. Бетон – композициялық құрылыс материалы болғандықтан оның құрамының сапасын химиялық қоспалармен қатар, жергілікті компоненттерді қосып та жақсартуға болады және әртүрлі

қоспаларды қосу арқылы бұйымның төзімділігі, эксплуатациялық беріктігі мен экологиялық қауіпсіздігі артады [6, 7].

Осындай жоғары қасиеттерге ие бетон түрлерінің арасында жылу оқшаулағыш көбікті бетонның құрылыс саласында орны ерекше. Ол беріктігі жоғары, аязға төзімді, су сіңіргіштік және жылу өткізгіштік қасиеттерге ие, ұялы құрылымды құрылыс материалы болып табылады. Ол цемент пен судан жасалған қоспаны арнайы тұрақты көбікпен араластырып, қоспа қатайғанда пайда болатындығы белгілі.

Көбікті бетондарға қосатын көбікті дайындау үшін канифольды сабынды казеинді желіммен араластырады немесе алюмокуіртгінафтендер мен гидролизденген малдың қанынан алынатын препараттар пайдаланылады [8-9].

Жылу оқшаулағыш көбікті бетон аз қабатты ғимараттарды салуда, сондай-ақ шұғыл континенталды климаты бар өңірлерде құрылыс кезінде пайдалануға тиімді.

Жалпы көбікті бетон отқа төзімді, жоғары жылу, дыбыс және бу оқшаулағыш қасиеттерге ие материал ғана емес, сондай-ақ жасалу технологиясында өндірістік қалдықтарды пайдаланып, шикізатты аз қажет ететіндіктен, оның эффективтілігін арттырудың жолдары ғалымдардың қызығушылығын тудырып отыр [10-11]. Себебі көбікті бетонның беріктік сипаттамаларын, химиялық және физикалық агрессивті факторлардың әсеріне қарсы төзімділігін мен көбікті бетонды даярлауда әртүрлі байланыстырғыштарды қолдану арнайы жоспарланған кешенді модификацияланған қоспаны алуға мүмкіндік береді.

Көбікті бетон өндіруде тұрақты және серпімді көбік алу маңызды үрдіс болып саналса, осы процесті оңайлату, қоспаларды қосу арқылы көбіктің шөгуін төмендету, оны жетілдіру белгілі құрылымды көбікті бетон алуға мүмкіндік туғызады.

Құрылыс саласындағы жұмыстар қарқынын жылдамдату мақсатында суды азайтатын суперпластификатор, ұстасуды үдететін және қатаю тездететін қоспаларды бетонға қосып, арнайы жоспарланған кешенді модификацияланған қоспаны алу жолдарын қарастыру керек.

Біз зерттеу жұмысында өнеркәсіп қалдықтары негізіндегі автоклавсыз қататын жылу оқшаулағыш көбікті бетондар алу үшін оған қосылатын қоспалардан сынамалар дайындап, олардың оңтайлы мөлшерін цемент қамырының ұстасу мерзіміне әсерін анықтауымыз қажет.

Зерттеу мақсаты – әртүрлі пайыздық көлемдегі кешенді модификацияланған қоспаны дайындап, оның цемент қамырының ұстасу мерзіміне әсерін анықтау.

Жұмыстың міндеті – оңтайлы мөлшердегі кешенді модификацияланған қоспаның сынамаларын дайындап, алынған сынамалардың цемент қамырының ұстасу мерзіміне әсерін анықтау және олардың ішінен тиімдісін алу.

Мұндағы ұстасуды үдететін қоспа (гипс) – бетон қоспасының құрамында ұстасу мерзімін жылдамдатып, бұйымның беріктігі мен техникалық қасиеттерін жақсартады, ал оны пластификаторлармен қолданған жағдайда цемент қамырының ұстасу мерзімін бақылауда ұстап, материалдың иілгіштігін жоғарылатады [12-14].

Материалдар мен зерттеу әдістері. Жұмыстың мақсаты мен міндетін орындап, зерттеуді жүргізу үшін талаптар мен стандарттарға сай келетін құрылыс материалдары қолданылды. Олар:

1. Цемент. Байланыстырғыш зат ретінде М400 маркалы портландцемент.
2. Модификацияланған қоспаның негізгі компоненті түрінде спирттік кейінгі барда (этил спирт қалдығы) 2,5 %, 5,0 %, 7,5 %, 10 %, еселік 2,5 % мөлшерде қолданылды. Ол «Талғар спирт зауыты» АҚ-дан сұйық күйде жеткізіледі.
3. Ұстасуды үдеткіш – цементтің салмағынан 1 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 %, еселік 0,5 % мөлшерінде қатаю процесін тездететін гипс (ғаныш).
4. «Неопласт, арт.55» синтетикалық көбіктендіргіш. ТШ 2381-008-90275031-2011.

5. Каустикалық сода (NaOH). Спирттік кейінгі барда мөлшерінің 5 % құрайтын каустикалық сода.

Ал пластификатор қоспасы цементтің қату кинетикасына, ұстасу мерзіміне, суды азайту арқылы бетонның суға және суыққа төзімділігі, беріктігінің артуына әсер етеді. Сондықтан біз аталған қоспалардың ерекшелігін ескеріп, зерттеу жұмысында кешенді модификациялық қоспа құрамына гипс (қатаюды тездеткіш), этил спирт өндірісінің қалдығы (спирттік кейінгі барда) және сілті (каустикалық сода, NaOH) қолдандық. Арзан шикізат көзі болып табылатын спирттік кейінгі барда қышқыл орта болатындықтан, оны каустикалық содамен (NaOH) бірге пайдаланып бейтараптандырамыз. Гипс, сілті (натрий гидроксиді NaOH) мен пластификатор (спирттік кейінгі барда) бірге қолдану шығарылатын бұйымның физикалық-химиялық қасиетін жақсартатыны белгілі.

Зертханалық жағдайда кешенді модификацияланған қоспаның цемент қамырының ұстасу мерзіміне әсерін анықтау жұмысы екі кезеңде жүргізілді. Жұмыстың бірінші сатысында МемСТ 30744-2001 «Цементтер. Полифракциялық құмды қолдану арқылы сынау әдістері» талаптарына сәйкес модификацияланған қоспаны алу үшін қосылатын этил спирт өндірісінің қалдығы (спирттік кейінгі барда), қатуды тездеткіш (гипс) және сілтінің (каустикалық сода) жеке түрде стандартты консистенциялы қамырдың ұстасу мерзіміне (ұстасудың басталуы мен аяқталуы) қалай әсер ететіндігін зерттедік. Цемент қамырының қалыпты қоюлығын, бастапқы және соңғы ұстасу мерзімін 1-суретте көрсетілген Вика аспабымен анықтадық. Ал 1-кестеде тәжірибеде қолданылатын қоспалардың мөлшерлері көрсетілген.



1-сурет. Вика құрылғысында модификацияланған қоспаның әртүрлі құрамдас бөліктерінің сынақ үлгілері

1-кесте. Сыналатын үлгілердің сандық сипаттамалары

№	Сынамалар	Цемент, г	Гипс, г	Спирттік кейінгі барда, г	Каустикалық сода, г	Су, г
1	Үлгі 1 (Бақылау)	350	-	-	-	103,5
2	Үлгі 2 (ғаныш)	346,5	3,5	-	-	109,5
3	Үлгі 3 (спирттік кейінгі барда)	350	-	8,75	-	107
4	Үлгі 4 (каустикалық сода (NaOH))	350	-	-	0,44	109
5	Үлгі 5 (NaOH қосылмаған модификацияланған қоспа)	346,5	3,5	8,75	0,44	105

Зерттеу жұмысының екінші кезеңінде әртүрлі пайыздық мөлшерде алынған этил спирт өндірісінің қалдығы (спирттік кейінгі барда), гипсті цементпен араластырып, оған пеногенератордан өткен көбік қосылды. Алынған модификацияланған қоспаның үлгілері 2-суретте бейнеленген.



2-сурет. Модификацияланған қоспаның үлгілері

Цемент қамырының ұстасу мерзімін анықтау – бетон қоспасының ең маңызды параметрлерінің бірі болып табылады, өйткені бетонның одан әрі пайдалану қасиеттері оларға байланысты. Бұл әдіс цемент пен судың әрекеттесуінің нәтижесінде цемент қамырының қоюланып, ұстасуын тудырады. Әдебиеттерден ұстасу барысында цемент қамыры иілгіштігі мен өңдеу мүмкіндігінен айырылатындығын және ұстасудың басталуы 45 минуттан ерте емес, аяқталуы – цемент сумен араласқан сәттен бастап 10 сағаттан кешіктірілмей болатындығы белгілі [4].

Ұстасу мерзімін зерттеуде портландцементтен, қоспадан және судан тұратын алты араластыру коэффициентін (17 сынама) пайдалана отырып жүргізілді. Тек цемент, көбік пен судан тұратын сынама (үлгі 1) эталондық үлгі, яғни бақылау деп аталды, ал басқа үлгілерде қоспаның үлесі 2-кестеде көрсетілгендей өзгеріп отырды.

Зерттеу жұмысының барысында біз әрбір үлгінің компоненттері таразыда өлшеп, араластырғыш құрылғыда араластырып, Вика аспабы көмегімен сынама ұстасуының басталуы мен аяқталуы анықталды. Вика аспабы көмегімен сынақты өткізу үшін қалыпты консистенцияға қажетті су көлемін пайдалана отырып, белгілі бір тәртіпке сәйкес цемент қамыры дайындалған болуы керек [15].

Бақылау үлгісінде (100 % портландцемент, яғни ол 350 г және су мөлшері 105 г шамасында) болды. Тәжірибеге қажетті шикізат мөлшері 2-кестеде көрсетілген.

2-кесте. Сыналатын заттардың құрамы мен сандық сипаттамалары

№	Сынамалар	Цемент, г	Гипс, г	Спирттік кейінгі барда, г	Көбіктендіргіш, г	Су, г
1	Үлгі 1 (Бақылау)	350	-	-	1,5	103,5
2	Үлгі 2-1	346,5	3,5	8,75	1,5	101,3202
	Үлгі 2-2	346,5	3,5	17,5	1,5	99,8207
	Үлгі 2-3	346,5	3,5	26,25	1,5	87,1204
	Үлгі 2-4	346,5	3,5	35	1,5	85,536

2-кестенің соңы

3	Үлгі 3-1	344,75	5,25	8,75	1,5	101,3202
	Үлгі 3-2	344,75	5,25	17,5	1,5	99,8207
	Үлгі 3-3	344,75	5,25	26,25	1,5	87,1204
	Үлгі 3-4	344,75	5,25	35	1,5	85,536
4	Үлгі 4-1	343	7	8,75	1,5	101,3202
	Үлгі 4-2	343	7	17,5	1,5	99,8207
	Үлгі 4-3	343	7	26,25	1,5	87,1204
	Үлгі 4-4	343	7	35	1,5	85,536
5	Үлгі 5-1	341,25	8,75	8,75	1,5	101,3202
	Үлгі 5-2	341,25	8,75	17,5	1,5	99,8207
	Үлгі 5-3	341,25	8,75	26,25	1,5	87,1204
	Үлгі 5-4	341,25	8,75	35	1,5	85,536

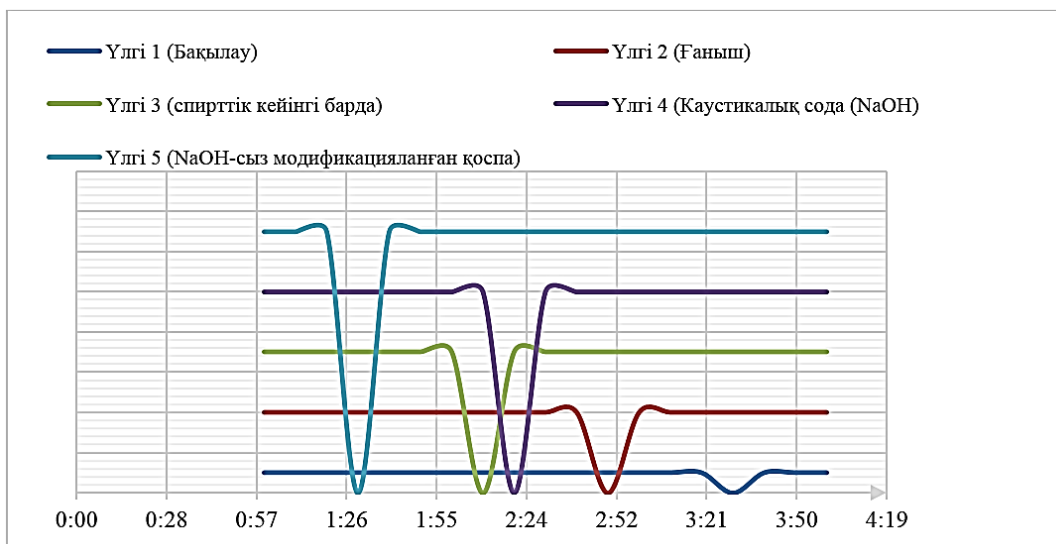
Нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеу жұмысының бірінші кезеңінде 5 сынама дайындалып, олардың әрқайсысында ұстасудың басталу мерзімі анықталды және алынған нәтижелер диаграммада көрсетілді.

3-суреттегі тәжірибе нәтижелері бойынша бақылаумен салыстырғанда модификацияланған қоспаның әрбір компонентінде ұстасу мерзімінің басталуы әртүрлі болған. Каустикалық сода қосылмаған кешенді модификацияланған қоспада цемент қамырында ұстасу мерзімінің басталуы 1 сағат 29 минут болып, басқа үлгілерге қарағанда ең жақсы көрсеткіш көрсеткен. Бұл ұстасу мерзімінің ерте басталғандығын көрсетеді. Ал спирттік кейінгі барда қосылған үлгіде 2 сағат 6 минут, ал тек каустикалық сода қосылған үлгіде 2 сағат 14 минутты көрсетті. Ұстасу мерзімінің басталуы гипс қосылған сынамада 2 сағат 50 минут болса, бақылауда 3 сағат 22 минут болды. Қалыпты жағдайда ешқандай қоспасыз цемент қамырында ұстасу мерзімі 3 сағат 22 минутта басталып, кешенді модификацияланған қоспасы бар сынамаға (1 сағат 29 минут) қарағанда біршама ұзақ мерзімді қамтыған. Цемент қамырына қосылатын қоспалардың әрқайсысы белгілі бір рөл атқаратынын ескерсек, спирттік кейінгі барда мен гипсті жеке-жеке қолданудың орнына, бірге модификацияланған қоспа құрамында пайдалану жоғары тиімділікті көрсететіп, ұстасу мерзімін үдететіндігін байқауға болады [16]. Бұл тәжірибе бойынша ұстасу мерзімін төмендету құрылыстың уақытын қысқартып, уақыт мен энергияны үнемдеуге мүмкіндік туғызады.

Тәжірибенің екінші кезеңінде 17 сынаманың нәтижелері 4-суретте бейнеленген және ондағы диаграммада бірінші шың (пик) ұстасудың басталуын, ал екіншісі аяқталуын көрсетіп тұр. Салыстырылып жатқан құрамдардың үлгілері төменнен жоғарыға қарай өсу тәртібінде орналасса, салыстыру жүргізіліп отырған қоспасыз бақылау нұсқасы үлгі 1-ге сәйкес келіп отыр.

Тәжірибеде қолданатын қоспаларды таңдау, олардың әсер ету тетігі арқылы анықталды. Спирттік кейінгі барда гидрофильді және гидрофобты қасиеттерге ие. Сонымен қоса спирттік кейінгі барданың пластификаторлық әсері болғандықтан, ол су-цемент қатынасын төмендетеді, бетон қоспасының қозғалғыштығын сақтайды, құрылымдарға (конструкция) беріктік пен төзімділік беріп, цемент қамырының қолайлы жайылуын тудырады.

Бұл қоспа цемент бөлшектерінің беттерін дымқылдатып, су-цемент қатынасының төмендеуіне алып келеді. Цемент массасының гидратациясы, ұстасуы және қатаюу процесстеріне әсер ету механизмдері жақсы үйлесетін кешенді қоспаны бірлесіп қолдану қоспаның әрбір ингредиентінің әсерін өзара толықтырады және күшейтеді.



3-сурет. Модификацияланған қоспадағы әртүрлі компоненттердің ұстасу мерзімінің нәтижелері

Кешенді модификациялық қоспаның цемент қамырының ұстасу мерзіміне әсері көп жағдайда қосындылардың дозасына байланысты екенін атап өткен дұрыс. Зерттелетін композициялардың әсері олардың құрамында дәстүрлі түрде цемент қамырын қатайтқышы болып табылатын гипстың және гидратация кезінде судың енуіне жол бермейтін цемент бөлшектерінде қабықшаларды құрайтын қоспалардың болуына байланысты болуы мүмкін.

4-суреттегі зерттеу нәтижелерінен ұстасудың басталуы ғана емес, аяқталуыда қысқарып келе жатқанын көруге болады. Кешенді қоспа жүйеге қатты әсер етіп, мөлшерді көбейткенде қоспасы жоқ бақылаумен (үлгі 1) салыстырғанда цементтің ұстасу үрдісі күрт қысқарады және 3 және 7 тәулікте гидратацияның ерте мерзімінде цементтің ұстасуын күшейтеді.

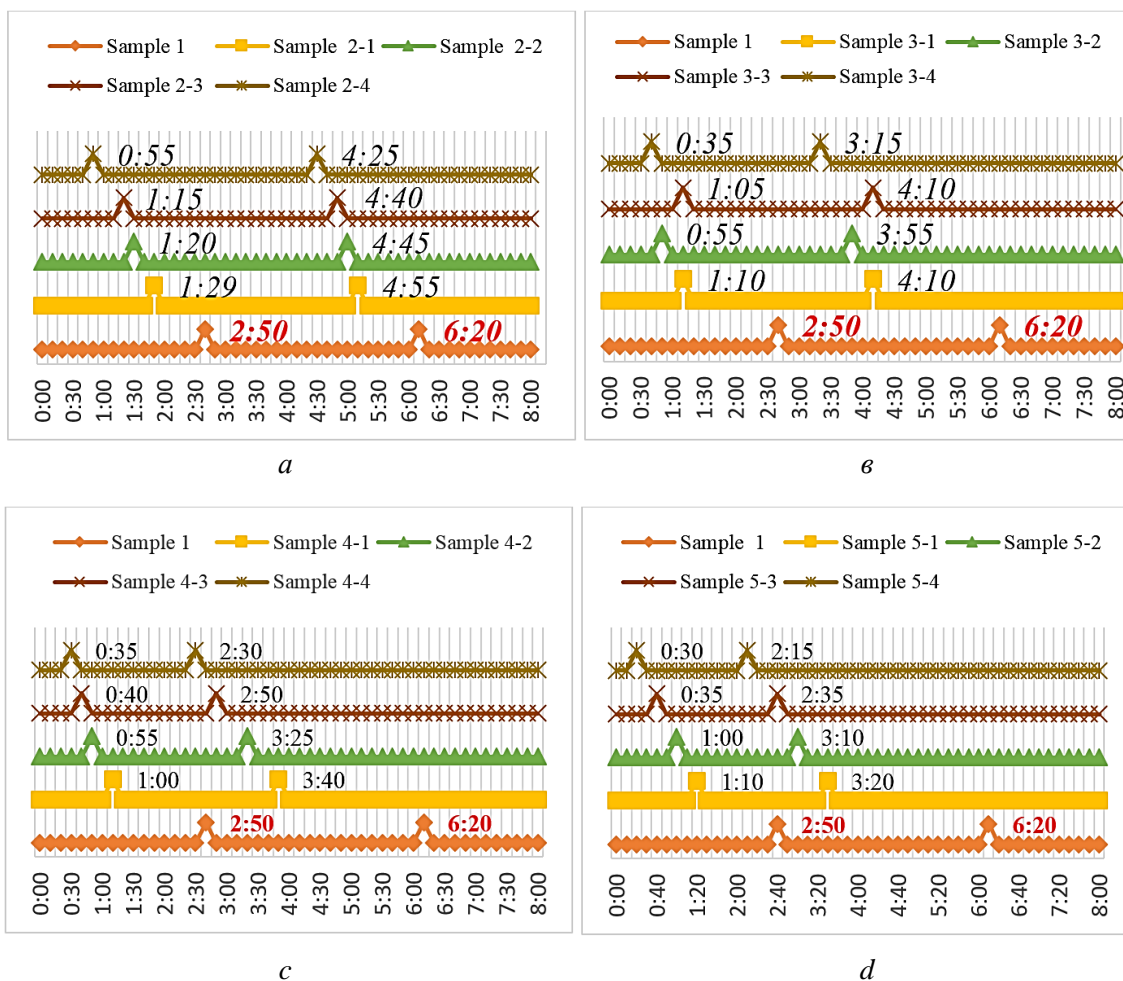
Диаграмма бойынша, қоспа қосылмаған бақылауда (үлгі 1) ұстасу мерзімінің басталуы 2 сағат 50 минутта болса, ұстасудың аяқталуы 6 сағат 20 минутты көрсеткен, ал үлгі 2-1-де ұстасудың басталуы 1 сағат 29 минутты, ұстасудың аяқталуы 4 сағат 55 минутта болды. Қоспа қосылған үлгі 2-1-де бақылауға қарағанда ұстасудың басталуы 1 сағат 21 минут ерте басталса, ұстасудың аяқталуы 1 сағат 25 минутқа қысқарған.

Үлгі 2-1, үлгі 2-2, үлгі 2-3 және үлгі 2-4-тің арасынан ең жақсы нәтиже цемент қамырына 1,0 % гипс (стандартты цемент салмағы бойынша) пен 10 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосылған үлгі 2-4-де ұстасудың басталуы – 55 минут, аяқталуы - 4 сағат 25 минутты құраған.

Үлгі 3-1. Цемент қамырына 1,5 % гипс (стандартты цементтің салмағы бойынша) және 2,5 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосқанда, ұстасудың басталуы 1 сағат 10 минут және ұстасудың аяқталуы сәйкесінше 4 сағат 10 минут болды.

Үлгі 3-2. Цемент қамырына 1,5 % гипс (стандартты цементтің салмағы бойынша) және 5,0 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосқанда, ұстасудың басталуы 55 минут және ұстасудың аяқталуы сәйкесінше 3 сағат 55 минут болған.

Үлгі 3-3. Цемент қамырына 1,5 % гипс (стандартты цементтің салмағы бойынша) және 7,5 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосқанда, ұстасудың басталуы 1 сағат 05 минут және ұстасудың соңы сәйкесінше 4 сағат 10 минутты құрады.



4-сурет. Цемент қамырының ұстасу мерзімін зерттеу нәтижелері

Үлгі 3-4. Цемент қамырының 1,5 % гипс (стандартты цементтің салмағы бойынша) және 10 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосқанда, ұстасудың басталуы 35 минутты құрап, ұстасудың соңы 3 сағат 15 минутты құрады.

Үлгі 4-1, үлгі 4-2, үлгі 4-3, үлгі 4-4 арасында ең жоғары көрсеткіш цемент қамырына 2,0 % гипс (стандартты цементтің салмағы бойынша) және 10 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосылған үлгі 4-4 болды. Онда ұстасудың басталуы 35 минут, ал аяқталуы 2 сағат 30 минутты көрсетті. Бұл көрсеткіш бақылаумен салыстырғанда ұстасудың басталуын 2 сағат 15 минутқа, ал ұстасудың аяқталуын 3 сағат 50 минутқа қысқартып, ұстасу мерзімінің жылдам жүргенін көрсетіп тұр.

Үлгі 5-1, үлгі 5-2, үлгі 5-3, үлгі 5-4 арасында жоғары көрсеткіш 5-3 және 5-4 үлгілі сынамаларда көрсетілген. Ол бойынша үлгі 5-3-те цемент қамырына 2,5 % гипс (стандартты цементтің салмағы бойынша) және 7,5 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосылғанда, ұстасудың басталуы 35 минут, ал аяқталу уақыты 2 сағат 35 минутқа тең болған.

Үлгі 5-4-те цемент қамырына 2,5 % гипс (стандартты цементтің салмағы бойынша) және 10 % қоспа (спирттік кейінгі барда) қосқанда, ұстасудың басталуы 30 минут, ұстасудың аяқталуы 2 сағат 15 минутты көрсеткен. Барлық аталған үлгілердің ішінде ең жоғары көрсеткіш үлгі 5-4-те анықталған. Ол бойынша бастапқы бақылаудағы ұстасу уақытының басталуы 2 сағат 50 минуттан 30 минутқа азайса, ұстасудың аяқталу мерзімі 6 сағат 20

минуттан 2 сағат 15 минутқа қысқарған. Бұл өз кезегінде ұстасудың басталуы мен аяқталуы арасындағы уақыттың қысқаруы, цементтің ұстасу мерзімінің азайғандығын және құрылысқа жұмсалатын уақыттың кемитіндігін көрсетеді.

Нәтижелерден көрініп тұрғандай, цемент ерітіндісіндегі қоспаның максималды пластификаторлық әсері су-цемент қатынасы = 0,3 тең болып, цементтің массасынан 1,5-2,5 % (гипс) және 5-10 % (спирттік кейінгі барда) концентрацияда қол жеткізіледі. Қоспаны ерітінді қоспасына енгізгенде пластификаторлық әсер көрсетіп, оны бақылау құрамымен салыстырғанда су-цемент қатынасын 10 % төмендетуге мүмкіндік береді. Цемент қамырының пластификациялану көрінісі цементтің дисперсті бөліктерінің бетінде гидрофобты молекулалардың сіңірілуімен түсіндіріледі. Ерітінді қоспалардың ұстасу мерзімі олардағы қоспалар концентрациясына тәуелді. Цемент қамырындағы қоспа концентрациясын 10 % (спирттік кейінгі барда) дейін және цемент массасынан 2,5 % (гипс) дейін көбейткенде цемент қамырының ұстасу және қату мерзімі қысқарып, цемент ерітіндісінің сұйылту үрдісіне әсер етіп қана қоймай, сондай-ақ жасанды тасты қысқандағы беріктікті арттырады.

4-суреттегі графикті талдағанда, қоспасы бар сынамада ұстасудың басталуы бақылауға (үлгі 1) қарағанда 1 сағат 29 минуттан 30 минутқа дейін, ал ұстасудың аяқталуы 6 сағ 20 минуттан 2 сағат 15 минутқа қысқарғанын байқауға болады. Бұл жағдай бақылауға (үлгі 1) қарағанда қоспасы бар сынамалар жоғары тиімділікке ие екенін көрсетеді. Суреттегі қоспалардың барлығында бірдей эффект бар, бірақ олардың тиімділігі әртүрлі. Кешенді қоспаны қосқанда тек цементтен тұратын сынамаға қарағанда ұстасу мерзімі 30 % қысқарған, бірақ цемент қамырының ұстасу мерзімінің ұзақтығы өзгеріссіз қалады, өйткені ұстасу мерзімі ұстасудың аяқталу уақытын азайту арқылы кемиді. Бұл ретте ұстасудың басы мен соңы арасындағы аралық 40 %-ға қысқарады. Бұл көрсеткіш құрамында цементі бар композициялардың сумен қатайғанда қоспаның болуына қарай реттеуге болатын уақыт шегінде пластификаторлық күйді сақтауға және құрылыс жұмыстарының қарқынын жылдамдатуға алып келетін тез ұстасуына орай құрғақ құрылыс қоспалары үшін маңызды.

Зертханалық тәжірибе барысында алынған нәтижелердің ішінде қоспа қосылған үлгі 5-4-те ұстасудың басталуы 30 минутты көрсеткені белгілі, бұл көрсеткішке ие болған сынама көбік бетон алуда ыңғайлы мөлшердің бірі. Себебі көбік бетон алуда ұстасу мерзімін анықтау маңызды болғандықтан, цемент қамырын дайындап, оған көбікті қосарда ұстасудың бас мен соңын ескеру қажет.

Жоғарыда қарастырылған тәжірибенің нәтижелері бойынша кешенді модификацияланған қоспаны қолдану тиімді екені және онда қосылатын компоненттердің мөлшері оңтайландырылғанда синергетикалық эффект көрсетіп, ұстасудың басы мен соңы арасындағы аралық қысқарып, құрылыс жұмыстарының қарқыны артатыны анықталды.

Қорытынды. Зерттеу жұмысы бойынша жүргізілген тәжірибенің нәтижелерін қорытындылай келе, спирттік кейінгі барда, гипсті цемент қамырында жеке-жеке пайдаланғанға қарағанда, оларды бірлесе қолдану ұстасу мерзімінің басталуын үдетіп қана қоймай, бұйымның физика-химиялық қасиеттерін жақсартады.

Ал бақылау сынамасымен салыстырғанда қоспа қосылған үлгілерде суды пайдалану төмендететін және ұстасудың басы мен соңы арасындағы аралық қысқарғанын байқауға болады. Бақылау үлгісінде ұстасудың басталуы (2 сағат 50 минут) болса, қоспа қосылған үлгі 2-1-де (1 сағат 29 минутты) құрап, ал үлгі 5-4-те (30 минутқа) дейін өзгерген. Ал ұстасудың соңы 4 сағат 55 минуттан 2 сағат 15 минутқа дейін азайған.

Зертханалық тәжірибедегі қоспа қосылған үлгі 5-4-те ұстасудың басталуы 30 минутты көрсетіп, бұл көрсеткіш арқылы көбік бетон алуда тиімді қоспалардың өлшемін байқауға болады.

Тәжірибеде пластификатор қоспасын (спирттік кейінгі барда) қолдану суды пайдаланудың мөлшерін 35 % дейін төмендеткен. Бұл нәтижелерден құрамында кешенді модификацияланған қоспа бар цемент қамырында пластификаторлық әрекет байқалып, ұстасудың мерзімін азайтып, бұйымдар жасау үдерісін жылдамдатынын көреміз. Сонымен қоса жұмыста спирттік кейінгі барданы қолдану, өндірістік қалдықтарды құрылыс саласында пайдалануға болатындығын және бұл қадам қоршаған ортаны ластанудан қорғаудың оң нәтижесінің көрінісі.

Көбік бетон құрамындағы кешенді модификацияланған қоспа қолданылатын судың мөлшерін азайтып, тұрақты көбік алуға мүмкіндік береді және гипс және спирттік кейінгі барда тәрізді қоспалардың байланысы арқасында синергетикалық эффект туындап, бетонның беріктігінің, аязға төзімділігінің артуына алып келеді.

Зерттеу бойынша гипс пен спирттік кейінгі барданы бірге қолдану синергетикалық эффект тудырып, цемент қамырының физикалық-химиялық қасиеттерін арттырады. Сондай-ақ жасалатын бұйымның беріктігі мен төзімділігін жоғарылатады. Осы алынған нәтижелер кешенді модификацияланған қоспаны қолданудың тиімділігін көрсетіп отыр.

Соңғы уақытта құрылыста көбік бетонды үйді қабырғасына қарағанда, шатырдың астына жылу оқшаулағыш және аязға төзімді материал ретінде көп қолданылып жүр. Осы мақалада баяндалған кешенді модификацияланған қоспасы бар көбік бетон беріктігі, аязға төзімділігі мен жылу оқшаулағыштығы және пластификаторлық әсерінен су-цемент қатынасының төмен болуынан құрылыс саласында бұл материалдың қайтадан рөлі артуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Тоқаев Қ.К. Қазақстан Республикасы Президентінің Қазақстан халқына жолдауы. «Әділетті мемлекет, біртұтас ұлт, берекелі қоғам». – Астана: Аккорда, 2022. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K22002022_2
2. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2022 жылғы 23 қыркүйектегі № 736 қаулысы. Тұрғын үй-коммуналдық инфрақұрылымды дамытудың 2023 жылдан 2029 жылға дейінгі тұжырымдамасы <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2200000736>
3. Абдушқуров Ф.Б., Дузельбаев С.Т. Құрылыстық материалтану. – Алматы: Бастау, 2020. – 10 б.
4. Әбдушқуров Ф., Сабитов Е., Қырғызбаев А., Дүзелбаев С. «Құрылыс материалдары мен бұйымдары». – Нұр-Сұлтан, Л.Н. Гумилев атын. ЕҰУ., 2021. – 458 б.
5. Garzón-Agudelo P.A., Palacios-Alvarado W., Medina-Delgado B. Impact of plasticizers on the physical and structural properties of concrete used in constructions. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 2046(1):012069. DOI: 10.1088/1742-6596/2046/1/012069
6. Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Dyusseminov D.S., Askerbekova A.M., Tkach E.V. Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources* 2022;324(4). <https://doi.org/10.31643/2022/6445.23>
7. Kolesnikov A, Fediuk R, Kolesnikova O, Zhanikulov N, Zhakipbayev B, Kuraev R, Akhmetova E, Shal A. Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. *Materials*. – 2022. – 15(1):324. – Pp. 1-9. – <https://doi.org/10.3390/ma15010324>.
8. Zhongwei Liu, Kang Zhao, Chi Hu, Yufei Tang, "Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2016, Article ID 9520294, 9 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9520294> (в международном журнале)
9. Джалалов Ш.Г., Оцоков К.А. Способы повышения эффективности пенобетона. *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2016;42(3):167-174 DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-167-174
10. Славчева Г.С., Буймарова Т.К. Физико-климатическая стойкость пенобетонов на основе техногенного сырья // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. – 2020. – № 2 (43). – С. 124-131.
11. Kolesnikov A, Fediuk R, Kolesnikova O, Zhanikulov N, Zhakipbayev B, Kuraev R, Akhmetova E, Shal A. Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. *Materials*. – 2022. – 15(1):324. – Pp.1-9. – <https://doi.org/10.3390/ma15010324>

12. Foam concrete/ M. Gökçe, B. Şenol Şeker// Journal of New Results in Science (JNRS). – 2020. – Vol. 9. – Iss. 1. – Pp. 9-18.
13. Майкл С. Мамлюк, Джон П. Заниевский. Азаматтық нысандарда қолданылатын құрылыс материалдары. – 3-ші басылым. – Алматы: Қазақ тілі, 2017. – 73 б.
14. Абдушкүров Ф.Б., Дүзельбаев С.Т. Құрылыстық материалтану. Есептер жинағы мен зертханалық практикумы. – Алматы: Бастау, 2020. – 137 б.
15. Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Yenkebayev S., Tsygulyov D., Nurbayeva M. Complex laboratory studies of modified additive influence on concrete physical and mechanical properties. International Journal of GEOMATE, Dec, 2022, Vol.23, Issue 100, pp.26-33, Geotechnique, Construction Materials and Environment ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.100.3641>
16. Al-Khazraji A.A. Use of plasticizers in cement concrete. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020; 12(3):599-607. DOI: 10.5373/JARDCS/V12I3/20201229.

References

1. Tokayev K.K. Қазақстан Республикасы Президентінің Қазақстан халқына жолдауы. «Adiletті мемлекет, бirtutas ылт, berekeli қоғам». – Astana: Akkorda, 2022. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K22002022_2
2. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 23 sentyabrya 2022 goda №736. Konceptsiya razvitiya zhilishchno-kommunal'noj infrastruktury na 2023-2029 gody
3. Abdushkurov F.B., Duzel'baev S.T. Құрылыстық материалтану. – Almaty, Bastau, 2020. – 10 б.
4. Әбдішқыров Ф., Сабитов Е., Қырғызбаев А., Дүзельбаев С. «Құрылыс материалдары мен бұйымдары», - Нұр-Сұлтан, L.N.Gumilev atyn. ЕҰУ., 2021, 458 б.
5. Garzón-Agudelo P.A., Palacios-Alvarado W., Medina-Delgado B. Impact of plasticizers on the physical and structural properties of concrete used in constructions. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 2046(1):012069. DOI: 10.1088/1742- 6596/2046/1/012069
6. Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Dyusseminov D.S., Askerbekova A.M., Tkach E.V. Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources 2022;324(4). <https://doi.org/10.31643/2022/6445.23>
7. Kolesnikov A, Fediuk R, Kolesnikova O, Zhanikulov N, Zhakipbayev B, Kuraev R, Akhmetova E, Shal A. Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. Materials. – 2022. – 15(1):324. – Pp.1-9. – <https://doi.org/10.3390/ma15010324>.
8. Zhongwei Liu, Kang Zhao, Chi Hu, Yufei Tang, "Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete", Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2016, Article ID 9520294, 9 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9520294> (в международном журнале)
9. Jalalov Sh.G., Otsokov K.A. THE WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF FOAM CONCRETE. . Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):167-174. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-167-174
10. Slavcheva G.S., Bujmarova T.K. Fiziko-klimaticheskaya stojkost' penobetonov na osnove tekhnogennogo syr'ya.// Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. – 2020. – № 2 (43). – S. 124-131.
11. Kolesnikov A, Fediuk R, Kolesnikova O, Zhanikulov N, Zhakipbayev B, Kuraev R, Akhmetova E, Shal A. Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. Materials. – 2022. – 15(1):324. – Pp.1-9. – <https://doi.org/10.3390/ma15010324>
12. Foam concrete/ M. Gökçe, B. Şenol Şeker// Journal of New Results in Science (JNRS). – 2020. – Vol. 9. – Iss. 1. – Pp. 9-18.
13. Majkl S. Mamlyuk, Dzhon P. Zanievskij. Azamatтық нысандарда қолданылатын құрылыс материалдары. - 3-shi basylym. - Almaty: Қазақ тілі, 2017. – 73 б.
14. Abdushkurov F.B., Duzel'baev S.T. Құрылыстық материалтану. Есептер жинағы мен зертханалық практикумы. Almaty, Bastau, 2020, 137 б.
15. Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Yenkebayev S., Tsygulyov D., Nurbayeva M. Complex laboratory studies of modified additive influence on concrete physical and mechanical properties. International Journal of GEOMATE, Dec, 2022, Vol.23, Issue 100, pp.26-33, Geotechnique, Construction Materials and Environment ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.100.3641>
16. Al-Khazraji A.A. Use of plasticizers in cement concrete. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020; 12(3):599-607. DOI: 10.5373/JARDCS/V12I3/20201229.

ЖАБЫНДАР ЖӘНЕ ҚАБАТТАР
ПОКРЫТИЯ И ПЛЕНКИ
COATINGS AND LAYERS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_16
MPHTI 50.47.02

Г.У. Ерболатова¹, А.А. Касымова², Д.Д. Ерболат³

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

¹E-mail: e.gulnara_77@mail.ru*

²E-mail: anelya.kas@mail.ru

³E-mail: diaserbolat16@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ TiN,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ**

**МАГНЕТРОНДЫ БҮРКУ АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН TiN ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ
МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF TiN
COATINGS OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING**

Аннотация. В данной статье показано, что основными технологическими параметрами метода магнетронного напыления являются диапазон расстояний мишень-подложка и соотношение разрядного напряжения в вакуумной камере при распылении газа под давлением (азот-аргон). Обнаружено влияние расстояний мишень-подложка после обработки на кристалличность пленки. Изучена структура и поведение тонких пленок нитрида титана. Проведена серия экспериментов в рамках изучения влияния расстояния мишень-образец на микроструктуру нанопленки. Выявлены изменения роста нанопленки и размера зерен в формирующей наноструктуре при напылении. Исследование шероховатости поверхности выявило необходимость оптимизации режима нанесения пленки под давлением.

Ключевые слова: нитрид титана, структура, магнетрон, нанопленки, магнетронное напыление.

Аннотация. Бұл мақалада магнетронды бүрку әдісінің негізгі технологиялық параметрлері нысанадан субстратқа дейінгі қашықтық диапазоны және қысымды газды (азот-аргон) бүрку кезінде вакуумдық камерадағы разряд кернеуінің қатынасы болып табылады. Өңдеуден кейінгі мақсатты субстрат арақашықтықтарының қабықшаның кристалдылығына әсері анықталды. Титан нитридінің жұқа қабықшаларының құрылымы мен мінез-құлқы зерттелді. Микроқұрылымды мақсатты үлгі қашықтығына зерттеу аясында бірқатар эксперименттер жүргізілді, бұл нанофильмнің өсуін, бүрку кезінде пішіндеуші наноқұрылымдағы дендердің мөлшерін өзгертуге әкелді. Беттің кедір-бұдырлығын зерттеу қабықшаны қысыммен қолдану режимін оңтайландыру қажеттілігін анықтады.

Түйін сөздер: титан нитриді, құрылым, магнетрон, наноқабықшалар, магнетронды бүрку.

Annotation. This article shows that the main technological parameters of the magnetron sputtering method are the range of target-substrate distances and the ratio of discharge voltage in a vacuum chamber when spraying gas under pressure (nitrogen-argon). The effect of the distances of the target substrate after processing on the crystallinity of the layer was found. The structure and behavior of thin layers of titanium nitride have been studied. A series of experiments was carried out within the framework of studying the microstructure at the target-sample distance, which led to a change in the growth of the nanolayer, the grain size in the forming nanostructure during spraying. The study of surface roughness revealed the need to optimize the mode of applying the layer under pressure.

Keywords: Titanium nitride, structure, magnetron, nanolayers, magnetron sputtering.

Введение. На сегодняшний день, ввиду повышения спроса на тонкие покрытия с различными свойствами, метод магнетронного напыления наиболее востребован. Однако,

несмотря на многочисленные исследования в этом направлении, до сих пор нет обоснованных теоретических концепций и точных экспериментальных данных о процессах, влияющих на структуру и свойства покрытий, полученных методом магнетронного напыления. Кроме того, магнетронное напыление позволяет накапливать вещества, находящиеся за пределами термодинамического равновесия [4], следовательно, это позволяет осаждать нестабильные фазы.

Целью данного исследования является изучение структурно-фазового состояния, элементного состава и механических свойств тонких пленок TiN на стеклянной подложке после магнетронного напыления при различных расстояниях между мишенью и подложкой. Данная цель может быть достигнута в результате решения следующих задач:

- анализ теоретических данных метода магнетронного распыления при постоянном токе;
- нанесение тонких покрытий при помощи магнетронного распыления, при различных расстояниях мишень-подложка;
- исследование микроструктуры, фазового состава и механических свойств нанопленки TiN.

Литературный обзор. Физическое осаждение тонких пленок осуществляется из паровой фазы. Технология нанесения тонких пленок методом магнетронного напыления, используемая десятилетиями для нанесения покрытий, на сегодняшний день является наиболее распространённым и используемым процессом нанесения тонких пленок, главным преимуществом которого является улучшение механических свойств и качества осаждения. В последние годы в магнетронном напылении в качестве источника пленкообразования материала начали использовать катод. Методы испарения рассматриваются как обычное осаждение материалов в виде тонкослойных пленок, которые достигаются путем генерации направленного потока частиц испаряемого вещества, пролета их в разреженном пространстве от источника к подложке и осаждением на поверхности с образованием слоев [5, 6].

При образовании тонких пленок после магнетронного распыления необходимо учитывать назначение покрытия, материал подложки и условия эксплуатации. Использование нескольких катодных мишеней одновременно или добавление реактивного газа позволяют синтезировать новые комбинации материалов и соединения распыления. Первоисточником пленкообразующих частиц является твердая мишень. В основном процессе (рис. 1) напыления мишени (или катода) пластина бомбардируется энергичными ионами, генерируемыми в свечении. В процессе бомбардировки происходит удаление, т.е. «распыление» атомов мишени, которые затем могут конденсироваться на подложке в виде тонких пленок [7]. Вторичные электроны, также испускаемые с поверхности мишени в результате ионной бомбардировки, играют важную роль в поддержании плазмы. Процесс базового напыления известен уже много лет, и многие покрытия получены с использованием этого метода [8].

Оптимизируя различные свойства тонких пленок, необходимо понимать механизмы их роста. Формирование непрерывной пленки включает зарождение и рост на поверхности подложки. На различные стадии роста влияют подвижность конденсированных частиц, энергия их падения, а также температура подложки и ионная бомбардировка [9, 10]. Все процессы формирования тонких пленок из паровой фазы сводятся к трем основным этапам:

- получению соответствующих частиц для нанесения на подложки (ионные, атомарные или молекулярные соединения) путем Ag^+ травления поверхности мишени;

- переносу этих частиц от источника (мишени) к поверхности подложки со столкновениями или без них между атомами и молекулами;
- конденсации этих частиц в результате химических или электрохимических реакций и образованию пленки на поверхности подложки. Этот процесс включает в себя конденсацию паров на подложке и образование в результате процессов зарождения и роста первых слоев, на которые сильно влияет ионная бомбардировка растущих пленочных частиц, приводящая к изменениям микроструктуры, состава, примесей и остаточных напряжений [11].

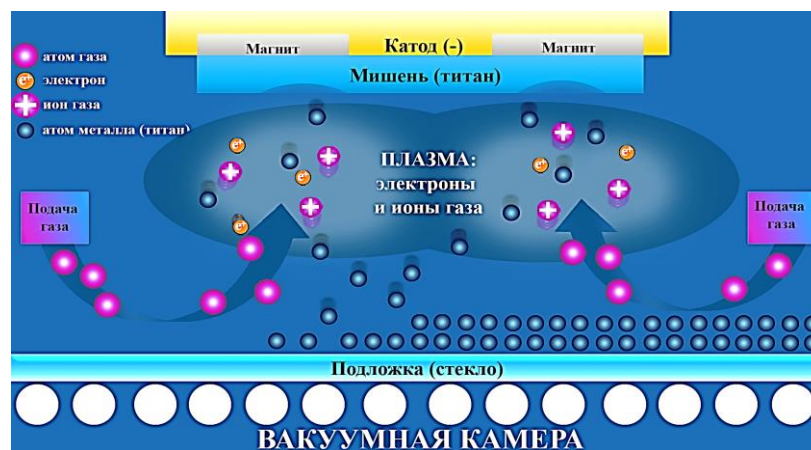


Рисунок 1. Процесс осаждения магнетронным напылением в вакуумной камере (подложка – стекло, мишень – титан)

Реактивное распыление может быть использовано для нанесения пленок путем химической реакции между материалом мишени и газом, подаваемым в вакуумную камеру, где составом этих пленок можно управлять, регулируя относительное давление смеси ионов Ag и реакционноспособных газов. Реактивное магнетронное напыление может быть использовано не только для распыления нитридов, оксидов, карбидов и других соединений, но и для получения нанокompозитных пленок с малым размером зерен (1-20 нм) [6], которые проявляют уникальные свойства. Твердые материалы, такие как TiN используются для износостойких инструментов и декоративных покрытий часов. Примечательно, что увеличение расхода реагирующего газа обычно приводит к образованию распыленного соединения на поверхности мишени (отравление мишени). Это приводит к снижению скорости распыления и дальнейшему отравлению поверхности мишени [11]. Например, распыление мишени, покрытой оксидом, обычно нежелательно, поскольку скорость распыления оксида намного ниже, чем у металла, а образование изолирующей поверхности на катоде вызывает образование дуг, особенно при подаче постоянного тока. Решением было бы использование среднечастотной мощности или радиочастотной мощности 150-250 Вт [10]. Таким образом, получение тонких пленок реактивным магнетронным напылением в зависимости от различных расстояний мишень-подложка может привести к осаждению нестабильных фаз и улучшению свойств.

Методика исследования. Эксперименты проводились в лабораторном центре «ВЕРИТАС» г. Усть-Каменогорск, на лабораторной установке Магнетрон-479, предназначенной для научно-исследовательских работ в области нанесения тонких нанопленок методом магнетронного напыления. Схема и вид экспериментальной установки показаны на рис. 2 и 3.

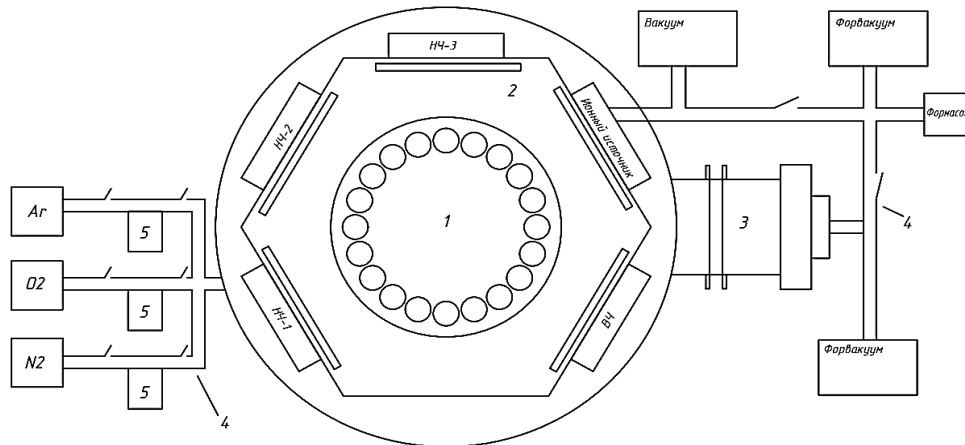


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки: 1 – вращающееся крепление для подложки, 2 – камера осаждения, 3 – система откачки камеры, 4 – система подачи газа или откачки, 5 – регулятор расхода газа РРГ-10

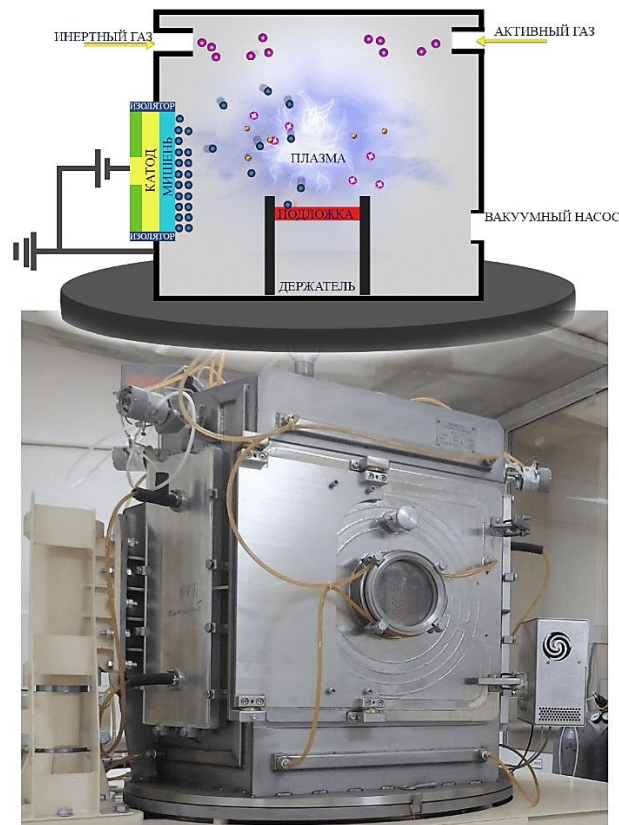


Рисунок 3. Вид установки высоковакуумного напыления

Для нанесения тонкой пленки нитрида титана на подложку использовали метод реактивного магнетронного напыления (рис. 3). Методика эксперимента заключалась в том, что в вакуумную камеру помещали образец и прикрепляли к держателю, использовали мишень титана (с чистотой 99,9998 %) и расстояние между мишенью и образцом

составляло 125, 130 мм. До нанесения покрытий для удаления оксидов поверхность подложки обрабатывали в соляной кислоте, для удаления грязи или пыли – в дистиллированной воде с последующей сушкой (4-5 минут), далее протерли спиртом. В камере осаждения использовали рабочий газ – аргон (чистота 99,998 %) и реактивный газ – азот (чистота 99,998 %). Перед процессом напыления проводили вакуумную откачку при $4 \cdot 10^{-5}$ Па. Предварительную очистку камеры ионами газа осуществляли в течение 8-9 минут, затем вводили постоянную основу – рабочий газ Ar. После предварительного включения магнетронного напыления реактор вакуумировали, затем запускали газ аргон с парами с положительными электронами.

Нанесение покрытий осуществлялось на прямоугольной стеклянной подложке при параметрах процесса магнетронного напыления (поток инертного газа, реактивного газа и др.), приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Параметры процесса осаждения на стеклянную подложку при магнетронном напылении

Наименование параметров	Значение
Утечка	0,08 см ³ /мин
Рабочее давление	$2,1002 \cdot 10^{-3}$ мбар
Рабочий газ Ar	чистота 99,998 %
Общий расход аргона в камере	59 мл/мин
Ток/Напряжение	1/200
N ₂ (чистота 99,998 %)	5 мл/ мин
Частота	14,5 кГц
Катодный материал	Титан
Расстояние между магнетроном и образцом	120,130 мм
Время нанесения	35 минут

Морфология поверхности и толщина пленки TiN была исследована путем получения вторичной электронной визуализации покрытий в их исходном состоянии с высоким разрешением с использованием СЭМ (JEOL JSM-6390LV) при ускоряющем напряжении 19 кВ. Регистрация изображения осуществлялась в режиме BEI. СЭМ оснащен энергодисперсионным рентгеновским спектрометром (ЭДС) с использованием ионно-аргонового лазера в качестве источника возбуждения (длина волны лазера 520 нм, мощность лазера на образце приблизительно 10 МВт, генерирующиеся пятно размером приблизительно 3 мкм).

Кристаллографическое отображение ориентации тонких пленок TiN было выполнено методом рентгеновской дифракции с использованием дифрактометра Panalytical X'Expert PRO и проводилось с использованием медной трубки с энергией квантов 7,5 кэВ в конфигурации Брэгга-Брентано (Излучение Cu-K α). Применение этапа преобразования абсцисс/ординат, с использованием размера луча 5,4 мм², управляемого моторизованной расходящейся зелью на входящем рентгеновском луче. Отражения были установлены с использованием псевдо-функции Фойгта, определяющей положение и интенсивность. Геометрия Брэгга-Брентано, излучения Cu-K α , 10-90 \circ с шагом 0,02.

Поверхность образцов в микрометровом масштабе измеряли с помощью профилометра «Micron-Beta» в лабораторном центре превосходства «Веритас». Для получения набора данных о шероховатости на поверхности тонкой пленки TiN были выбраны три различные точки на поверхности каждого образца. В данном оборудовании регистрация

интерференционных картин осуществлялась при поле сканирования по вертикали 1450 мкм, по горизонтали 0,2 мкм в течение 30 сек. Измерения шероховатости выполнялись с шагом 0,25 мкм и могли быть экспортированы из системы в виде необработанных измерений. Трехмерное изображение осуществляли при разрешении по горизонтали 10x9 мкм. На основе этих данных были получены 2D- и 3D-изображения.

Результаты и обсуждения. При формировании тонких покрытий из нитрида титана стремятся получить стабильную модификацию, поскольку она обеспечивает высокие механические свойства. Полученные пленки золотистого цвета при различных расстояниях от мишени показаны на рис. 4.

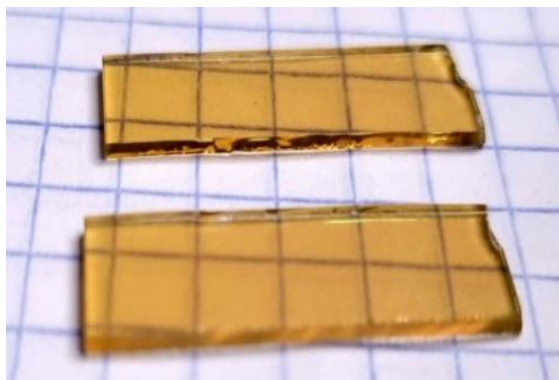


Рисунок 4. Пленки золотистого цвета после магнетронного напыления

Толщина тонкой пленки и морфология поверхности TiN показана по полученным микрофотографиям СЭМ исследований (рис. 5). По данным исследований наблюдается столбчатая структура поверхности и аналогичная структура зерен. Плохая проводимость пленки TiN сказывается на качестве разрешения микрофотографии. По мере уменьшения расстояния мишень-подложка при осаждении рельеф поверхности меняется от извилистой рыхлой структуры к более плотной и однородной поверхности. Тонкая пленка нитрид титана обладает относительно небольшими плотными частицами с незначительным расстоянием между порами и имеет гладкую однородную поверхность с увеличением границ зерен. На рис. 5, б, г показаны поперечные сечения пленки нитрид титана при различном расстоянии, которые подтверждают, что толщина пленки нитрид титана значительно увеличивается при уменьшении расстояния мишень-подложка.

Результаты металлографических исследований образцов после обработки показывают равномерное покрытие поверхности без трещин при различном расстоянии мишень-подложка. Качество разрешения снимков поперечного сечения, полученных СЭМ (рис. 5, г), может быть подтверждено низкой плотностью пленки при непосредственном контакте с прибором. Наблюдается небольшое расслоение пленки при различных расстояниях от подложки до мишени в зависимости от величины потока азота, а именно: на первом образце – 2,105 мкм, на втором – 2,501 мкм (отличие на 0,396 мкм).

Отсюда можно сделать вывод, что при определенном размещении подложек относительно мишени в процессе магнетронного напыления ($t = 35$ минут) происходит формирование плазменного разряда в вакуумной камере, что дает нагрев подложек в результате воздействия иона и электронов. Установлено, что чем дальше подложка, тем ниже ее температура, с приближением подложки температура увеличивается. Во всех случаях режимы магнетронного напыления были при постоянных величинах силы тока и напряжения: $I=1,5$ А, $U=195$ В.

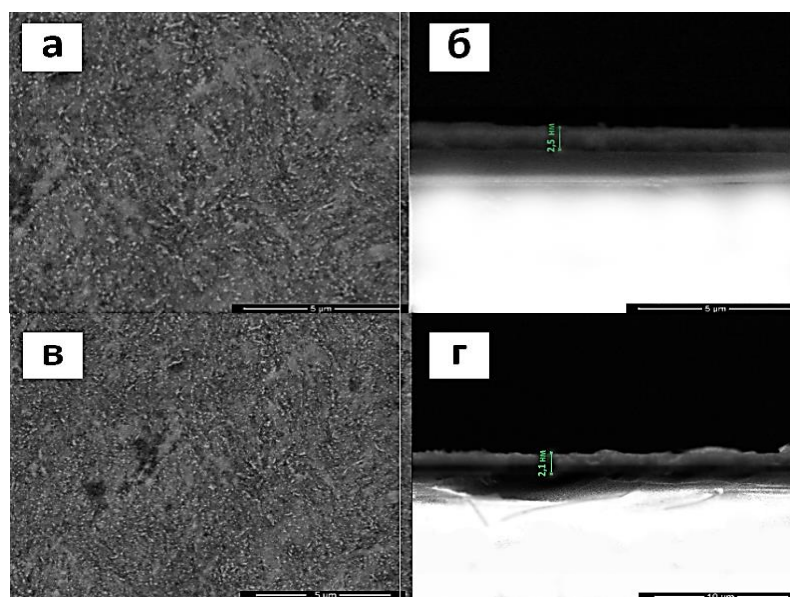


Рисунок 5. Микроструктура тонких пленок нитрида титана, полученных методом магнетронного напыления на расстояниях: (а, б) 120 мм, (в, г) 130 мм

На рис. 6 показаны спектры ЭДС поверхности покрытий нитрид титана. Видно, что элементы Ti и N₂ равномерно распределены по всему образцу. Массовые атомные доли, рассчитанные через спектры ЭДС, показали, что присутствует высокий процент атомной массы Ti по сравнению с N₂O. Это происходит из-за отдельных слоев Ti в покрытиях. Отсюда следует, что в двух образцах есть небольшая разница в химическом составе, но больше элемента титана присутствует при расстоянии мишень-подложка 120 мм.

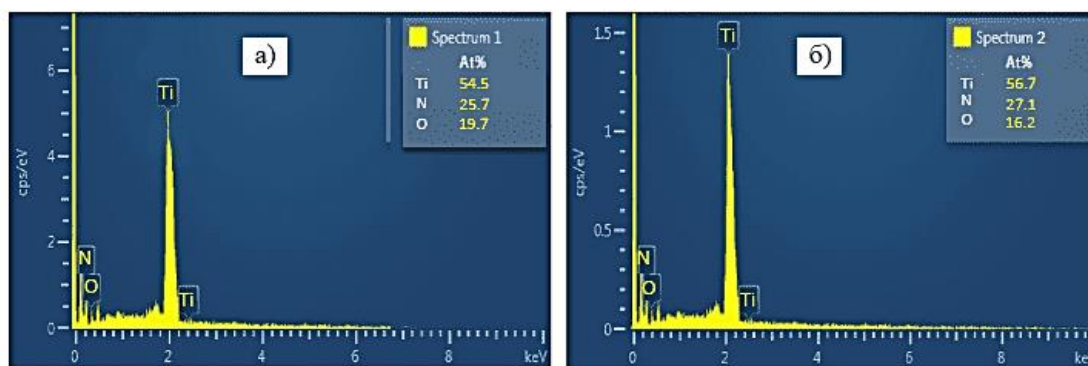


Рисунок 6. Спектры ЭДС на расстояниях мишень-подложка: а – 130 мм; б – 120 мм

На рис. 7 представлены рентгеновские дифрактограммы тонкой пленки TiN на стеклянной подложке, полученной при помощи магнетронного напыления при различных расстояниях мишень-подложка. Рентгеновские данные наносятся на график с логарифмической шкалой интенсивности рентгеновского излучения и помечаются в соответствии от расстояния мишень-подложка. Данные нормализованы к пику TiN и TiO₂, интенсивность которого оставалась практически постоянной во всех измерениях. Красные линии представляют собой пики с кристаллической ориентацией TiN и TiO₂ в соответствии с файлом дифракции.

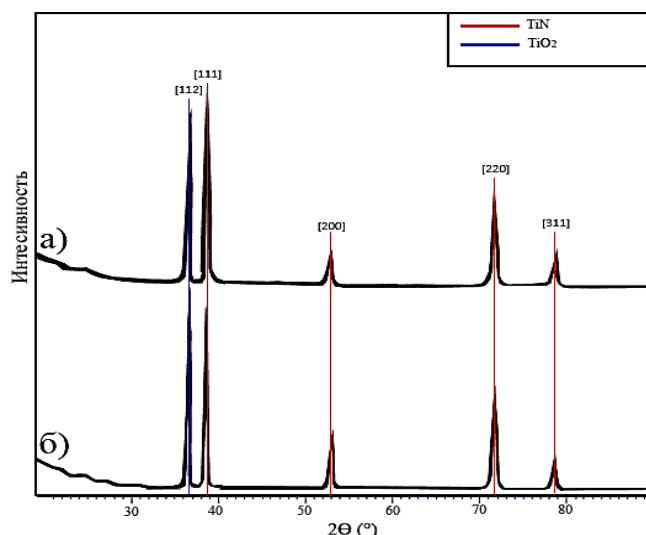


Рисунок 7. Дифракционные картины тонких пленок TiN при различном расстоянии мишень-подложка: а – 130 мм; б – 120 мм

Рентгеновское дифракционное исследование тонких пленок TiN выявило влияние расстояния мишень-подложка на кристалличность пленки:

- при расстоянии 130 мм, размер зерен и ее границы умеренно увеличиваются;
- при расстоянии 120 мм наблюдаются изменения, повышается интенсивность.

Пики, полученные в результате рентгенодифракционного исследования тонких пленок TiN, показаны в табл. 2. Показано, что кристаллографические ориентации находятся в плоскостях [111], [200], [220], [311]. На обоих рентгеновских дифракциях присутствует TiO₂, отсюда следует, что идет острая граница раздела между оксидной и нитридной областью. Однако интенсивность пиков TiN говорит об азотном дефиците. Для данных экспериментов пики TiN сохраняют одно и тоже соотношение при изменении толщины пленки TiN.

Таблица 2. Положение пиков кристаллографической ориентации TiN

Элемент		TiO ₂	TiN			
hkl		[112]	[111]	[200]	[220]	[311]
Ψ (0)	130 мм	37,1	38,8	53,07	71,6	79
	120 мм	36,5	38,5	53,2	71,7	78,9

На поверхности образцов после магнетронного напыления наблюдается наличие шероховатости в нанометровом масштабе (рис. 8). Можно видеть, что шероховатость пленки сначала уменьшается, а затем увеличивается с увеличением смещения. Процесс пленкообразования – это в основном «конкуренция» между ростом пленки и травлением.

Параметры шероховатости поверхности Ra определяются как средняя высота пиков и впадин на поверхности [11]. Это стандартное отклонение профиля высоты поверхности от средней высоты является наиболее широко используемым измерением шероховатости поверхности [12]. Прикреплением ячеек можно было бы управлять, регулируя шероховатость поверхности пленки [13]. На поверхности обнаружены различные пики шероховатости, данные показаны в табл. 3. Среднее расстояние между соседними пиками в обоих образцах составляло приблизительно 20-100 мкм.

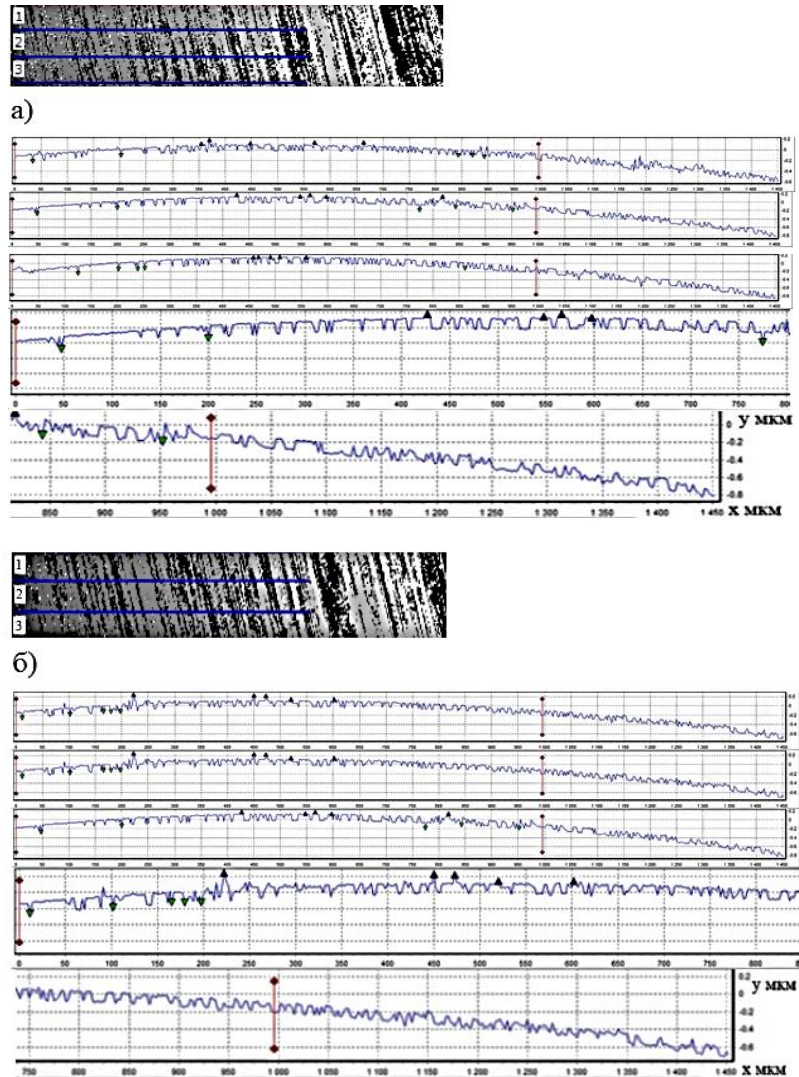


Рисунок 8. Профилограмма поверхности на стеклянной подложке после магнетронного напыления, показывающая шероховатость на наноуровне при различных расстояниях мишень-подложка: а – 120 мм; б – 130 мм

Таблица 3. Показатели зависимости значений шероховатости стеклянной подложки от расстояния мишень-подложка

Расстояние мишень-подложка, мм	Основные пики на поверхности, мкм				
120	425	549	565	599	813
130	220	449	465	515	602

При низком смещении энергия ионов незначительна, а эффекты травления и напыления на тонкой пленке невелики. Это говорит о том, что поверхность покрытия относительно рыхлая и шероховатая. Когда смещение достигает 80 В, эффект бомбардировки осажденных ионов усиливается, их активность повышается, выделенные частицы непрерывно транспортируются и диффундируют в боковом направлении,

увеличивая плотность пленки и значительно уменьшая шероховатость поверхности. Однако чрезмерное отрицательное смещение приводит к увеличению травления, обратного распыления на пленке, размера отверстий на поверхности пленки, толщины и шероховатости тонкой пленки, что также подтверждается результатами более ранних исследований [14, 15].

В соответствующем трехмерном изображении (рис. 9) приведены выступы и выпады шероховатости, образующие трапецевидную форму с величиной расстояний от мишени до подложки:

а) 120 мм – среднеквадратичное отклонение поверхности составляет 3,10985; $Rz=0,3362$; $Ra=0,07950$;

б) 130 мм – среднеквадратичное отклонение поверхности составляет 3,10765; $Rz=0,3152$; $Ra=0,06430$.

Отсюда следует, что степень шероховатости поверхности зависит от расстояния мишень-подложка: при уменьшении расстояния начинает увеличиваться интенсивность ионного воздействия на подложку, приводящего к гладкой поверхности. В наноструктуре поверхности покрытия TiN уменьшается микронапряжение, но не изменяются механические свойства.

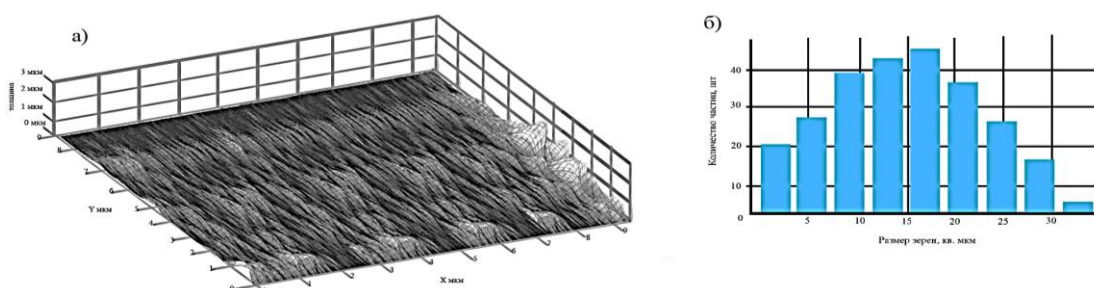


Рисунок 9. Трехмерное изображение покрытия TiN, полученного путем магнетронного напыления, площадью 10x9 мкм

Размер частиц пленок TiN был получен с помощью инструмента анализа частиц в программном обеспечении SiamsPhotolab, данные показаны в табл. 4. По мере увеличения расстояния мишень-подложка средний размер частиц становится меньше.

Таблица 4. Результаты измерений анализа частиц пленок TiN

Площадь 10x9 мкм	
Число частиц, шт	258
Минимальное значение, мкм	35
Максимальное значение, мкм	17
Среднее значение, мкм	28,67

Вывод. По данным экспериментального исследования с помощью метода магнетронного распыления были получены тонкие пленки TiN на стеклянной подложке, изучая которые пришли к следующим выводам:

1) обнаружено, что основными технологическими параметрами метода магнетронного напыления являются диапазон расстояний мишень-подложка и соотношение разрядного напряжения в вакуумной камере при распылении газа под давлением (азот-аргон);

2) выявлено влияние расстояний мишень-подложка после магнетронного напыления на кристалличность пленки: при расстоянии 130 мм размер зерен и ее границы умеренно увеличиваются; при 120 мм наблюдаются изменения, повышается интенсивность.

3) показано, что стабильность поверхности мишени из титана влияет на интенсивность ионного тока при нагреве подложек до температур 1500 °С, что положительно влияет на качество нанопленок;

4) обнаружено, что при магнетронном напылении расстояние от мишени до подложки имеет существенную роль в формировании кристаллической фазы в пленке TiN. Все пленки TiN имеют [111] предпочтительную кристаллическую ориентацию.

5) исследование шероховатости поверхности выявило необходимость оптимизации режима нанесения пленки под давлением. Значение шероховатости поверхности зависит от расстояния мишень-подложка, при уменьшении расстояния начинает увеличиваться интенсивность ионного воздействия на подложку, приводящая к гладкой поверхности. Пленка нитрида титана имеет гладкую поверхность без нанокпель титана, но содержит наночастицы титана. При трехмерном изображении наблюдается правильное расположение зерен с неоднородным распределением частиц по размерам и небольшой шероховатостью поверхности на пленке.

References

1. Kos'minskaya YU.O., Korniyushchenko G.S., Gannich YU.V., Perekrestov V.I. // Poluchenie i fizicheskie svoystva pokrytij iz mnogokomponentnyh sistem na osnove W, Ta, Hf, Ti, Mo, Cr, Al i C//ZHurnal sverhtverdyh materialov,2020/42/388-395.
2. Vasil'ev V.V., Luchaninov A.A., Reshetnyak E.N., Strel'nickij V.E., Tolmacheva G.N., Pribytkov G.A., Gurskih A.V., Krincyn M.G. // Primenenie poroshkovykh katodov dlya naneseniya pokrytij Ti-Si-N iz fil'trovannoj vakuumno-dugovoj plazmy// Int. J. Surf. Sci. Eng.,2015/13/148–163.
3. Kolisnichenko O.V., Tyurina YU.N., Taubin R. // Effektivnost' processa napyleniya pokrytij s ispol'zovaniem mnogokamernoj detonacionnoj ustanovki// Paton Ueld. Dzh.2017/10/18-23.
4. Tyurin YU.N., Pogrebnyak O.D.//Sposob i ustrojstvo dlya naneseniya detonacionnoj plenki//PatentUA,2008/26/831.
5. M. Donald/The Foundations of Vacuum Coating Technology//Noyes Publications//2003.
6. M. Donald and Vivienne/50 Years Of Vacuum Coating Technology and the Growth of the Society of Vacuum Coaters//Society of Vacuum Coaters//2007.
7. Kovaleva M., Sirota V., Goncharov I., Novikov V., YAprincev M., Vagina O., Pavlenko I., Tyurin YU., Mogucheva A. // Issledovanie kinetiki obrazovaniya gazostojkogo stekloobrazuyushchego sloya pri okislenii ZrB2,MoSi2,Y2O3,Pokrytiya Al v vozduшной atmosfere//Pokrytiya,2021/11/1018.
8. Pessoa R.F., Frag M.A., Santos L.A., Gal'vao N.K., Messi M.//Plazmennye tekhnologii vyrashchivaniya tverdyh nanostrukturirovannyh pokrytij // V sovremennyh i budushchih primenenyah antiabrazivnyh nanopokrytij; Elsevier: Amsterdam// Niderlandy, 2015/455-479.
9. Lil'ekhol'm, L. // Reaktivnoe napylenie funkcional'nyh tonkih plenok // Universitet Upsaliensis/Uppsala/ SHveciya, 2012/945–952.
10. Magn–Fel't, D.//Fundamental'nye processy pri roste tonkih plenok: proiskhozhdenie napryazheniya szhatiya i dinamika rannih stadij rosta // Linchepingskij universitet / Lincheping/ SHveciya, 2014/13-14;
11. M. Raaif/Investigating the structure and tribo-mechanical performance of PVD TiN on bearing TiN substrate constructed by rf plasma//Mater. Chem. Phys № 224//2019//117-123 p.
12. C. Zhang, T. Hu, N. Zhang/Influence of substrate hardness on coating-substrate Adhesion//Adv Mat Res № 177// Trans Tech Publications//2011//148-150 p.
13. T. Jiang, N. Hall, A. Ho, S. Morin/Quantitative analysis of electrodeposited TiN film morphologies by atomic force microscopy//Thin Solid Films№471//2005//76-85 p.
14. T. Elangovan, P. Kuppasami, R. Tirumurugesan, V. Ganesan, E. Mogandas, D. Mangalaradh //Nanostrukturirovannye tonkie plenki CrN, poluchennye reaktivnym impul'snym magnetronnym raspyleniem postoyannogo toka // Mater. nauki i tekhniki, 2010/167/17–25;
15. A. Brandelli, A.C. Ritter, F.F. Veras, //Antimicrobial activities of metal nanoparticles//№15In Metal Nanoparticles in Pharma //NY/USA//2017.

МАШИНАЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_27
MFTAA 73.31.41

А.Г. Завалко¹, М.С. Муздыбаев², Д.М. Мырзабекова³, А.С. Муздыбаева⁴

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

¹E-mail: AZavalko@mail.ru

²E-mail: mmuzdybaev@mail.ru

³E-mail: DMyrzabekova@ektu.kz*

⁴E-mail: amuzdybaeva@mail.ru

ЖҮРГІЗУШІЛЕРДІ ҮНЕМДІ ЖҮРГІЗУГЕ ҮЙРЕТУ ҮШІН ИНТЕГРАЛДЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРДІ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІГІН БАҒАЛАУ

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧНОМУ ВОЖДЕНИЮ

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF INTEGRATED ENERGY INDICATORS USING FOR TRAINING DRIVERS TO DRIVE ECONOMICALLY

Аңдатпа. Мақалада жүк көліктерінің тұтынатын отын шығынын азайту әдістерін зерттеудің өзектілігі қарастырылған. Себебі жаһандық шығарындыларға автомобиль жүктерін тасымалдау кезінде айтарлықтай үлес қосылады. Автокөлік құралдарын үнемді жүргізу әдістері мен жүк көлігі жүргізушілерінің жүргізу дағдыларын отын шығынын азайтудың маңызды факторы ретінде қарастыру керек екендігі көрсетілген. Жүргізушілерді жүргізу дағдыларына оқытудың тиімділігін бағалау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Экожүргізу дағдыларын объективті және динамикалық бағалау үшін энергетикалық тәсіл қолданылды. Бұл жағдайда көлік жүргізу кезінде өнімсіз энергия шығындарын тікелей сипаттайтын интегралды көрсеткіштер бағаланды. Эксперименттік зерттеулер екі кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде жоғары білікті жүргізушілер экожүргізу дағдыларын көрсетті. Екінші кезеңде жүргізушілер нұсқаушымен экожүргізуді үйренді, ал арнайы құрылғы өнімсіз энергия шығындарын тіркеді. Екінші кезеңдегі эксперимент нәтижелері жүргізушілерді оқыту отын шығынын орта есеппен 13,6 % төмендетуге мүмкіндік бергенін көрсетті. Тренингтің ұзақ мерзімді әсері бар екені анықталды. Атап айтқанда, экожүргізу бойынша тренингтен кейін 3 айдан кейін отын шығынының төмендеуі 4 % құрады. Бұл жүргізушінің мінез-құлқындағы оң өзгерістерді бекіту үшін экожүргізу жаттығуларын аяқтағаннан кейін жүргізушіге ұзақ мерзімді қолдау қажет деген қорытындыға келді. Осылайша, көлік компанияларында экожүргізуді оқытуды ілгерілету отын шығындары мен CO₂ шығарындыларының айтарлықтай төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Түйін сөздер: жүк автомобильдері, отын шығыны, экожүргізу, интегралды көрсеткіштер, эксперимент, энергия шығыны.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы актуальности исследований методов минимизация потребления топлива грузовыми автомобилями, поскольку значительный вклад в глобальные выбросы вносятся в процессе автомобильных перевозок грузов. Показано, что методы экономичного вождения автотранспортных средств и навыки эконождения водителями грузовиков следует рассматривать как важный фактор снижения расхода топлива. Проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности обучения водителей навыкам эконождения. Для объективной и динамической оценки навыков эконождения был использован энергетический подход. При этом оценивались интегральные показатели, непосредственно характеризующие непроизводительные затраты энергии при вождении. Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом этапе высококвалифицированные водители демонстрировали лучшие навыки эконождения. На втором этапе водители обучались эконождению с инструктором, а специальный прибор фиксировал непроизводительные затраты энергии. Результаты эксперимента на втором этапе показали, что тренинг водителей

позволил достигнуть снижение расхода топлива в среднем на 13,6 %. Установлено, что тренинг имеет долговременный эффект. В частности, через 3 месяца после тренинга по эконождению снижение расхода топлива составило 4 %. Это позволило сделать вывод, что необходима долгосрочная поддержка водителя после завершения обучения эконождению, чтобы закрепить положительные изменения в поведении водителя. Таким образом, продвижение обучения эконождению в транспортных компаниях может привести к значительному сокращению расходов на топливо и выбросов CO₂.

Ключевые слова: грузовые автомобили, расход топлива, эконождение, интегральные показатели, эксперимент, расход энергии

Abstract. The article considers the issues of research methods relevance for minimizing fuel consumption by trucks, since a significant contribution to global emissions is made during the process of road cargo transportation. It is shown that the methods of motor vehicles economical driving and the eco-driving skills of truck drivers should be considered as an important factor in reducing fuel consumption. Experimental studies for assessment of the driver training effectiveness in eco-driving skills have been conducted. For providing an objective and dynamic assessment of eco-driving skills, an energy approach was used. At the same time, integral indicators were evaluated that directly characterize unproductive energy consumption during driving. Experimental studies were conducted by two stages. At the first stage, highly qualified drivers demonstrated the best eco-driving skills. At the second stage, drivers were trained in eco-driving by instructor, and a special device recorded unproductive energy costs. The results of the experiment at the second stage showed that driver training allowed achieving a reduction in fuel consumption by an average of 13.6%. It is established that the training has a long-term effect. In particular, 3 months after the eco-driving training, the reduction in fuel consumption was 4%. This allowed make a conclusion, that long-term support to the driver is necessary after completing eco-driving training in order to consolidate positive changes in driver behavior. Thus, the promotion of eco-driving training in transport companies can lead to a significant reduction in fuel costs and CO₂ emissions.

Keywords: trucks, fuel consumption, eco-driving, integral indicators, experiment, energy consumption

Kіpіcne. Қазақстан Республикасында пайдаланылатын автомобильдер санының тұрақты түрде өсуі, басқа мемлекеттердегідей, бірқатар жағымсыз салдарлармен қатар жүреді.

Олардың ішінде, әдетте, жол-көлік оқиғаларының (ЖКО) өсуі ерекшеленеді. Алайда, апаттардың өсуінен және олардан зардап шеккендер санынан басқа, автомобильдер санының үнемі өсуінің тағы бір жаһандық теріс салдары бар, бұл қалпына келтірілмейтін ресурстарды тұтыну – сұйық мұнай отыны және атмосфераға шығарылатын газдар.

Пайдаланылған газдардағы зиянды заттардың (көміртегі оксиді, көмірсутектер, азот оксидтері, күйе және т.б.) табиғатқа және адамға тікелей теріс әсерінен басқа, көмірқышқыл газының атмосфераға әсері де бар, бұл біздің планетамыздың жылыжай әсері мен климатының өзгеруінен көрінеді.

Сұйық мұнай отынын тұтынуды азайту үшін бірқатар техникалық және ұйымдастырушылық жобалар әзірленіп, енгізілуде. Атап айтатын болсақ, олар электромобильдерді өндіруді арттыру, ішкі жану қозғалтқыштарының отын тиімділігін арттыру, отын шығынын нормалау, бақылау және есепке алу жүйесін жетілдіру.

Сұйық мұнай отынын тұтынуды азайтудың аталған бағыттарының ішінде біз өз зерттеулерімізде көлік құралының қозғалысы кезінде отын тұтынуды қалыптастыру процесінде жүргізушінің рөліне назар аударамыз.

Сұйық отынды тұтынуды және атмосфераға шығатын CO₂ шығарындыларын азайтудың жаңа бағыттарын іздеудің өзектілігі мен аса маңыздылығын Халықаралық энергетикалық агенттік [1] атап өтті. Сондай-ақ, бұл Париждегі форумда атап өтілген жаһандық шығарындылардың өсуіне айтарлықтай үлес қосатын автомобиль көлігі екенін атап өткен жөн [2].

Егер автомобиль көлігінде отын тұтынуды азайтудың негізгі жолдары туралы айтатын болсақ, онда белгілі авторлар отын тұтынуға әсер ететін алты негізгі категорияны анықтайды, олардың арасында жүргізушінің шеберлігі де бар [2, 3, 4, 5].

Қазіргі уақытта отын [6] үнемдеу үшін бірнеше модельдер мен жүргізу алгоритмдері жасалып, сыналды. Жүргізушілерді оқытудың тиісті бағдарламаларын енгізу және жаппай пайдалану тасымалдау процесінің өнімділігін жоғалтпай отын шығынын 6-15 % азайтуға болатындығын көрсетеді [6, 7].

Жүргізушілерді көлікті үнемді басқаруға (экожүргізуге) үйрету әдістері жеке автокөлік иелері үшін шектеулі түрде қолданылатынын атап өткен жөн. Негізінен мұндай әдістер ірі және орта көлік компаниялары үшін жасалады. Автокөліктерді жаппай пайдалану кезіндегі отын шығындары тасымалдау құнының едәуір бөлігін құрайды және көлік компанияларының басшылығы отын шығындарын азайтуға мүдделі, бұл жүргізушілерді экожүргізуге қосымша оқытумен қатар мұқият дайындауға әкеледі [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Белгілі авторлар атап өткендей, экожүргізуді оқыту әдістемесін енгізуді арттыру өлшеу технологиялары мен жабдықтарының жетіспеушілігімен шектеледі [7]. Бұл зерттеуде біз бұрын [8, 11] әзірлеген және сынап көрген экожүргізу деңгейін сандық бағалау әдістемесін қолдандық. Әдістемеді энергетикалық тәсіл қолданылды, бұл арнайы құралдың көмегімен көлік ағынында автомобиль қозғалысы жағдайында экожүргізу деңгейін сипаттайтын бірқатар көрсеткіштерді тіркеуге мүмкіндік береді. Интегралды энергетикалық көрсеткіштер негізінде экожүргізу деңгейін бағалау, сондай-ақ жүргізушілерді экожүргізуге оқыту және арнайы борттық аспапты пайдалана отырып жүргізушілерді оқыту жүзеге асырылады.

Зерттеу мақсаты – жүргізушілерді экожүргізуге үйрету үшін энергетикалық тәсілдің тиімділігін және интегралды энергетикалық көрсеткіштерді бағалау.

Интегралдық энергетикалық көрсеткіштер. Интегралды энергия көрсеткіштерін пайдалану әдістемесі көлік ағынындағы автомобиль қозғалысының фазалық моделіне негізделген. Автокөліктің жүріп өткен жолының бүкіл жиынтығы көптеген циклдар түрінде ұсынылады. Олардың әрқайсысы екпіндеуден (оң үдеу), тұрақты қозғалыстан және баяу қозғалыстан (теріс үдеу) тұрады (1-сурет). Фазалық модельге сәйкес оң үдеуі бар жолдың барлық учаскелері екпіндеу фазасын құрайды – S_p , ал теріс үдеуі бар жолдың барлық учаскелері баяулау фазасы S_z болады. Тұрақты қозғалыс фазасы тұрақты жылдамдықпен (үдеусіз) өткен жол учаскелерінің жиынтығынан тұрады – S_y .

Тұрақты қозғалыс кезінде E_y қозғалтқышынан автомобильдің жетекші доңғалақтарына берілетін барлық энергия жол мен ауаның кедергісін жеңуге жұмсалады (автомобильдің қозғалысы):

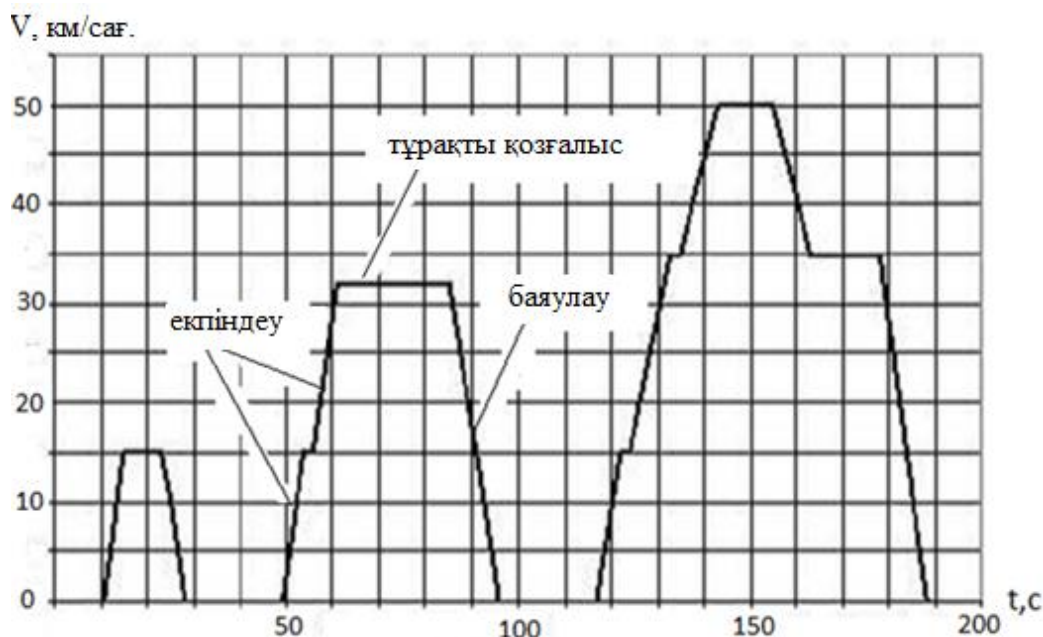
$$E_y = E_{п} = \int (P_{\psi} + P_w) ds, \text{ ДЖ} \quad (1)$$

мұндағы: S – автомобильдің жүрген жолы, м; P_{ψ} – жолдың жалпы кедергісінің күші, Н; P_w – аэродинамикалық кедергі күші, Н;

Екпіндеу фазасында автомобильдің жетекші доңғалақтарына берілетін энергия E_p автомобильді қозғауға E_y (жол мен ауа кедергісін жеңу) және кинетикалық энергияның E_k жиналуына жұмсалады:

$$E_p = E_y + E_k, \text{ ДЖ} \quad (2)$$

Автомобильді қозғауға жұмсалатын энергияны сипаттайтын тәуелділіктің бірінші қосылғышы (2) тұрақты қозғалыс фазасына ұқсас анықталады және автомобильдің берілген жүккөтергіштігі негізінде жол мен шиналардың күйінен, сондай-ақ көлік ағынының жылдамдығынан тәуелді болады.



1-сурет. Автомобиль қозғалысының циклы

Екінші қосылғаш – бұл жүріп өткен жолдағы барлық циклдар жиынтығында екпіндетуге (автомобильдің инерция күшін жеңуге) жұмсалған энергия мөлшері. Екінші қосылғышқа жүргізуші екпіндеу-баяулау циклдарынан тыс екпіндету энергиясын төмендетуге айтарлықтай әсер ете алады.

Баяулау кезеңінде, әдетте, қозғалтқышқа отын берілмеген кезде қозғалыс қозғалтқышты тежеу немесе қызметтік тежеу арқылы жүзеге асырылады. Мұндай жағдайда көліктің қозғалысы кезінде кинетикалық энергия төмендейді. Автомобиль бәсеңдету фазасында E_3 қозғалғанда жұмсалған энергия екпіндеу фазасында алынған кинетикалық энергияға тең болады:

$$E_3 = E_k, \text{ Дж} \quad (3)$$

Интегралды энергетикалық көрсеткіштерді анықтаудың теориялық мәселелерін біз бұрын қарастырдық [11]. E_3 энергиясы ішінара автомобильді жылжыту үшін пайдаланылады және ішінара тежеу кезінде таралады:

$$E_3 = E_{II} + E_T, \text{ Дж} \quad (4)$$

(4) теңдеудің бірінші қосылғышы, екпіндеу және тұрақты қозғалыс фазаларында сияқты, негізінен жол мен шиналардың күйіне тәуелді болады. Жүргізуші E_n төмендеуіне әсер ете алмайды. Екінші қосылғыш тежеу қарқындылығынан тәуелді және жүргізу стиліне байланысты айтарлықтай өзгереді. Мысалы, спорттық жүргізу стилі қарқынды тежеулермен сипатталады. Олар тежеу механизмдерінде айтарлықтай энергия шығынын жұмсайды. Көлік ағыны жағдайында дағдылары мен тәжірибесі бар жүргізушілер жиі және күрт тежеуді болдырмауға тырысады. Бұл оларға пайдалы жұмыс (көлікті жылжыту) үшін жинақталған кинетикалық энергияны ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді. Сондықтан, қозғалыс жағдайлары тең болған кезде, E_m экожүргізу шеберлігін бағалау үшін қолданылады. E_m келесідей анықталады:

$$E_T = E_3 - E_{II}, \text{ Дж} \quad (5)$$

Автомобильдің жетекші доңғалақтарына берілетін қозғалтқыштың жалпы энергиясы E_{Σ} бүкіл маршрутта екпіндеу және тұрақты қозғалыс фазаларының тиісті энергиясынан тұрады, баяулау фазасында қозғалтқыштан энергия берілмейді:

$$E_{\Sigma} = E_p + E_y = E_{II} + E_T. \quad (6)$$

Бұрын біз әзірлеген келтірілген энергетикалық көрсеткіштерді анықтаудың оңайлатылған әдісі – белгілі бір үдеу диапазонында автомобильдің нақты бағамдық (бойлық) үдеулерінің бүкіл спектрін диапазонға бөлу, автомобильдің қозғалысы мен оның жүріп өткен жолындағы бағамдық үдеулерді өлшеу болып табылады. Әдістің толық сипаттамасы мақалалар мен өнертабыстарда берілген [8, 11]. Энергетикалық тәсілдің алғашқы практикалық қолданылуы төмендегілерді көрсетті [11]:

- қалалық жағдайда E_T жалпы энергия шығындарының шамамен 30-35 % құрайды;
- бір маршрутта әртүрлі жүргізушілер болғанда отын шығыны мен тежегіш құрылғыларында таралатын энергияның E_T айтарлықтай айырмашылықтары тіркелді;
- айтарлықтай жұмыс тәжірибесі бар кейбір жүргізушілер көлік ағынындағы қозғалыс режимдерін бұзбай, E_T энергиясы мен отын шығынының төмен мәндерін үнемі қамтамасыз етеді;
- үшінші дәрежелі жүргізушілермен бірінші дәрежелі жүргізушілерді салыстырғанда E_T орташа есеппен 25 % төмендеді.

Алғашқы эксперименттік тіркеу кезінде алынған интегралды энергетикалық көрсеткіштерді талдаудан көріп отырғанымыздай, жүргізушілерде екпіндеу-тежеу циклдарында энергияның өнімсіз шығындарын қысқарту бойынша айтарлықтай қор бар (E_T -дан 25 %-ға дейін және отын шығынынан 8,8 %-ға дейін). Экожүргізу деңгейін бағалау кезінде жоғары деңгейлі жүргізушілердің тәжірибесін кеңінен тарату үшін жүргізушілерге келесі нұсқаулар жасалды.

Екпіндету кезінде:

– көлік ағынының микроциклдерінде екпіндеудің артық қарқындылығын төмендету. Барлық режимді реттегіш түрі бар дизельді автомобильдер үшін беріліс қорабының жоғары берілісінде екпіндету арқылы жүзеге асырылады;

– аялдаманы немесе көлік ағынының жылдамдығын төмендетуді талап ететін жол жағдайының өзгеруін болжауда олардың соңғы жылдамдығын төмендету.

Баяулау кезінде:

– шұғыл (апаттық) және қызметтік тежеулерді пайдалануды барынша азайту, оларды тек қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету қажет болған жағдайда ғана қолдану;

– қозғалыс қауіпсіздігіне және автомобильдің орташа пайдалану жылдамдығына нұқсан келтірместен қызметтік тежеу орнына жылдамдықты неғұрлым баяу төмендеті отырып (қозғалтқышпен тежеу және еркін жүріс) қозғалыс режимдерін қолдану мақсатында жол жағдайын болжау.

Осылайша, жүргізушілердің отын шығынын азайту бойынша резервтерін анықтау және энергетикалық тәсіл негізінде жүргізушілерді экожүргізуге оқыту арқылы жүргізушілерді ауқымды эксперименттік бағалау үшін интегралды энергетикалық көрсеткіштерді қолдану бойынша әдістемелік және техникалық негіз құрылды.

Эксперимент. Эксперименттің мақсаты экожүргізуді оқытуға және оны бағалау үшін энергетикалық тәсіл қолданылды. Оқу кезінде индикаторы бар тіркеу құралы қолданылды. Құрылғыда тіркелген энергетикалық көрсеткіштер жүк көлігі жүргізушілерінің жүргізу стилін талдауға мүмкіндік берді.

Оқу сатысында аспаптың индикациясы екпіндеу және баяулау режимдерінде шамадан тыс энергия шығынын көрсетті. Шамадан тыс энергия шығынын бағалау кезінде құрылғы бақыланатын автомобиль мен жүргізушінің жоғары қарқындылықтағы

үдеу мен баяулау диапазонында жүріп өткен жолдың үлесін тіркеді. Үйретудің әсерін бағалау үшін үйретуге дейін және одан кейін тіркелген энергия көрсеткіштері салыстырылды.

Әдіс. Жүргізуді оқытудың тиімділігін бағалау ірі көлік компаниясында жүргізілді. Қозғалыс жағдайлары мен маршруттардың тұрақтылығы, автомобиль мен жүктеменің бірдей түрі қамтамасыз етілді. Бұл эксперимент үшін 30 үшінші сыныпты жүргізушілер тобы тартылды. Жүргізушілердің көлік қызметтерінің осы түрі бойынша бір жылдан жеті жылға дейін өз бетінше жұмыс істеу тәжірибесі болды. Автокөлік борттық тіркеу құралымен жабдықталған.

Энергетикалық көрсеткіштер мен отын шығынын тіркеуден басқа, құрылғы энергияның шамадан тыс тұтынылуын көрсетеді. Ол үшін құралдың бағдарламасына жүк көлігінің осы түрі үшін E_p және T_z оңтайлы мәндері енгізілді, олар маршрут бойынша қозғалыс уақытының әр сәтіндегі нақты энергетикалық көрсеткіштермен салыстырылды. Мәндер оңтайлы диапазоннан асқан кезде, ол мониторда қызыл түспен көрсетіледі.

Эксперименттің жалпы әдістемелік идеясы таңдалған топтағы барлық жүргізушілер өздерінің қалыпты жұмысын жақсы техникалық жағдайда бір көлікте дәйекті түрде орындады. Жүргізушілердің көлікке және маршрутқа үйренуі үшін болған бірнеше сапардан кейін бақылау сапарлары жасалды. Оның барысында құрал қажетті көрсеткіштерді тіркеді, олар жүргізуші шеберлігінің бастапқы деңгейін сипаттады. Содан кейін нұсқаушы (барлық жүргізушілер үшін бір адам) негізгі энергетикалық көрсеткіштерге талдау жасады.

Талдау негізінде жүргізушіге оның жүргізу стилінің негізгі кемшіліктері көрсетілді және экожүргізу әдістерін қолдану бойынша ұсыныстар берілді. Ұсыныстарда келесі кеңестер болды: тежеуді азайту, қозғалтқышпен тежеуді пайдалану, қозғалтқыштың төмен айналуын қамтамасыз ету және екпіндету үдеуін азайту үшін жоғары берілістерге жылдам ауыстыру. Осыған ұқсас принциптер Швецияда [7] жүзеге асырылған EcoDriving бағдарламасында қолданылғанын атап өткен жөн.

Нұсқаулықтан кейін келесі сапар жасалды, оның барысында тежеу фазасында артық энергия шығыны және екпіндеу фазасында кинетикалық энергияның артық өсуі индикаторы енгізілді. Индикатор жүргізушіге динамикалық кері байланыс берді, ал нұсқаушы әр жағдайда жол жағдайлары мен қажетті әрекеттерді болжауға қатысты кеңес берді. Индикатор жүргізушіге нақты үдеу мен баяулаудың субъективті қабылдауын ұсынылған мәндермен салыстыруға және негізсіз күрт тежелулер мен үдеулерден аулақ болуға көмектесті. Жүргізушінің келесі сапарлары дербес жүргізілді, бұл ретте бағалау көрсеткіштері тіркелді.

Оқытудың ұзақ мерзімді әсерін бағалау үшін компаниядан отын шығыны туралы мәліметтер сұралды. Деректер құйылған отын мөлшерін және оқудан өткен жүргізушілер басқаратын көлік құралдарының спидометрлерінің көрсеткіштерін қамтыды. Үйретуден үш ай бұрынғы және оқудан кейінгі орташа отын шығыны туралы деректер салыстырылды.

Алынған нәтижелер. Оқуға дейінгі және оқудан кейінгі тіркелген энергия көрсеткіштері және басқа жүргізу стилінің сипаттамалары 1-кестеде келтірілген. Жүргізу көрсеткіштеріндегі айырмашылықтарды тексеру үшін жұптастырылған үлгілердің t-критерийі пайдаланылды. Маңызды өзгерістер жұлдызшалармен белгіленген.

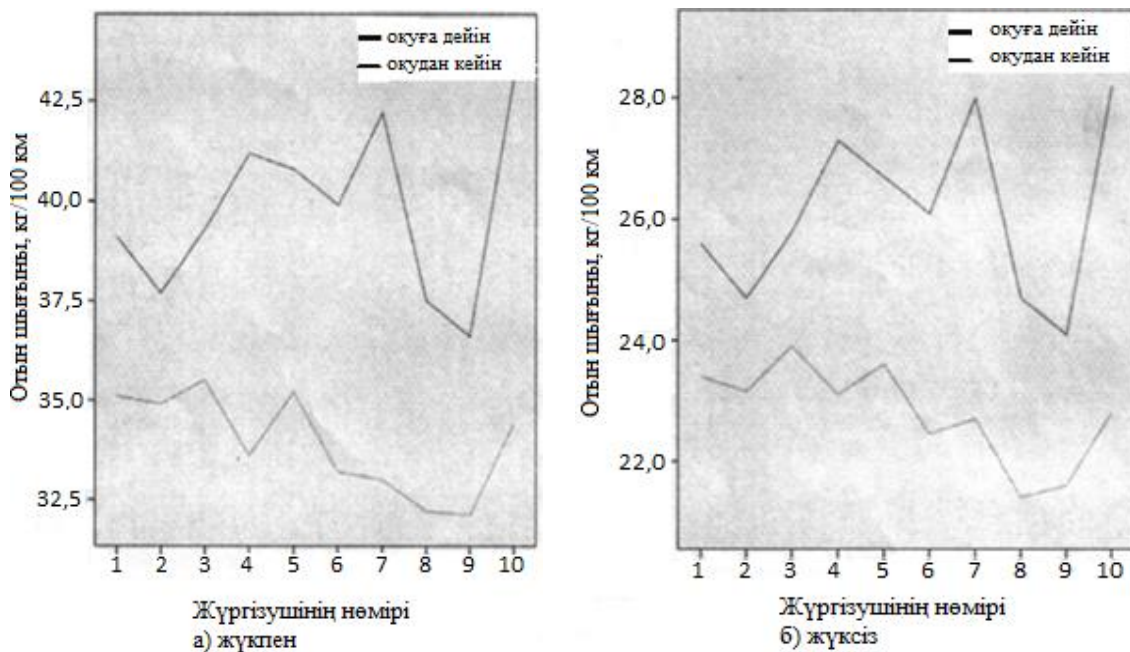
Жаттығудан кейінгі орташа отын шығыны 4,55 л (13,6 %) төмендеді. Жүкпен қозғалыс кезінде 14,6 % ($t = 8,496$, $p = 0,000$) және жүксіз қозғалыс кезінде 12,6 % ($t = 7,789$, $p = 0,000$) (1-сурет). Жаттығу энергетикалық көрсеткіштерге де айтарлықтай әсер етті. Екі жағдай үшін де (жүктемемен және жүктемесіз) E_{Σ} , U_p және U_z айтарлықтай төмендеді.

Орташа алғанда, E_{Σ} 12,3 %, E_p 13,9 % және E_s 23,3 % төмендеді. Жаттығуға дейін және одан кейін тіркелген жылдамдықтың дисперсиясы шамалы өзгерді, яғни бұл фактор жоғарыда аталған параметрлерге айтарлықтай әсер еткен жоқ.

1-кесте. Оқуға дейінгі және оқудан кейінгі жүргізушілер тобы бойынша орташа көрсеткіштер (N = 30)

Параметр	Өлшем бірлігі	Жүкпен	Жүкпен	Өзгеріс, %	t-value	Жүксіз	Жүксіз	Өзгеріс, %	t-value
		Оқуға дейін	Оқудан кейін			Оқуға дейін	Оқудан кейін		
N_o	1/km	0,63	0,61	-3,3*	4,581	0,59	0,56	-5*	4,604
V	km/h	38,1	39	2,3		43,0	41,4	-3,7	
Q_s	kg/100 km	39,7	33,9	-14,6**	8,496	26,1	22,8	-12,6**	7,789
E_{Σ}	МДж/100 km	495,9	429,7	-13,3**	8,081	319,5	285,2	-10,7*	4,775
E_p	МДж/100 km	423,5	363,1	-14,3**	8,706	278,9	241,3	-13,5**	7,898
E_y	МДж/100 km	72,4	66,6	-8,01		40,6	43,9	8,2	
E_s	МДж/100 km	227,6	173,2	-23,9**	14,988	161,0	124,3	-22,8**	13,531
S_{33}	%	2,05	1,43	-30,2**	18,950	3,67	2,49	-32,2**	19,311
S_{34}	%	0,81	0,48	-40,7**	25,621	1,09	0,59	-45,9**	28,010

** $p < .001$. * $p < .005$.



2-сурет. Оқудан бұрын және кейін жүргізушілер тобы бойынша отын шығыны

Қарқынды тежелуді сипаттайтын екі баяулау диапазонында өткен жол (S_3 , -1-ден -1,5 м/с²-ге дейін және S_4 , -1,6-дан -8 м/с²-ге дейін) сәйкесінше 31,2 % және 43,3 % төмендеді. Қарқынды үдеу диапазонында өткен жолды сипаттайтын көрсеткіштердің белгісіздігіне байланысты біз оларды осы мақалада талдамаймыз.

Үйренуден үш ай бұрын және одан кейінгі орташа отын шығынын салыстыру отын шығынының 4 % төмендегенін көрсетті ($t = 8,241$, $p = 0,000$).

Талқылау. Көлік жүргізуді үйрену отын шығынына айтарлықтай әсер етті. Орташа есеппен 13,6 % қысқа мерзімді төмендеу басқа зерттеулердің нәтижелеріне сәйкес келеді [14, 15]. Нұсқаушылар жүргізген энергия көрсеткіштерін жедел талдау жүргізушілердің тренингте оқытылатын принциптерді қалай жүзеге асыратынын көрсетті және олар отын шығынын азайтудың барлық ұсынылған әдістерін қолданатынын атап өтті (қажетсіз екпіндету мен тежеулерден аулақ болу, қозғалтқыштың тежелуін қолдану және т.б.). Жүргізушілердің екпіндеу және баяулау кезіндегі мінез-құлықтарындағы өзгерістер жүкпен жүру кезінде отын үнемдеуге әкелді. Бұл факт жүктерді тасымалдайтын көлік компанияларында экожүргізу бойынша оқытуды енгізудің маңыздылығын растайды.

Экожүргізуге үйренудің ұзақ мерзімді әсері орташа болды, отын шығыны 4 % төмендеді. Мұнда біз тренинг аяқталғаннан кейін экожүргізу принциптерін қолдануға қызығушылық мәселесіне тап боламыз. Сонымен қатар, жүргізушілер экожүргізудің кейбір аспектілерін (қозғалтқыштың төмен жылдамдықтағы жұмысы, жоғары берілістерге ауысу) қолдану қиынырақ деп санайды. Экожүргізуді тиімді жүзеге асыру үшін жүргізушілерге экожүргізу принциптері туралы теориялық білімнің автоматты түрде қолданылатын практикалық дағдыларға ауысқанға дейін ұзақ мерзімді қолдау көрсету қажет (электронды құрылғылардың көмегімен немесе нұсқаушының көмегімен) [14].

Энергетикалық тәсілге сәйкес эксперименттік деректерді келесідей талдауға болады. Отын шығынының өзгеруіне себеп болған негізгі фактор екпіндеу энергиясының төмендеуі және оның тежеу кезінде таралатын үлесі болды. V_p және V_z сәйкесінше 14 және 23 % азайды. Ал қозғалтқыштан жетек доңғалақтарына жеткізілетін жалпы энергия орта есеппен 12 % азайды. E_p мен E_c -ның төмендеуі екпіндеу мен тежелудің қарқындылығын төмендету және қозғалыс фазалары мен үдеу диапазондарында жүретін жолды қайта бөлу арқылы қол жеткізілді. Сонымен, қарқынды тежелуді сипаттайтын диапазондарда жүріп өткен жол қысқарды. Бұл тренингке қатысқан жүргізушілер тежеудің жоғары қарқындылығы айтарлықтай төмендеген кезде жол жағдайларын болжауға сәйкес екпіндеу мен тежеу қарқындылығын басқара бастағанын көрсетеді.

Жоғары үдеу мәндерімен екпіндеу режимінде өткен жолдың үлесін азайту жоғары берілістерді пайдалану арқылы мүмкін болды. Бұл беріліс қорабының орташа беріліс санының өзгеруімен (азаюымен) расталды.

Жоғарыда көрсетілгендей, энергия көрсеткіштерін талдау жүргізушілердің көлік жүргізу кезіндегі әрекеттерінің сипатын, сондай-ақ оның оқу процесіндегі өзгерістерін сандық бағалауға мүмкіндік береді. Осылайша, энергетикалық тәсілді экожүргізу сапасын бағалау және экожүргізуді оқыту үшін сәтті пайдалануға болады.

Шектеулер. Өлшеу қателері. Біздің экспериментте екі типтегі қателер пайда болуы мүмкін: өлшеу құрылғысының (спидометрдің) дәлсіздігінен өлшеу қателері және өлшеу әдісіне байланысты қателер.

Спидометрлерді өлшеудің рұқсат етілген қателіктері БҰҰ Экономикалық Комиссиясының (БҰҰ ЕЭК, 2003 ж.) № 39 регламентінде көрсетілген. Тәжірибеде қолданылатын жүк көлігінің түрі үшін ол 5 %-дан аспайды. Спидометр қатесі жүйелі қате болып табылады және бір автомобиль үшін тұрақты болып келеді. Бұл қате бір жүк көлігін пайдалану арқылы жойылды.

Жол жағдайларының өзгеруіне байланысты өлшеу әдісінің қателігі жол жағдайларының ықтималдық моделін қолдану арқылы бағаланды. Жүк көліктері жүретін жол тегіс деп жіктелді. Есептелген өлшеу қателігі 3,15 % құрады.

Аралас айнымалылар. Екі эксперименттің нәтижелеріне әсер етуі мүмкін, бірақ деректерді талдау кезінде ескерілмеген кейбір аралас айнымалыларды атап өткен жөн. Біріншіден, автокөлікпен тасымалданатын жүктің салмағы техникалық тиеу жағдайларына байланысты рейстен рейске ауысуы мүмкін. Біздің бағалауымыз бойынша ауытқулар 5 %-дан аспайды. Көрсеткіштерді өлшеу бірнеше рейстерде жүргізілгендіктен және жүктің салмағындағы ықтимал айырмашылықтар кездейсоқ болғандықтан, біз бұл фактор анықталған топтар арасындағы айырмашылықтарға айтарлықтай әсер етпеді деп есептейміз.

Отын шығыны көрсеткіштеріне әсер етуі мүмкін екінші фактор – сыртқы температура. Экожүргізуді оқытудың тиімділігін бағалаудағы отын шығыны жалғыз критерий болмағандықтан, температураның ықтимал ауытқуы айтарлықтай бұрмалаушы фактор ретінде қарастырылмады. Ақырында, сапар кезінде орын алуы мүмкін төтенше тежеу біз тұрақты жүргізу дағдысын сипаттайтын E_T айнымалысына әсер етуі мүмкін. Мұнда біз жол немесе көлік жағдайларын жеткіліксіз болжау нәтижесінде төтенше тежеуді және бақыланбайтын жағдайларға байланысты төтенше тежеуді (мысалы, басқа жүргізуші тудырған жол-көлік оқиғасы) ажыратуымыз керек. Біріншісін экожүргізу дағдыларының төмен деңгейі деп түсіндіруге болады, екіншісі өте сирек кездеседі.

Жалпы тұжырымдар. Көлік компанияларында отын шығындары шығындардың көп бөлігін құрайды, сондықтан қызметкерлерді экологиялық жүргізу стратегияларына үйрету айтарлықтай қызығушылық тудырады. Сонымен қатар, мұндай компанияларда экожүргізуді ілгерілету қазба отындарын тұтынуды және оларды жағуға байланысты CO_2 шығарындыларын азайту арқылы климаттың өзгеруі жөніндегі бастамаларды жүзеге асыруға ықпал етеді. Дегенмен, компанияларда экожүргізу дағдыларын бағалауға арналған құралдар көбінесе жетіспейді.

Экожүргізу дағдыларын бағалауда энергетикалық тәсілді қолдану келесі артықшылықтарды береді:

- энергетикалық көрсеткіштер экожүргізу дағдысын объективті (сандық) бағалауға мүмкіндік береді;
- бағалау рәсімі автоматтандырылуы мүмкін (жүргізушінің энергетикалық көрсеткіштері бағдарламалық түрде тіркеледі және нормативтік мәндермен салыстырылады);
- энергетикалық көрсеткіштер тахометрмен тіркелген жылдамдық пен қашықтық мәндері бойынша есептеледі, сондықтан бұл технологияны меңгеру өте оңай;
- энергетикалық көрсеткіштерді уақыттың әр сәтіндегі нормативтік көрсеткіштермен салыстыру жүргізушіге оның қазіргі жүргізу стилі туралы жедел кері байланыс беруге мүмкіндік береді;
- энергетикалық көрсеткіштерді талдау барысында үйретушіге жүргізушінің жүргізу стилінің кемшіліктерін түсіндіруге көмектеседі.

Нәтижелер басқа зерттеулердің нәтижелерімен сәйкес келеді [14, 15]. Осылайша, жүргізушілерді тұрақты жүргізу дағдыларына үйрету отын шығынын азайтуға айтарлықтай әлеуетке ие. Отын шығындарын азайту перспективасы көлік компанияларын қызметкерлерді экологиялық жүргізу стратегияларына оқытуға инвестициялауға итермелеуі мүмкін.

Энергетикалық тәсілдің маңызды артықшылығы – отын шығынын тікелей өлшемей-ақ экожүргізу дағдыларын бағалау мүмкіндігі. Соңғысы белгілі бір қиындықтарға байланысты болуы мүмкін. Энергетикалық айнымалыларды қажет болған жағдайда отын шығыны мәндеріне айналдыруға болады және оларды дәстүрлі жүк көліктерінің орнына

қолданған кезде электромобильдер үшін пайдалануға болады. Сонымен қатар, энергия көрсеткіштері кондиционер жүйесінің жұмысына немесе, мысалы, отын сапасына емес, тек қозғалыс пен жүргізу стилінің сипаттамаларына (экожүргізу дағдыларының деңгейіне) байланысты энергия шығыны факторларын білдіреді.

Экожүргізу дағдыларын бағалаудағы энергетикалық тәсіл энергетикалық көрсеткіштерді есептейтін бағдарламалық құралмен жабдықталған құрылғыны құрастыру арқылы немесе бағдарламалық құралды тікелей борттық компьютерге орнату арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Бірінші тәсіл энергетикалық көрсеткіштерді есепке алу құралдарын сериялық өндіріске енгізуді және көлік компанияларын оларды пайдалануға ынталандыруды талап етеді. Бұл жағдайда технологияны енгізу ауқымы өте қарапайым болады. Екінші тәсіл автомобиль өндірушілерімен ынтымақтастықты қамтиды және технологияны жаппай пайдалануға мүмкіндік береді. Дегенмен, екі жағдайда да құрылғы немесе бағдарламалық құрал жүргізушілерге экожүргізуді үйренудің тұрақты әсерін қамтамасыз ету үшін қажетті ұзақ мерзімді қолдауды қамтамасыз етеді.

Жалпы көлік компанияларында экожүргізу стратегиясын іске асырудың екі қадамын ұсынуға болады:

1. Ірі көлік компанияларының қызметкерлері үшін экожүргізу дағдыларды бағалауды енгізу, бұл сонымен қатар экожүргізуді оқытудың әлеуетті пайдасын есептеуге мүмкіндік береді.

2. Экожүргізу дағдылары төмен жүргізушілерге экожүргізуді оқытуды енгізу.

Жүргізушілерге экожүргізу дағдыларын сәтті үйретуге болатындығы жаңа нәрсе емес. Мақсат – мұны ең тиімді жолмен жасау. Осы зерттеуде энергетикалық көрсеткіштердің мәндерімен суреттелген жүргізу стилінің кемшіліктерін онлайн талдау нұсқаушыларға экожүргізуді оқытудың жоғары сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. Өкінішке орай, басқа зерттеулерде анықталғандай, экожүргізуді жақсы үйрету жүргізушінің алған дағдыларын күнделікті жүргізу тәжірибесінде қолдануына кепілдік бермейді. Осылайша, біз экожүргізу дағдыларының қаншалықты қолданылатынын бақылайтын және теориялық білімді жасырын дағдыларға аударуға көмектесетін экожүргізуді үйретуді аяқтағаннан кейін жүргізушіні ұзақ мерзімді қолдау қажеттілігін көреміз.

Әдебиеттер тізімі

1. IEA, 2014. CO2 emissions from fuel combustion, 2014 ed. International Energy Agency, Paris, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/C02EmissionsTrends.pdf> (accessed on 29.03.2016).
2. Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., Van Aerde, M., 2002. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. *J. Transport. Eng.* 128 (2), 182-190.
3. Z Yao, Y Wang, B Liu, B Zhao, Y Jiang. Fuel consumption and transportation emissions evaluation of mixed traffic flow with connected automated vehicles and human-driven vehicles on expressway. - *Energy*, 2021 - Elsevier, Volume 230, September 1, 2021, 120766
4. Golbasi, O.; Kina, E. Haul. Truck fuel consumption modeling under random operating conditions: A case study. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2022, 102, 103135.
5. Y Wang, C Lin, B Zhao, B Gong, H Liu. Trajectory-based vehicle emission evaluation for signalized intersection using roadside LiDAR data - *Journal of Cleaner Production*, 2024 - Elsevier, 440(3):1409713.
6. Saboohi, Y., Farzaneh, H., 2009. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. *Appl. Energy* 86 (10), 1925-1932.
7. af Wahlberg, A.E., 2007. Long-term effects of training in economical driving: fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. *Int. J. Ind. Ergon.* 37, 333-343.
8. Завалко А.Г. Способ оценки качества экономичного управления автомобилем [Технология оценки качества экономичного вождения. Патент Республики Казахстан №22396. Информационный бюллетень № 3, 15.03.2010. Астана: Национальный институт интеллектуальной собственности

9. Q Lin, SE Li, S Xu, X Du, D Yang. Eco-driving operation of connected vehicle with V2I communication among multiple signalized intersections. - IEEE International Conference on Intelligent Engineering System, 2020 - ieeexplore.ieee.org
10. J Hu, J Li, F Xiao, Z Sun, H Peng. Multistage prediction based eco-driving control for connected and automated plug-in hybrid electric vehicles, - Journals IEEE (institute of Electrical and Electronics Engineers), 10.1109/TTE. 2024. 3371461
11. Завалко А.Г., Муздыбаев М.С., Мырзабекова Д.М., Муздыбаева А.С. Автомобильді үнемді басқару сапасын бағалау үшін энергетикалық көрсеткіштерді қолдану мүмкіндіктерін талдау. Вестник ВКТУ, №1, 2023г., 77-90. DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_77
12. Ruru Hao & Hangzheng Yang & Zhou Zhou, 2019. "Driving Behavior Evaluation Model Base on Big Data From Internet of Vehicles," International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI), IGI Global, vol. 10(4), pages 78-95, October.
13. E. Evin, M.B. Aydin, G. Kardas. Proyektirovaniye i vnedreniye sistemy ekologicheskogo vozhdeniya na baze CANBus dlya avtobusov obshchestvennogo transporta. - Dostup IEEE, 2020 g. - ieeexplore.ieee.org
14. Stromberg, H.K., Karlsson, I.C.M.A., 2013. Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers - results from a field trial. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 22, 28-33.
15. Barth, M., Boriboonsomsin, K., 2009. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 14 (6), 400-410.

References

1. IEA, 2014. CO2 emissions from fuel combustion, 2014 ed. International Energy Agency, Paris, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsTrends.pdf> (accessed on 29.03.2016).
2. Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., Van Aerde, M., 2002. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. J.Transport. Eng. 128 (2), 182-190.
3. Z Yao, Y Wang, B Liu, B Zhao, Y Jiang. Fuel consumption and transportation emissions evaluation of mixed traffic flow with connected automated vehicles and human-driven vehicles on expressway. - Energy, 2021 - Elsevier, Volume 230, September 1, 2021, 120766
4. Golbasi, O.; Kina, E. Haul. Truck fuel consumption modeling under random operating conditions: A case study. Transp. Res. Part D Transp. Environ. 2022, 102, 103135.
5. Y Wang, C Lin, B Zhao, B Gong, H Liu. Trajectory-based vehicle emission evaluation for signalized intersection using roadside LiDAR data - Journal of Cleaner Production, 2024 - Elsevier, 440(3):140971
6. Saboohi, Y., Farzaneh, H., 2009. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. Appl. Energy 86 (10), 1925-1932.
7. af Wahlberg, A.E., 2007. Long-term effects of training in economical driving: fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. Int. J. Ind. Ergon. 37, 333-343.
8. Zavalko A.G. A technology of economical driving quality assessment. Republic of Kazakhstan Patent No.22396. Newsletter No.3, 15.03.2010. Astana: The National Institute of Intellectual Property.
9. QLin, SELi, SXu, XDu, DYang. Eco-driving operation of connected vehicle with V2I communication among multiple signalized intersections. - IEEE International Conference on Intelligent Engineering System, 2020 - ieeexplore.ieee.org
10. J Hu, J Li, F Xiao, Z Sun, H Peng. Multistage prediction based eco-driving control for connected and automated plug-in hybrid electric vehicles, - Journals IEEE (institute of Electrical and Electronics Engineers), 10.1109/TTE. 2024. 3371461
11. A. G. Zavalko, M. S. Muzdybayev, D. M. Myrzabekova, A. S. Muzdybayeva. Analysis of the possibilities of using energy indicators to assess the quality of economical car Management. Vestnik VKTU, No. 1, 2023g., 77-90. DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_77
12. Ruru Hao & Hangzheng Yang & Zhou Zhou, 2019. "Driving Behavior Evaluation Model Base on Big Data From Internet of Vehicles," International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI), IGI Global, vol. 10(4), pages 78-95, October.
13. E. Evin, M.B. Aydin, G. Kardas. Proyektirovaniye i vnedreniye sistemy ekologicheskogo vozhdeniya na baze CANBus dlya avtobusov obshchestvennogo transporta. - Dostup IEEE, 2020 g. - ieeexplore.ieee.org
14. Stromberg, H.K., Karlsson, I.C.M.A., 2013. Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers - results from a field trial. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 22, 28-33.
15. Barth, M., Boriboonsomsin, K., 2009. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. Transport. Res. Part D: Transp. Environ. 14 (6), 400-410.

АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_38
MFTAA 50.43.15

Д.О. Кожаметова¹, А.Ж. Адылканова², Д.Т. Курушбаева², И.Б. Карымсакова⁴

«Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей қ, Қазақстан

¹E-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru*

²E-mail: aiko6a8383@mail.ru

³E-mail: sh_din097@mail.ru

⁴E-mail: indviki@mail.ru

АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА БАСҚАРУ АЛГОРИТМІ НЕГІЗІНДЕ КАТАЛИТИКАЛЫҚ КРЕКИНГ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҮРДІСІ ЕСЕБІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ

FORMATION OF THE PROBLEM OF A TECHNOLOGICAL PROCESS OF CATALYTIC CRACKING BASED ON A FUZZY CONTROL ALGORITHM

Аңдатпа. Мақалада Атырау мұнай өңдеу зауытының каталитикалық крекинг қондырғысы мысалында технологиялық үрдіс жұмыс режимін оптимизациялау есебі формализациясы қарастырылды. Бастапқы ақпараттың айқынсыздық жағдайына, көпкритерийлік мәселесін шешу үшін компромистік сұлба мен оптималдық принцип идеясы пайдаланылды. Атырау мұнайөңдеу зауытының каталитикалық крекинг қондырғысын басқару жүйесінде жүргізілген зерттеулер нәтижелері алынды. Логикалық «егер..., онда...» қорытынды түрінде технологиялық жағдайдың туындауы кезінде басқарудың мәліметтер ережесін пайдаланып, Matlab Fuzzy Logic Toolbox ортасында реакторды айқын емес ортада басқару есебі келтірілді.

Түйін сөздер: модельдеу; оптимизациялау; айқын емес орта; көпкритерийлік жүйе; каталитикалық крекинг; Fuzzy Logic.

Аннотация. В статье рассмотрена формализация расчета оптимизации режима работы технологического процесса на примере установки каталитического крекинга Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Для решения проблемы нечеткой исходной информации, многокритериальности использовалась идея компромиссной схемы и принципы оптимальности. Представлены результаты исследований, проведенных в системе управления установкой каталитического крекинга Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Приведен расчет управления реактором в нечеткой среде с использованием Matlab Fuzzy Logic Toolbox.

Ключевые слова: моделирование; оптимизация; нечеткая среда; многокритериальная система; каталитический крекинг; Fuzzy Logic.

Abstract. The article considers formalization of calculation of optimization of operating mode of technological process on example of installation of catalytic cracking of Atyrau oil refinery. To solve the problem of fuzzy source information, multi-criteria, the idea of compromise scheme and principles of optimality was used. The results of research conducted in the system of management of the catalytic cracking plant of Atyrau Refinery. Calculation of reactor control in fuzzy environment using Matlab Fuzzy Logic Toolbox is resulted.

Keywords: modeling; optimization; fuzzy environment; multi-criteria system; catalytic cracking; fuzzy logic.

Кіріспе. Қазіргі таңда ғылым мен техниканың дамуы мен мұнай өңдеу нысандарының технологиялық өндірістері, үзіліссіз күрделенуде және олар өзара байланысқан көптеген экономикалық, экологиялық сипаттағы критерийлермен сипатталады. Мұнай шикізаты-

ның каталитикалық крекингі технологиялық үрдісін автоматтандыру экономикалық тиімді болып табылады. Крекингты автоматты басқару жүйесі, мұнайөндеудің басқа үрдісіне қарағанда, пайыздық тұрғыдан жоғары [1].

Каталитикалық крекинг қондырғысының жұмысы технологиялық процесс параметрін қатаң сақтауды талап етеді. Технологиялық процесстің неғұрлым маңызды параметрлеі көрсетілген параметрлерді автоматты реттеу көмегімен қолдап отырылады. Каталитикалық крекинг қондырғысында температураны мен қысымды, тағы басқада өлшеу аспаптарын бақылау және реттеу үшін жүйелік талдау негізінде басқару бойынша тиімді шешім қабылдау, көпкритерийлік оптимизациялау әдістері қолданылды [2].

Каталитикалық крекинг жүйесін басқаруға көптеген ғылыми жұмыстар жарық көрді. Алғашқы мақала каталитикалық крекинг қондырғысына басқару режимінде ЭЕМ қосу 1961 жылы жарық көрді. Standart oil of California фирмасына тиесілі зауытында қондырғыға автоматты басқару жүйесі енгізіліп, тәулігіне 6400 тонна өнім өндірілді. Жүйе ақпаратты жинап, өңдеп және үрдіс туралы ақпарат беріп отырды, сонымен қатар оператордың ақыл кеңесі режимінде қондырғы жұмысын оптимизациялауды жүзеге асырды.

Каталитикалық крекингтің автоматты басқару жүйесінің бұдан ары дамуы неғұрлым жетілдірілген техниканы қолданумен, жүйе функцияларының ұлғаюы қатар жүрді. Есептеу техникасы оператордың басқару режимінен цифрлық басқаруға тікелей көшті, маңызды дамулар жүйенің ақпараттық функцияларын алды [3, 4].

Мақалада Атырау мұнайөндеу зауытының каталитикалық крекинг қондырғысын басқару жүйесінде жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алынған мысалдар келтірілген. Заманауи мұнай өндеу өндірістері жүретін үрдіс өз-ара байланысқан, көп режимді ішкі жүйелермен сипатталады.

Мұнай өндеудің технологиялық жүйесіне жүйелік математикалық модельдеу әдісін пайдалану кезінде нақты модельдеу мақсатын анықтап алу қажет. Шынайы қалыптасқан жүйені толық құру мүмкін емес – қойылған мәселеге қарай мұнай өндеудің зерттелетін технологиялық қондырғысының математикалық моделі құрылады. Осылайша, қажетті мақсатта модельдеу үшін құратын модельге қандай параметрлердің кіретінін, критерийларды таңдап, бағалауға мүмкіндік береді.

Іс жүзінде бастапқы ақпараттың айқынсыздығымен сипатталатын, көпкритерийлі технологиялық үрдістің оңтайлы жұмыс режимдерін таңдау туралы шешім қабылдай отырып, тиімді басқару қажеттілігі жиі туындайды. Шынайы технологиялық нысандардың өлшеу параметрлерінің көптігі мен көпкритерийлігі, бастапқы ақпараттың айқынсыздығы үрдісті тиімді басқаруды күрделендіреді.

Ұсынылған мақаланың мақсаты көпөлшемді технологиялық нысандардың бастапқы ақпаратының айқынсыздығын ескере отырып, эвристика негізінде диалогтық режимде жұмыс істейтін тиімді тәсіл қалыптастыру, шешім қабылдау міндеттерін рәсімдеу.

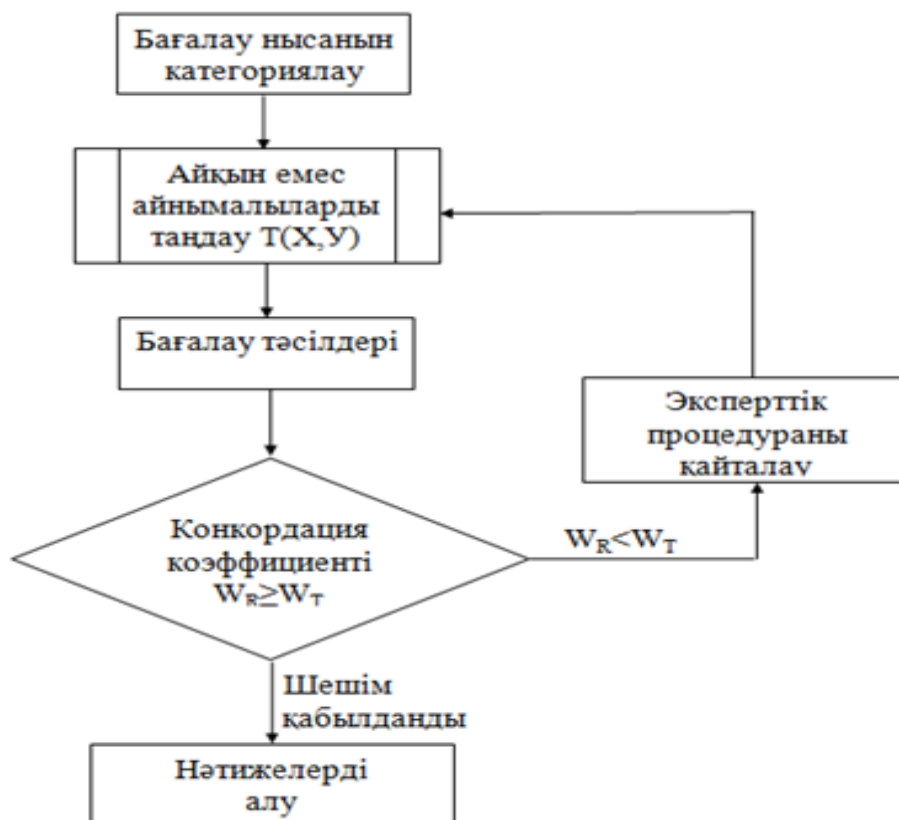
Өртүрлі қолданбалы есептерді шешуде математикалық әдістер мен модельдеуді пайдалану тиімді болып табылады. Күрделі өндірістік нысандарды тиімді басқару үшін жүйенің математикалық моделін құруда бастапқы айқын емес ақпараттың анықсыздығы мен жетіспеушілік мәселелері жиі туындайды. Заман талабына сай өндірістің дамуына қарай басқарудың күрделілігімен қатар, шешім қабылдау сапасына да талап күшейеді. Шешім негізін жоғарлату үшін және олардың нәтижесіне әсер ететін көптеген факторларды ескере отырып талдау жасау қажет. Мамандардан келіп түсетін ақпаратты өндеу әдістерінің бірі эксперттік бағалау әдісі болып табылады. Технологиялық нысанның оптималды жұмыс режимін таңдау үшін шешім қабылдау үрдісінің негізі [5,6,7] авторлар жұмысына негізделіп жүргізілді.

Айқын емес ортада айқын емес жиындар теориясына негізделген шешім қабылдау (ШҚ) есебі алгоритм жұмысы сурет 1 келтірілген. Экспертизаның барлық кезеңдерін

бағалау, есептер класстарын және операцияларды категоризациялау (категоризациялау), бағалау нысандары мен операциялар классына адекватты, терм-жиынды, айқын емес, лингвистикалық айнымалыларды таңдау, нысан мен есепті сипаттайтын шкала типтерін таңдап, бағалау тәсілін анықтай отырып бағалауды жүргізу. Зерттеу нысанын талдау негізінде «айқын емес» эксперименттердің толық жоспары құрылады. Бұл жоспар эксперименттерді математикалық жоспарлау тәсіліне сәйкес жасалады, мұнда сандық деректер орнына олардың жуықша мәндері айқын емес сан түрінде немесе лингвистикалық айнымалылардың мәні (терм) түрінде қолданылады [8,9,10].

Эксперттер өздерінің білімі мен практикалық тәжірибелері негізінде жоспардың практикада орындалмайтын немесе апаттық жағдайларға алып келетін нұсқалары болса, оларды жоспардан алып тастауға тиіс. Алып тасталған жоспардың әр вариантының нәтижесінен алынған себебі негізделуі қажет. Жоспарда қалған барлық варианттар бойынша эксперттер кіріс параметрлерінің берілген қатынасы нысанның шығыс параметрлеріне қалай әсер ететіні сапалық түрде бағалайды. Бағалау терм-жиындар негізінде орындалады. Егер эксперттер жоспардың кейбір нұсқаларын бағалауда сенімсіз болса, онда мүмкіндігінше бұл нұсқаларды жоспарға сәйкес жүзеге асырып, нәтижелерін бағалау қажет.

Эксперттік тәсілдерді қолданғанда әдетте бірден эксперттердің ой-пікірлері сәйкес келмейді. Сондықтан эксперттердің ой-пікірлерінің келушілік (сәйкестік) өлшемін сандық бағалау және сәйкес келмеу себептерін анықтау қажет болады. Әрине, келушілік өлшемі (шамасы) эксперттер тобының статистикалық деректері негізінде анықталады.



1-сурет. Айқын емес ортада эксперттік бағалау тәсілі алгоритмінің блок схемасы

Эксперттер ой-пікірлерінің келусішілік (сәйкестік) шамасын бағалау үшін әдетте *конкордация коэффициенттері қолданылады*. Конкордация коэффициенті 0-ден 1-ге дейінгі мәнді қабылдайды, 0 болғанда эксперттер ой-пікірлері арасында келусішілік жоқ, ал 1 болғанда толықтай келусішілік бар. Егер дисперсиялық конкордация коэффициенті 0,5 артық болса, әдетте келусішілік жеткілікті деп санауға болады. Энтропиялық конкордация коэффициенті де (басқаша оны келусішілік коэффициенті деп атайды) 0-ден 1-ге дейінгі мәнді қабылдайды және келусішілік коэффициенті үлкен болған сайын (1-ге жақындаған сайын) келусішілік шамасы артады. Сонымен, эксперттердің пікірлері негізінен сәйкес келетін болса, яғни конкордация коэффициентінің мәні 1-ге жақын және $wt \geq wt$ болса, онда жоспарларды жүзеге асырып, алынған нәтижелерді өндеуге өту қажет, мұнда wt , Wt – сәйкесінше таңдалған деңгейде конкордация коэффициенттерінің есептік және кестелік мәндері.

Осылайша, көпкритерийлікпен сипатталатын, каталитикалық крекинг қондырғысын басқару және оптимизациялау мақсаты, тиімді шешім табуға мүмкіндік беретін, векторлық оптимизациялау есебін шешуге негізделеді. Ал соңғы таңдауды және шешім қабылдауды ШҚТ (біздің жағдайымызда қондырғы бастығы, технолог, бригадир, оператор) өзінің түйсігіне, үрдіс жағдайына, қолда бар ақпаратқа сүйеніп қабылдайды.

Материалдар мен зерттеу әдісі. Дәстүрлі жүйелерді талдау әдісі күрделі нысандар мен жүйелерді зерттеу үшін қажетті деңгейде жеткіліксіз, себебі олар адамның ойлау түйсігін математикалық айқынсыздықты формализациялау деңгейі жеткіліксіз. Сол себепті күрделі жүйені сапалы талдау үшін және олардың математикалық моделін құру үшін, айқын емес және анықсыздық әдістемелік сұлбасын падаланылатын дәлдігі жоғары тәсіл қажет.

Жұмыста каталитикалық крекинг қондырғысы (ККҚ) режимдерін басқару кезінде шешім қабылдау және модельдеудің негізгі мәселелері қарастырылған. ККҚ жоғары сапалы бензин, құрамында сутегі бар газ фракциялары мен мұнай-химия синтезіне арналған [4].

ККҚ негізгі агрегаттарын көпкритерийлі объектілерді басқару және оптимизациялау мақсатында анықтау қажет:

1. Каталитикалық крекинг қондырғысының негізгі агрегаттарын және олардың басқа нысанмен байланысын анықтау.

2. Нысанның локальды критерийін анықтау, яғни оңтайландыратын жүйе және агрегаттар жұмысы көрсеткіштерін қажетті шамаға келтіру.

3. Өзгерте отырып критерийлі оптималды шамасына жетуге болатын, басқару параметрлерін анықтау.

4. Нысанды басқару және оптимизациялау есебін құру.

5. Локальды критерий шамасымен басқару әсері байланысын бейнелейтін үрдістің жүйелік моделін жүргізуге мүмкіндік беретін, өзара байланысқан қондырғының негізгі агрегаттарының математикалық модель кешенін жасақтау.

6. Технологиялық қондырғының басқару және оптимизациялау алгоритмін жасақтау.

7. Технологиялық кешенді басқару және оптимизациялаудың бағдарламалық камсыздандыру жүйесін жасақтау.

Агрегаттардың математикалық моделін жасақтау [10, 11, 12] автор жұмысында, байланысқан агрегаттар кешенінің математикалық моделін құру әдісі қарастырылған. Ұсынылған жұмыста осы әдіс негізінде Атырау МӨЗ ККҚ технологиялық агрегаттарының математикалық модельдеу жүйесі жетілдіріледі.

Технологиялық агрегаттар кешенінің оптималды жұмыс режимін таңдау бойынша шешім қабылдау есебінің формальды қойылымын қарастырайық. Технологиялық қондырғының байланысқан математикалық моделі болсын делік, яғни басқарушы

$x = (x_1, \dots, x_n)$ векторының шығыстық параметрлерге $y = (y_1, \dots, y_m)$ әсерін бағалайтын оператор.

$$y_j = f_j(x), \quad j = \overline{1, m} \quad (1)$$

Агрегаттар моделі (1), ақпараттың қолжетімділігі мен модельдеу мақсатына қарай, жоғарыда атап өткендей, әртүрлі жолмен алынуы мүмкін және жүйедегі жекелеген модельдерді бір модельдеу пакетіне жинау қарапайымдылығын анықтайтын, сонымен қатар қажетті талаптарды ескеруі қажет.

Локальды оптималдау критерийі немесе мақсаттық функция:

$$f_i(x, y) \geq 0, \quad i = \overline{1, m} \quad (2)$$

өндірістік жағдайға байланысты жүйенің белгілі бір жұмыс режиміне ШҚТ басымдылығын (приоритетін) білдіретін x, y векторлық аргументердің векторлық функциясына (егер басқару критерийі біреу болса, онда скалярлық функцияға, $i=1$) бірігеді. Мәселен, бірнеше өнімді өндіретін технологиялық кешендерде белгілі бір мақсаттық өнімнің санын немесе сапасын басқа өнімдердің көрсеткіштері есебінен арттыру есебі қойылуы мүмкін.

x, y мәндері берілген жағдайда функция f_i белгілі бір шаманы қабылдайды. Векторларын x, y таңдаудың себебі, кез келген $f_j \in f, j \in K$ критерийлерін жақсарту басқа біреуін $f_l \in f, l \in K, l \neq j$ нашарлату жағдайында мүмкін болатын, Паретто-жиын ауданын табу.

Мұнда K – индекстер жиынын білдіреді.

Теңдеу (1) сәйкес, мақсаттық функция басқару $f_i(x)$ әсерінен y векторы x векторын беру арқылы анықталынады. Онда технологиялық кешеннің оптималды жұмыс режимін таңдау үшін шешім қабылдау есебі басқару нысанының жұмыс режимін көпкритериалды оптимизациялау есебі түрінде қойылады: Басқаруға және критерийларға қойылған шектеулерді орындай отырып қажетті сапа $f_i^*(x^*)$ локальды критерий шамасын қамтамасыз ететін $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ басқару векторын табу қажет.

Көпкритериалды есепті ШҚТ негізінде тиімді тәсіл мен шешімді таңдау қабылдау шешім қабылдау теориясында қарастырылады [12, 13].

Көпмақсатты басқару мәселелерін шешудегі басты қиындық оптималдау принципін құрумен байланысты. Векторлық оптимизациялау есебінде көптеген әр түрлі принциптер бар (басты критерий принципі, лексикографиктік критерийлі, салыстырмалы ымыра принципі), олардың әр қайсысы түрлі шешімдерге әкеледі. Бұл өз кезегінде оптималды принциптерін таңдау кезінде, басты сұраққа жауап беретін – өзге шешімдерден жақсы, оптималды шешім таңдауда елеулі ұсыныстарды талап етеді.

Технологиялық агрегаттардың оптималды жұмыс режимін таңдау кезінде туындайтын, ШҚ көпкритериалды есебін шешумен байланысты, негізгі мәселелерді қарастырайық.

1. Ымыралық ауданын анықтау мәселесі. Векторлық оптимизациялау есептерінде кейбір критерийлік арасында қарама-қайшылық болады. Осыған орай Ω_A рұқсат етілген ауданы екі қиылыспайтын бөлікке ыдырайды: сәйкесік ауданы Ω_A^c , мұнда критерийлер арасында қарама-қайшылық болмайды және Парето көпмүшесімен сәйкес келетін Ω_A^k ымыралық ауданы, яғни критерийлі қарама-қайшылығы бар, ол дегеніміз бір критериймен шешім сапасы жақсарса екіншісімен шешім сапасы нашарлайды. Қондырғының рационалды жұмыс режимі (оптималды шешімі) тек ымыра ауданында

жатуы мүмкін, яғни $\omega \in \Omega_A^k$, шешім ымыралық ауданында басқа бірнеше критерийлермен салыстырғанда неғұрлым жақсы болуы мүмкін. Осы этаптың рационалды жұмыс режимін іздеу-мүмкін болатын шешімдер адуны Парето жиынына дейін тарылады [14].

2. Басқару критерийлі түйінін құруға мүмкіндік беретін, ымыралық сұлбаны таңдау. Ымыралық ауданында қондырғының рационалды жұмыс режимін іздеу кейбір ымыралық сұлба негізінде ғана жүзеге асырылуы мүмкін. Себебі, ымыралық сұлбаның ықтимал сандарының мүмкіндігінің жоғары, нақты сұлбаны таңдау күрделі болып табылады және ШҚТ түйсігі негізінде шешіледі. Ымыра сұлбасын таңдау теңдеудегі *opt* оптимизациялау операторы мағынасын ашуына сәйкес келеді:

$$optf(A) = \max \varphi(f(A)), A \in \Omega_A, A \in \Omega_A^c, A \in \Omega_A^k \quad (3)$$

мұнда, A мен f символдары арқылы балама (альтернатива) – A мәні мен оған сай f критерийлер векторының мәні, $\varphi(f)$ – f критерийлер векторының кейбір скалярлық функциялары (локальды критерийлердің түйінді функциясы) белгіленген.

Осылайша, қайсібір оптималдау принципін таңдау векторлық есебін оптимизациялаудың эквивалентті скалярлы шамасына әкеледі.

3. Критерийлік қалыптастыру. Бұл мәселе, локальды критерийлердің өлшем бірліктері әртүрлі болған жағдайда туындайды. Критерийді қалыпқа келтіру қажет, яғни бірдей өлшемге келтіру, я болмаса өлшемсіз масштабқа келтіру. Осы уақытқа дейін бірқатар қалыпқа келтіру сұлбалары белгілі.

4. Критерийлердің басымдығын ескеру мәселесі. Критерийлердің басымдығын ескеру көптеген әдістерді түйіндеу жолымен критерийлердің $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m)$ маңыздылық вектор коэффициенттерін беру жолымен жүзеге асады, мұндағы $\gamma_i - f_i$ критерийі салмағы.

Нормализациялау және басымдықтары ескеру нәтижесінде A баламасының $f(A)$ бастапқы векторлық бағалауы орнына жана векторлық бағалау пайда болады:

$$\varphi(f(A)) = \gamma_1 f_1(A), \gamma_2 f_2(A), \dots, \gamma_m f_m(A) \quad (4)$$

мұндағы $f_i(A), i = \overline{1, m}$ – критерийлердің қалыптастырылған шамалары.

Осы және басқада ШҚ көпкритерийалдық есебін шешу және өндірістік нысандарды басқару жүйесін жетілдіру кезінде туындайтын мәселелерді шешу кезінде, эксперттер, ШҚТ маңызды роль атқаратын, әртүрлі типтегі эвристикалық процедуралар пайдалану қажет.

Ұсынылып отырған мақаланың мақсаты каталитикалық крекинг қондырғысы негізінде технологиялық үрдістің модельдеу әдістерін жетілдіріп, математикалық әдістердің және компьютерлік технологияның соңғы жетістіктерін пайдаланып оптималды шешім қабылдау.

Шешім қабылдайтын тұлға әртүрлі ымыралық сұлба модификациясы негізінде мәселенің көпкритерийлік пен айқын еместігін сақтай отыра, түрлендірусіз бастапқы айқын емес есебін шешуге және қалыптастыруға мүмкіндік беретін тәсіл ұсынылған.

Жоғарыда көрсетілгендей бастапқы ақпараттың анықсыздық мәселесі кезінде мұнай өңдеу өндірісі нысандарының, оптималды жұмыс режимін таңдау бойынша ШҚ көпкритерийлік мәселесінің жалпы қойылымы және шешу тәсілдерін қарастырайық.

Зерттелінетін өндірістік нысанның – мұнай өңдеу технологиялық кешенінің оптималды жұмыс режимін таңдап, бағалайтын, экономикалық-экологиялық сипаттағы локальды критерий $f_1(x), \dots, f_m(x)$ – берілсін делік. Әрбір критерийлер n кіріс-режимдік параметрінің векторына $x = (x_1, \dots, x_n)$ тәуелді болады және μ_1, \dots, μ_m – маңыздылық коэффициенттерімен сипатталады.

Әр $f_i(x)$ локальды критерийі кірістік әсер шамаларымен байланысқан, осы тәуелділікті зерттелетін нысан моделі бейнелейді.

Бастапқы ақпараттың анықсыздығы мен көпкритерийлік сипатталатын, мұнай өңдеу нысан өндірісінің ШҚ мәселесі жалпы түрде, айқын емес математикалық программалау көпкритерийлік есебі түрінде келтіруге болады.

Мұнай өңдеу технологиялық кешенінің жұмыс режимін экономикалық көрсеткіштерін ескере отырып, бағалайтын $\mu_0(x) = \varphi(f_i(x))$, $\mu_0(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^m(x))$ – келтірілген критерийлер векторы. Маман эксперттермен, ШҚТ диалог нәтижесінде құрылған $\mu_q(x)$, $q = \overline{1, L}$ – өндірісті болатын түрлі шектеулердің $f_q(x) > b_q$ орындалуының тиістілік функциясы. Онда айқын емес ортада ШҚ жалпы көпкритералдық есебін келесі түрде жазуға болады:

$$\max_{x \in X} \mu_0^i(x), i = \overline{1, m} \quad (5)$$

$$X = \{x : \arg \max_{x \in \Omega} \mu_q(x), q = \overline{1, L}\}. \quad (6)$$

Әртүрлі ымыралық сұлба негізінде шешім қабылдаудың, оптималдылық принциптерінің көпкритериалдық есебі қойылымын алуға және оларды шешуге нақты алгоритмді ұсынуға болады. Айқын емес ортада ШҚ көпкритериалдық есебінің нақты қойылымы, сонымен қатар пайдаланылатын, жетілдірілген алгоритмдер және олардың шешімі келтірілген.

Нәтижелері және оларды талқылау. Отандық мұнай өңдеу зауытында каталитикалық крекинг қондырғысы (ККК) қуаты жылына шамамен 2388,54 мың тоннаны құрайды, мысалы:

- Шикізат қуаттылығы 600 мың тонна/жылына өсті;
- Шығыстық өнім бензин көлемі 53 % салмақ, артты;
- Ауаға шығарылатын зиянды қалдықтар азаяды.

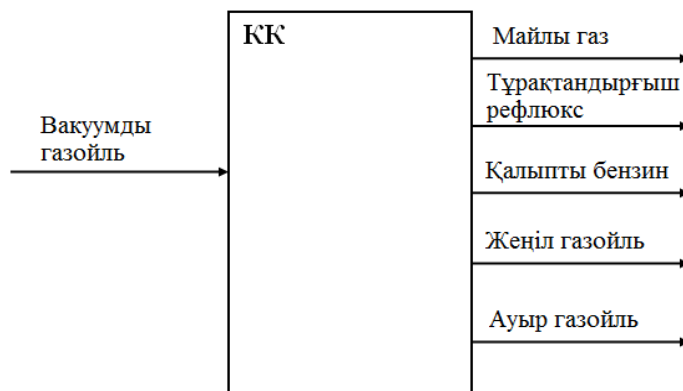
Каталитикалық крекинг «R2R» қондырғысы келесідей блоктардан тұрады:

- реакторлы блогы;
- түтіндік газдарды рекуперациялау және жұқа тазалау блогы;
- ректификация блогы;
- бензинді тұрақтандыру блогы.

ККК негізгі өнімі бензиндік фракция болып табылады, қалыптандырғаннан кейін жоғары октанды автокөлік бензинін алу үшін пайдаланады, 2-суретте каталитикалық крекинг қондырғысынан алынатын өнім сұлбасы келтірілген.

«R2R» секциясының шығыстық қосымша өнімі төмендегілер болып табылады:

- Майлы газ;
- Тұрақтандырғыш рефлюкс;
- Жеңіл газойль;
- Ауыр газойль.



2-сурет. Каталитикалық крекинг қондырғысы өнім ағыны сұлбасы

ККҚ блоктар бойынша технологиялық процестер мен технологиялық схеманың сипаттамасын қарастырайық қондырғының жалпы технологиялық сұлбасы 3-суретте көрсетілген.

Реакторлы блогы 0100. Бұл блок «R2R» секциясындағы өнім қажетті конверсияға жеткенге дейін шикізатты ысытуды қамтамасыз етеді. Блок бір жұмыс режиміне есептелген, бензин өнімінің максимумын қамтамасыз ететін, әртүрлі сападағы өнімнің екі типін өңдейді (қыстық және жаздық) және «R2R» қондырғысының басты колоннасы фракциондау блогымен байланысқан. Шикізат вакуумдық газойлдың, атмосфералық газойлдың, атмосфералық айдау қалдығы (мазут), кокстаудың ауыр газойлы және ауыр рафинат қоспаларынан тұрады.

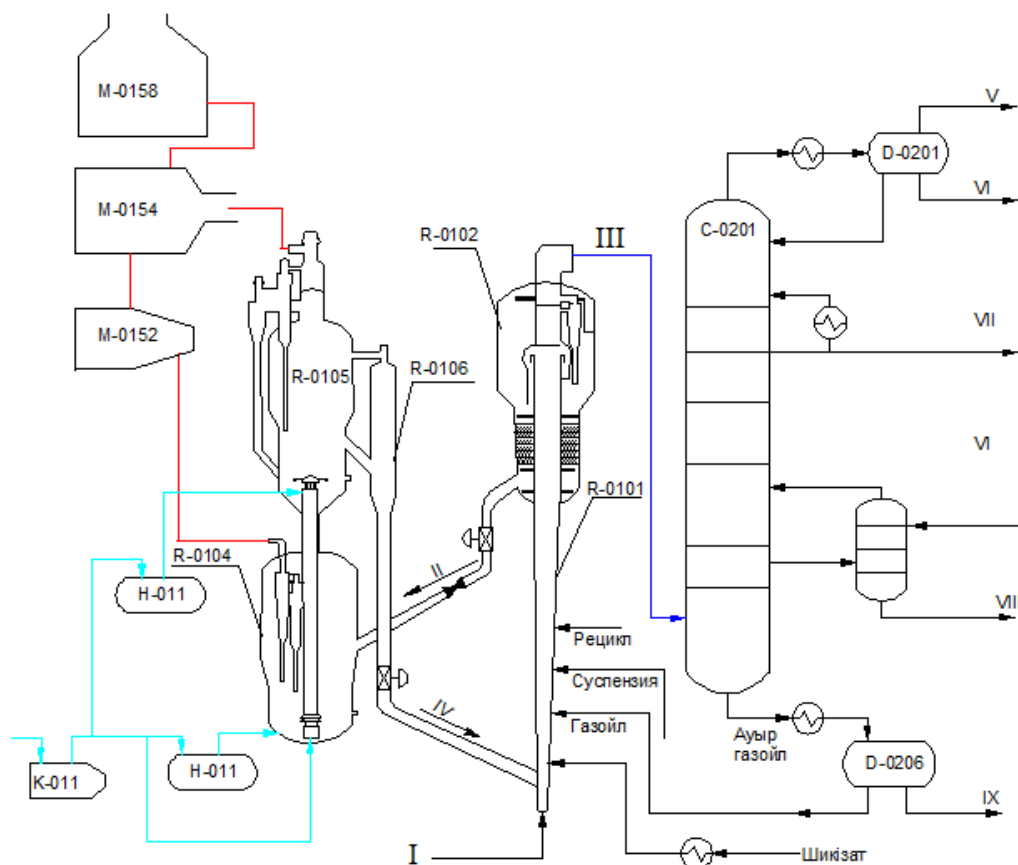
Блок ысыту жүйесінен, шикізатты енгізу жүйесінен лифт-реактордан, оның шығысында сепарациялау жүйесінен, сепаратор/буландыру зонасы, бірінші сатыдағы регенератор, екінші сатыдағы регенератор, катализаторды іріктеу бағанынан, шиберлі ысырмаларды (задвижка) басқару жүйесінен тұрады.

Блокта ысыту, лифт – реакторға шикізатты беру, шикізаттың каталитикалық крекингтеу реакциясының ультрақысқа уақыт ішінде өтуі және олардың басты фракциондау колоннасы блогына түсу операциялары жүзеге асырылады.

Реакторлы блок екі негізгі аппараттан тұрады – бірінші сатылы реактор R0101, екінші сатылы реактор R0102 және бірінші сатылы регенератор R0104, екінші сатылы R0105 регенераторынан тұрады (3-сурет).

Шикізат қоспасы ректификациялау блогынан шикізатқа арналған буферлік сыйымдылығынан сорғышы арқылы 180/200 °С температурада лифт – реактор R0101 астынан беріледі, онда регенератордан келген жоғары температурадағы катализатормен жанасады. Катализатор мен шикізаттың температурасын реттеу мақсатында жеңіл газойль мен каталитикалық крекингтің ауыр газойлы беріледі. Өнімнің температурасы мен шығыны әр форсункада орналастырылған реттеу датчиктерімен дабыл қаққыштар арқылы бақыланады. Шикізатты енгізу нүктесінде катализатор ағынының бірқалыпты және біркелкі ағымы тұрақтандыру бу форсункаларына су буын беру есебінен қамтамасыз етіледі.

Оптимизациялау міндеттерін шешуде жетілдірілген диалогты алгоритмдердің дұрыстығы ең бірінші тұтынушыдан ақпаратты сұраумен анықталынады. Осыған байланысты үрдістегі мәселені шешу үшін адам мен ЭЕМ арасындағы пайдаланылатын диалогта қатаң формализацияланған тілде түсініктісздік көзі болып табылатын қарама-қайшы жағдайлар болмауы тиіс. Алынған эксперттік бағалау нәтижелері айқын еме жиындарды – лингвистикалық термдарды анықтауда, сәйкес келетін тиістілік функциясын таңдауда және айқын емес логикалық моделін құруда пайдаланылады.



3-сурет. Екі регенератормен (R2R) каталикалық крекинг қондырғысының технологиялық сұлбасы: R0101 – лифт-реактор, R0102 – реактор-сепаратор; R0104 – регенератордың I сатысы; R0105 – регенератордың II сатысы, C0201 – ректификациондау колоннасы; I – шикізат; II – коксталанған катализатор; III – реактордан шыққан өнім; IV – регенерирленген катализатор; V – газ; VI – қышқыл су; VII – бензин; VIII – газойл; IX – 343 °C жоғары қалдық

Басқарудың айқын емес алгоритмін құруда кірістік және шығыстық параметрлердің лингвистикалық термдары мен ережелерін «егер..., онда...» сияқты логикалық қорытындылау ережелерін құру қажет [15].

Басқару алгоритмін жүзеге асыру үшін келесідей мәселелерді шешу қажет:

1. Алгоритм бойынша басқару нысанының кірістік және шығыстық параметрлерінен тиістілік функциясын (ФП) құру;

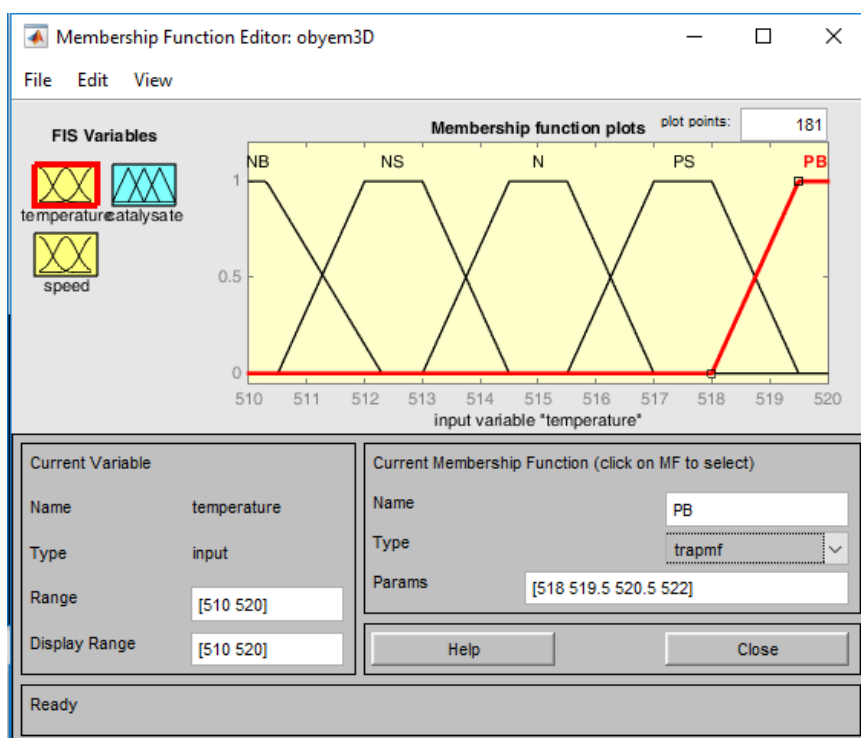
2. Кірістік параметрлердің әр-түрлі шамасы кезінде нысан әрекетін лингвистикалық анықтайтын логикалық қорытындылау (вывод) ережесін жазып, құру.

ККҚ әртүрлі режимдегі технологиялық параметрлері және жетілдірілген модельдеу алгоритмін негізге ала отырып, эксперттік бағалау нәтижелерінде және жұмысында ұсынылған аналитикалық байланыстарын қолданып, айқын емес жиындарды сипаттайтын тиістілік функциялары анықталды:

- $\mu_1(T) = \exp(|(T-465)^{0.5}|)$ – реактордағы температура өте төмен;
- $\mu_2(T) = \exp(|(T-485)^{0.5}|)$ – реактордағы температура төмен;
- $\mu_3(T) = \exp(|T-495|^{0.5})$ – реактордағы температура орташа;
- $\mu_4(T) = \exp(|T-520|^{0.6})$ – реактордағы температура жоғары;
- $\mu_5(T) = \exp(|T-545|^{0.7})$ – реактордағы температура өте жоғары;

- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-65|^{0.4})$ – катализаттың шығысы төмен;
- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-70|^{0.6})$ – катализаттың шығысы орташа;
- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-75|^{0.7})$ – катализаттың шығысы орташадан жоғары;
- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-67|^{0.5})$ – катализаттың шығысы орташадан төмен;
- $\mu_B(y_2) = \exp(|y_2-70|^{0.3})$ – катализатордың тұрақтылығы нормадан төмен;
- $\mu_B(y_2) = \exp(|y_2-90|^{0.5})$ – катализатордың тұрақтылығы нормада;
- $\mu_B(y_2) = \exp(|y_2-95|^{0.7})$ – катализатордың тұрақтылығы нормадан жоғары;

Реактордығы байланысқан үрдістің шығыстық өнімге әсерін модельдеу және тиістілік функциясын Matlab программалау құралдарының Fuzzy Logic Toolbox пайдаланылып құрылды. Fuzzy Logic Toolbox қолданбалы программалау пакеті айқын емес эксперттік және басқарушы жүйелерді құрастыруға арналған [16]. Ең бірінші айқын емес қорытындылау параметрлері, кірістік және шығыстық параметрлерінің тиістілік функцияларын құру моделі жүргізілді (4-сурет).



4-сурет. Кірістік параметрдің тиістілік функциясы редакторлар терезесі

Кірістік параметрлерді сипаттайтын trapmf типті тиістілік функциясы таңдалынып алынды, ол термды 4 нүкте бойынша сипаттайды, яғни бірінші ол функцияның сол жақ иығының басы, екінші және үшінші ол функция ядросының шектеулері, төртінші ол оң жақ иықтың шеткі нүктесі. Шығыстық параметр үшін тиістілік функциясы осы бейнеде құрылады. Лингвистикалық модель тізбегі де осы ретпен құрылды.

Крекинг процесінің оптималды температурасын анықтау үшін жоғарыда ұсынылған технологиялық кешендердің модельдерін түрлі ақпараттар негізінде құру тәсілінің негізінде, каталитикалық крекинг реакторының температурасының катализат шығысына және катализатор тұрақтылығына әсерін сипаттайтын лингвистикалық модельдер тұрғызылды.

- Егер TR орташа болса, онда y_1 орташа, y_2 нормада;
 - Егер TR жоғары болса, онда y_1 орташадан жоғары, y_2 нормадан жоғары;
 - Егер TR өте жоғары болса, онда y_1 орташадан төмен, y_2 нормадан төмен»
 лингвистикалық байланысын сипаттайды, мұнда TR – реактордағы температура, y_1 – реактор шығысындағы катализат көлемі, y_2 – катализатордың тұрақтылығы.

Келтірілген лингвистикалық модельдің мазмұны мен құрылымын біздің жағдайға қолдана отырып ұсынылған тәсіл бойынша келесі лингвистикалық модель алынды:

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(tn), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(mn), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(nt),$$

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(op), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(op), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(np),$$

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(жс), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(ож), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(нж),$$

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(ож), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(от), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(нт),$$

мұнда $tn, nt, op, np, жс, ож, нж, өж, от$ – рет бойынша, «төмен», «нормадан төмен», «орташа», «норма», «жоғары», «орташадан жоғары», «нормадан жоғары», «өте жоғары», «орташадан төмен» түсініктерін сипаттайтын айқын емес айнымалылар; $\tilde{x}, \tilde{y}_1, \tilde{y}_2$ – рет бойынша, реактордың температурасын, шығыстағы катализат көлемін және катализатор тұрақтылығын сипаттайтын кіріс және шығыс лингвистикалық айнымалылар; $\tilde{A}, \tilde{B}_j, \tilde{x}, \tilde{y}_j, j=1,2$ – кіріс, шығыс параметрлерін сипаттайтын айқын емес жиындар.

Лингвистикалық \tilde{x}_i және \tilde{y}_j шамалар арасындағы байланысты сипаттайтын айқын емес R_{ij} бейнелеуді формализацияланған.

Жоғарыда қолданылған методика бойынша шикізатты беру жылдамдығының крекинг блогының мақсатты өнімі – катализаттың көлемі мен сапасына (октандық санына) әсерін «шикізатты беру жылдамдығы артқан сайын, катализаттың октандық саны төмендейді, ал көлемі артады» логикалық қорытындысын сипаттайтын лингвистикалық модельді құрамыз:

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(tn), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(жс), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(mn),$$

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(op), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(op), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(op), \quad (7)$$

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(жс), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(mn), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(жс).$$

мұнда $tn, жс, op$ – рет бойынша: «төмен», «жоғары», «орташа» түсініктерін сипаттайтын айқын емес айнымалылар; $\tilde{x}, \tilde{y}_1, \tilde{y}_2$ – рет бойынша: шикізатты беру жылдамдығы, катализаттың октандық саны және көлемі кіріс-шығыс лингвистикалық айнымалылары.

Зерттеу және эксперттік бағалау нәтижелерін өңдеу нәтижесінде реактордағы температураның катализат шығысына әсерін бағалайтын лингвистикалық модельдің келесі структурасы алынды:

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(tn), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(жс), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(mn), \tilde{y}_3 \in \tilde{B}_3(mn),$$

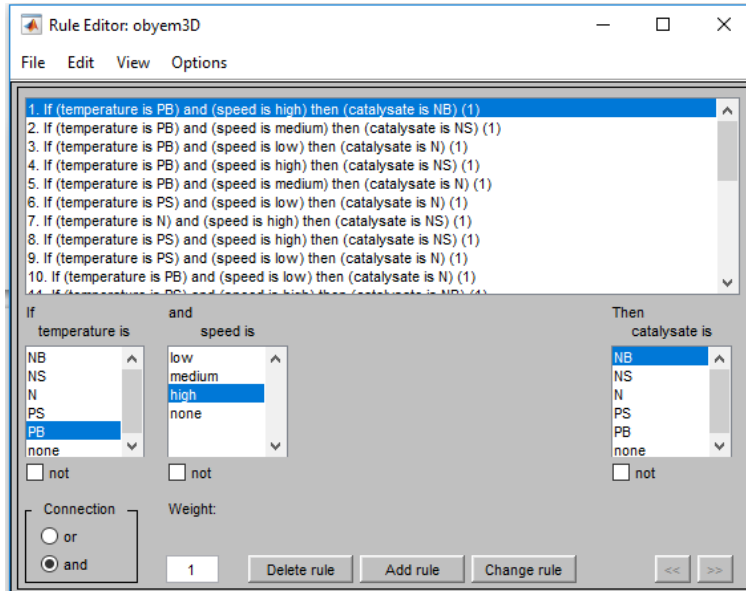
$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(np), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(op), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(op), \tilde{y}_3 \in \tilde{B}_3(op), \quad (8)$$

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(жс), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(mn), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(жс), \tilde{y}_3 \in \tilde{B}_3(ож).$$

мұнда $tn, жс, np, op, ож$ – рет бойынша: «төмен», «жоғары», «норма», «орташа», «орташадан жоғары» түсініктерін сипаттайтын айқын емес айнымалылар; $\tilde{x}, \tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}_3$ –

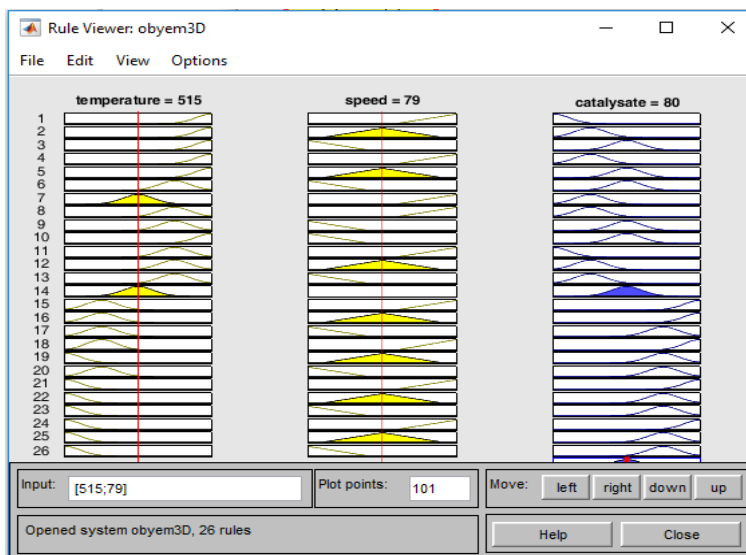
лингвистикалық кіріс және шығыс айнымалылары, рет бойынша: қысым (\tilde{x}), катализат (\tilde{y}_1) пен сутек (\tilde{y}_2) көлемі және катализат сапасы (\tilde{y}_3), \tilde{A} , \tilde{B}_j , \tilde{x} , \tilde{y}_j , $j = \overline{1,3}$ лингвистикалық айнымалыларын сипаттайтын айқын емес жиындар.

Ұсынылған лингвистикалық модель «База правил» редакторы көмегімен, ережелер қоры жүзеге асырылды (4-сурет).



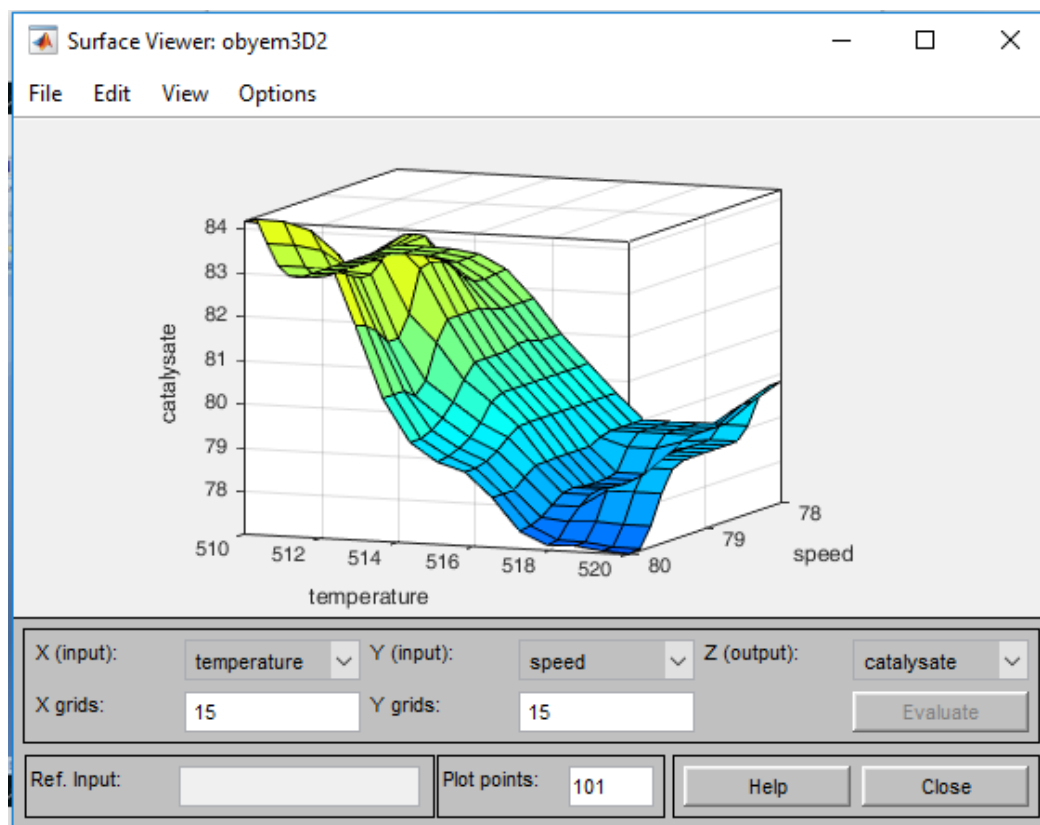
4-сурет. «Ережелер базасы» терезесі

Әр ереже бойынша айқын емес қорытындысын, нәтижелік айқын емес көпмүше және деффазификация процедурасының орындалуын ережелерді шолу (Rule Viewer) көмегімен көруге болады (5-сурет).



5-сурет. Ережелерді шолу (Rule Viewer) терезе көрінісі

Барлық антecedенттер мен консековентер жиын комбинациялары көрнекілік үшін үш өлшемді график түрінде көрсетілген (6-сурет).



6-сурет. Реактордағы температураның катализат шығысына әсері

Зерттеу жұмысым бойынша ККҚ реакторлы блогына технологиялық үрдістің өту заңдылығы мен олардың факторларының шығыстық өнімге әсері, сонымен қатар айқын емес ережелерін нақтылау, мақалада мұнай өңдеу зауыты каталитикалық крекинг қондырғысы (ККҚ) қолданыстағы өндірістік қондырғысының технологиялық режиміне бейімделіп, математикалық моделі жүзеге асырылды.

Қорытынды. Атырау мұнайөңдеу зауыты каталитикалық крекинг қондырғысы мысалында мұнай өңдеу технологиялық нысанының жұмыс режимін оптимизациялау есебі формализацияланды және осындай есептердің жаңа қойылымдары алынды. Маман-эксперттардан алынған сапалы ақпарат негізінде оптимизациялау көпкритерийлік есебінің жанашылдылығы оларды детерминдік түрге түрлендірмей, айқын емес ортада қойылып және шешіледі, яғни сапалы қолжетімді ақпаратты пайдаланады. Маман-эксперт білімі мен тәжірибесі негізіндегі тәсіл күрделі өндірістік есептердің адекватты шешімін алуға мүмкіндік береді. Көпкритерийлік мәселесін шешу үшін компромистік сұлба мен оптималдық принцип идеясы пайдаланылды, олар бастапқы ақпараттың айқынсыздық жағдайына модифицирленген.

Логикалық «егер..., онда...» қорытынды түрінде технологиялық жағдайдың туындауы кезінде басқарудың мәліметтер ережесі құрылды. Реакторды айқын емес ортада басқару алгоритмі негізінде, Matlab Fuzzy Logic Toolbox ортасында оптимизациялау есебін шешу нәтижелеріне салыстыру жүргізілді.

Әдебиеттер тізімі

1. Оразбаева Б.Б., Оразбаев Б.Б., Кожаметова Д.О. Монография: Мұнай өңдеу және мұнай химиясы кешендерінің тиімділігін арттыру тәсілдері. – Алматы: Эверо, 2018. – 263 б.
2. Sun, J., Yu, H., Yin, Z., Jiang, L., Wang, L., Hu, S., & Zhou, R. Process Simulation and Optimization of Fluid Catalytic Cracking Unit's Rich Gas Compression System and Absorption Stabilization System. MDPI, Journal Processes 2023, 11(7), Article 2140. <https://doi.org/10.3390/pr11072140>
3. Сериков Т.П., Серикова З.Ф., Оразбаева К.Н. Современное состояние технологии переработки нефтей Казахстана. – Атырау-Актобе: Ер-Тостик-А-Полиграфия, 2008. – 206 с.
4. Princewill N. Josiaha, Ipeghan J. Otarakub, Benson O. Egbuomwan. Servo and Regulatory Response of an Industrial Fluid Catalytic Cracking (FCC) Unit under Fuzzy Logic Supervisory Control. Engineering and Technology Journal 2023, 41 (09). – P. 1139-1151.
5. Zhang J., Lin J., Xu F., Luo X. Online Dynamic Optimization of Multi-Rate Processes with the Case of a Fluid Catalytic Cracking Unit. MDPI, Journal Processes 2023, 11, 3088. <https://doi.org/10.3390/pr11113088>
6. Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Orazbayeva K., Iskakova S., Utenova B., Gazizov F., Ilyashenko S., Afanaseva O. The System of Models and Optimization of Operating Modes of a Catalytic Reforming Unit Using Initial Fuzzy Information. MDPI, Energies 2022, 15, 1573. <https://doi.org/10.3390/en15041573>
7. Hossein Tootoonchy and Hassan H. Hashemi. Fuzzy Logic Modeling and Controller Design for a Fluidized Catalytic Cracking Unit. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol II, 23-25 October, 2013, San Francisco, USA
8. Оразбаева К.Н. Теория и практика методов нечетких множеств. МОН РК, изд.-во Бастау, – Алматы, 2014. – 488 с.
9. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Ryszard Wójtowicz, Janusz Krawczyk. Modeling of a Catalytic Cracking in the Gasoline Production Installation with a Fuzzy Environment. MDPI, Energies 2020, 13, 4736; doi:10.3390/en13184736
10. Brijet Z., Bharathi N. Design of type-2 fuzzy logic controller for fluid catalytic cracking unit. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2021. – Vol. 35. – No. 1. – Pp. 51-68.
11. Jalali N., Razmi H., Doagou-Mojarrad H. Optimized fuzzy self-tuning PID controller design based on Tribe-DE optimization algorithm and rule weight adjustment method for load frequency control of interconnected multi-area power systems, Appl. Soft Comput., 93, 2020, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106424>
12. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора: справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ. Санкт-Петербург: Профессия, 2014. – 383 с.
13. Оразбаев Б.Б. Методы моделирования и принятия решений для управления производством в нечеткой среде. Изд. ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, -Астана: 2016, 398 с.
14. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Kulman Orazbayeva, Balbupe Utenova. Approach to Modeling and Control of Operational Modes for Chemical and Engineering System Based on Various Information. Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal. 2020. Vol.4(14). – Pp. 547-556.
15. Демидова Г.Л., Лукичев Д.В. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 81 с.
16. Peng Ni, Bin Liu and Ge He. An online optimization strategy for a fluid catalytic cracking process using a case-based reasoning method based on big data technology. RSC Advances, 2021, 11, p.28557-28564 DOI: 10.1039/D1RA03228C

References

1. Orazbaeva B.B., Orazbaev B.B., Kozhakhmetova D.O. Monografiya: Mұнай өңдеу және мұнай химиясы кешендерінің тиімділігін арттыру тәсілдері. – Алматы: Ehvero, 2018. – 263 b
 2. Sun, J., Yu, H., Yin, Z., Jiang, L., Wang, L., Hu, S., & Zhou, R. Process Simulation and Optimization of Fluid Catalytic Cracking Unit's Rich Gas Compression System and Absorption Stabilization System. MDPI, Journal Processes 2023, 11(7), Article 2140. <https://doi.org/10.3390/pr11072140>
 3. Serikov T.P., Serikova Z.F., Orazbaeva K.N. Sovremennoe sostoyanie tekhnologii pererabotki neftei Kazakhstana. -Atyrau-Aktobe: Er-Tostik-A-Poligrafiya, 2008. -206 s.
 4. Princewill N. Josiaha, Ipeghan J. Otarakub, Benson O. Evbuomwan. Servo and Regulatory Response of an Industrial Fluid Catalytic Cracking (FCC) Unit under Fuzzy Logic Supervisory Control. Engineering and Technology Journal 2023, 41 (09), p.1139- 1151.
 5. Zhang J., Lin J., Xu F., Luo X. Online Dynamic Optimization of Multi-Rate Processes with the Case of a Fluid Catalytic Cracking Unit. MDPI, Journal Processes 2023, 11, 3088. <https://doi.org/10.3390/pr11113088>
 6. Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Orazbayeva K., Iskakova S., Utenova B., Gazizov F., Ilyashenko S., Afanaseva O. The System of Models and Optimization of Operating Modes of a Catalytic Reforming Unit Using Initial Fuzzy Information. MDPI, Energies 2022, 15, 1573. <https://doi.org/10.3390/en15041573>
 7. Hossein Tootoonchy and Hassan H. Hashemi. Fuzzy Logic Modeling and Controller Design for a Fluidized Catalytic Cracking Unit. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol II, 23-25 October, 2013, San Francisco, USA
 8. Orazbaeva K.N. Teoriya i praktika metodov nechetkikh mnozhestv. MON RK, izd.-vo Bastau, -Almaty, 2014, 488 s.
 9. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Ryszard Wójtowicz, Janusz Krawczyk. Modeling of a Catalytic Cracking in the Gasoline Production Installation with a Fuzzy Environment. MDPI, Energies 2020, 13, 4736; doi:10.3390/en13184736.
 10. Brijet Z., Bharathi N. Design of type-2 fuzzy logic controller for fluid catalytic cracking unit. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2021. – Vol. 35. – No. 1. – Pp. 51-68.
 11. Jalali N., Razmi H., Doagou-Mojarrad H. Optimized fuzzy self-tuning PID controller design based on Tribe-DE optimization algorithm and rule weight adjustment method for load frequency control of interconnected multi-area power systems, Appl. Soft Comput., 93, 2020, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106424>
 12. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора: справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ. Санкт-Петербург: Профессия, 2014. – 383 с.
 13. Orazbaev B.B. Metody modelirovaniya i prinyatiya reshenii dlya upravleniya proizvodstvom v nechetkoi srede. Izd. ENU im. L.N.Gumileva. – Astana: 2016. – 398 s.
 14. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Kulman Orazbayeva, Balbupe Utenova. Approach to Modeling and Control of Operational Modes for Chemical and Engineering System Based on Various Information. Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal. 2020. Vol.4(14), pp.547-556.
 15. Demidova G.L., Lukichev D.V. Regulatory na osnove nechetkoy logiki v sistemakh upravleniya tekhnicheskimi obyektami. – SPb: Universitet ITMO. 2017. – 81 s.
 16. Peng Ni, Bin Liu and Ge He. An online optimization strategy for a fluid catalytic cracking process using a case-based reasoning method based on big data technology. RSC Advances., 2021, 11, p.28557-28564 DOI: 10.1039/D1RA03228C.
-
-

АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_53
IRSTI 50.43.15

A.K. Kulbayeva¹, S.B. Rakhmetulayeva², A.K. Bolshibayeva³
International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

¹E-mail: aakulbayeva@gmail.com*

²E-mail: ssrakhmetulayeva@gmail.com

³E-mail: kakim-aigerim@mail.ru

**DETECTING MONEY LAUNDERING ACTIVITIES IN KAZAKHSTAN:
A MACHINE LEARNING APPROACH AND A COMPREHENSIVE STUDY**

**ҚАЗАҚСТАНДА АҚШАНЫ ЖЫМҚЫРУ ЖӨНІНДЕГІ ҚЫЗМЕТТІ АНЫҚТАУ:
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ТӘСІЛІ ЖӘНЕ КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ**

**ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОТМЫВАНИЮ ДЕНЕГ В КАЗАХСТАНЕ:
ПОДХОД МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ**

Abstract. In the context of the global challenge of money laundering, this study conducts a comprehensive national risk assessment, with a focus on Kazakhstan. The research employs state-of-the-art methods to identify vulnerabilities within both financial and non-financial sectors and assess the potential risks associated with money laundering. The study uses innovative methodologies, including unsupervised and supervised learning techniques, to analyze patterns in financial transactions, aiming to distinguish between legitimate operations and potential money laundering activities. The application of K-means clustering, and logistic regression reveals promising results in detecting anomalies and suspicious transactions. By incorporating synthetic financial transaction data, the research provides insights into money laundering practices and their concealed nature. This study serves as an initial step in enhancing anti-money laundering efforts and strengthening the legal and institutional framework in Kazakhstan. The findings offer valuable insights into the detection of money laundering and its implications for national and international security.

Keywords: Money laundering detection, National risk assessment, Anti-money laundering (AML), Terrorism financing, Machine learning, Logistic regression, K-means clustering.

Аңдатпа. Ақшаны жымқырудың жаһандық мәселесі шеңберінде осы зерттеуде Қазақстанға баса назар аудара отырып, ұлттық тәуекелдерді жан-жақты бағалау жүргізіледі. Зерттеу қаржылық және қаржылық емес секторлардағы осалдықтарды анықтау және ақшаны жымқыруға байланысты ықтимал тәуекелдерді бағалау үшін озық әдістерді пайдаланады. Заңды операцияларды және ақшаны жымқырудың ықтимал схемаларын ажырату мақсатында қаржылық транзакциялардың заңдылықтарын талдау үшін зерттеуде машиналық оқыту, яғни, мұғалімсіз оқыту және мұғаліммен оқыту әдістерін қоса алғанда, инновациялық әдіснамалар қолданылады. К-орташа және логистикалық регрессия алгоритмін қолдану аномалиялар мен күдікті транзакцияларды анықтауда жүйелі нәтижелер көрсетеді. Қаржылық операциялардың синтетикалық деректерін қосу зерттеуге ақшаны жымқыру тәжірибесін зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеу ақшаны жымқыруға қарсы күрес және Қазақстандағы құқықтық және институционалдық базаны нығайту жөніндегі күш-жігерді күшейтудегі бастапқы қадам ретінде қызмет етеді. Алынған нәтижелер ақшаны жымқыруды анықтау және оның ұлттық және өлемдік қауіпсіздікке әсері туралы құнды ғылыми тұжырымдар береді.

Түйін сөздер: ақшаны жылыстатуды анықтау, тәуекелдерді ұлттық бағалау, ақшаны жылыстатуға қарсы іс-қимыл, терроризмді қаржыландыру, Машиналық оқыту, логистикалық регрессия, К-орташа алгоритм.

Аннотация. В рамках глобальной проблемы отмывания денег в данном исследовании проводится всесторонняя оценка национальных рисков с акцентом на Казахстан. В исследовании используются передовые методы для выявления уязвимостей в финансовом и нефинансовом

секторах и оценки потенциальных рисков, связанных с отмыванием денег. Для анализа паттернов финансовых транзакций с целью различения законных операций и потенциальных схем отмывания денег в исследовании применяются инновационные методологии, включая методы обучения без учителя и обучения с учителем. Применение алгоритма K-средних и логистической регрессии показывает многообещающие результаты в выявлении аномалий и подозрительных транзакций. Включение синтетических данных о финансовых операциях позволяет исследованию раскрывать практики отмывания денег и их скрытую природу. Это исследование служит начальным шагом в усилении усилий по борьбе с отмыванием денег и укреплению правовой и институциональной базы в Казахстане. Полученные результаты предоставляют ценные научные выводы относительно выявления отмывания денег и его влияния на национальную и мировую безопасность.

Ключевые слова: выявление отмывания денег, национальная оценка рисков, противодействие отмыванию денег (ПОД), финансирование терроризма, машинное обучение, логистическая регрессия, алгоритм K-средних.

Introduction. Money laundering represents a problem worth billions of dollars. It's an exceptionally challenging task to detect money laundering activities. Most automated algorithms tend to produce a high number of false positives, where lawful transactions are mistakenly identified as money laundering [1]. Conversely, there is a significant concern regarding false negatives, which are instances of money laundering going undetected. Criminals, as expected, make significant efforts to hide their trail.

The national risk assessment of money laundering has the following goals:

1. Identifying commonly used money laundering schemes.
2. Identifying vulnerabilities in both the financial and non-financial sectors, as well as in existing laws.
3. Promoting a unified understanding of money laundering risks at the national level among the Financial Monitoring Committee (FMC), government entities, law enforcement agencies, and specialized organizations.
4. Developing measures to minimize and effectively manage money laundering risks.

To accomplish the objectives of this research, specific tasks for the national risk assessment have been outlined:

1. Identifying threats and vulnerabilities related to money laundering stemming from predicate and high-risk crimes.
2. Examining the enforcement practices of legislation by government bodies involved in combating money laundering and terrorist financing.
3. Analyzing the criminogenic environment to pinpoint the factors and circumstances that facilitate money laundering.
4. Formulating comprehensive anti-money laundering and counter-terrorist financing strategies within the Republic of Kazakhstan.

Known cases of money laundering and terrorist financing can be sensitive information and their details are often not published publicly. However, in the past there have been some measures related to money laundering and terrorist financing in the Republic of Kazakhstan [2].

1. Case of financial support in the West Kazakhstan region (2016): In 2016, a case of financial support was registered in the West Kazakhstan region. During the investigation, financial flows aimed at supporting terrorist activities were identified.

2. Money laundering through bank accounts (multiple instances): Various cases of money laundering through bank accounts have been uncovered at different times in Kazakhstan. Money laundering often involves the use of complex schemes, including the creation of fictitious companies and the movement of funds through various bank accounts.

3. Efforts to combat the financing of terrorism and the legitimization of illicit income: Kazakhstan is actively working to strengthen its legal framework and infrastructure to combat

terrorism financing and money laundering. These efforts include implementing measures to freeze the financial assets of terrorist organizations and mandating the reporting of suspicious transactions.

The most vulnerable to money laundering threats are:

- Tax crimes.
- Illegal economic activities.
- Corruption and embezzlement of budgetary funds.
- Fraud.
- Illegal drug trafficking.

Let's make an effort to evaluate potential risks and the likelihood of their occurrence, starting with an optimistic standpoint:

1. Due to various factors, terrorists still favor the use of physical cash. Firstly, terrorists predominantly operate in countries with less advanced technological sectors, making cryptocurrency operations challenging for them. Secondly, the enforcement of customer verification laws and anti-money laundering measures adds further hurdles for terrorists to access cryptocurrencies. Additionally, government agencies have initiated the tracking of transactions on the most popular blockchains. Consequently, opting for physical currency offers a higher level of anonymity and proves to be more challenging to track [3].

2. Additionally, certain terrorist networks have established their own payment systems. All of these factors render the widespread adoption of cryptocurrencies for terrorism financing impractical [4].

3. Another argument from Western experts suggests that terrorists currently lack the essential skills for effectively employing cryptocurrencies. It is believed that utilizing cryptocurrencies demands specialized knowledge in information security. Furthermore, cryptocurrency values are highly volatile, making them less attractive to both regular users and terrorists.

Another challenge for national and international security is the development of shadow marketplaces that maximize anonymity in actions and transactions within the market.

Methodology. Despite the evident need for well-established, science-based anti-money laundering (AML) techniques, methods for detecting money laundering are somewhat limited [5]. The existing on Anti Money Laundering methods falls into two primary categories:

1. Unsupervised Learning: These methods aim to identify data patterns without prior information regarding which data points correspond to money laundering.

2. Supervised Learning: In contrast, supervised learning methods strive to learn patterns that distinguish money laundering from legitimate financial operations. This is achieved by utilizing labeled data where the outcomes (money laundering or not) are known [6].

Supervised learning is generally preferred when there is access to data with known outcomes or labels. However, in the context of anti-money laundering (AML), this poses a challenge. Unlike other forms of financial fraud, financial institutions seldom determine whether a money laundering suspect is definitively guilty of a crime. To address this issue, we can circumvent it by modeling "suspicious" behavior rather than actual money laundering [5]. Machine Learning (ML) belongs to the realm of Artificial Intelligence (AI) applications, and its core purpose revolves around training machines using historical data. This training process equips machines with the ability to comprehend and classify previous datasets, ultimately culminating in the creation of highly effective and accurate prediction algorithms [7]. In this article, we will conduct testing and comparative analysis of the following algorithms. Our paper represents a comparative analysis of machine learning algorithms. The choice of these algorithms was influenced by their successful application in analogous industry challenges.

Here some classification approaches which can be used for money laundering:

a. Logistic Regression: straightforward yet efficient classification algorithm that models the likelihood of a suspicious transaction.

b. Random Forest: A robust ensemble learning technique capable of capturing intricate patterns within transactional data.

c. Support Vector Machines (SVM): Proficient in segregating transactions into categories of suspicion and non-suspicion through the utilization of hyperplanes.

This article will explore the use of a machine learning algorithm, namely K-means clustering and logistic regression in the context of money laundering detection.

Clustering is a data classification technique where data is grouped into multiple categories based on specific features. This grouping ensures that data within the same category exhibit maximum similarity, while data in different categories show minimal similarity [8].

The K-means clustering algorithm is a widely adopted method for clustering data. It involves dividing objects into clusters based on a specified number of clusters. The primary goal is to maximize the similarity among objects within the same cluster while minimizing the similarity between objects in different clusters. This algorithm is known for its simplicity and efficient clustering capabilities. It finds applications in various domains, including data mining, pattern recognition, and image analysis. When applied to stock prediction, it can quickly compute and yield accurate clustering outcomes. However, it has some drawbacks, such as sensitivity to initialization and susceptibility to getting stuck in local extremes.

Here are the steps of the algorithm:

1. Begin with a dataset A containing B objects, where $n = 1, 2, \dots, m$, $A = \{a_m\}_n$ and select i objects randomly as the initial cluster centers.

2. Calculate the distance between the m -th object (a_m) and the j -th cluster center (c_j) using the formula:

$$D(a_m, c_j) = \sqrt{(a_m - c_j)^2} \quad (1)$$

3. Determine the minimum distance $D_{\min}(a_m, c_j)$ from the m -th object (a_m) to the j -th cluster center (c_i). Assign objects to the nearest cluster based on the condition:

$$C_j = \{a_m: D(a_m - c_j) < D(a_m - c_z), 1 \leq z \leq i\} \quad (2)$$

4. Compute the mean of objects within the same cluster to update the cluster center:

$$c_j = \frac{1}{n_z} \left[\sum_{\forall A_m \in Y_z} A_m \right] \quad (3)$$

where n_z represents the number of objects in the z -th class, and Z_j is the subset of all object collections in class j .

5. Repeat steps (2)-(4) until the algorithm converges.

The K-means clustering algorithm typically evaluates the clustering effectiveness using the sum of squared error's function:

$$V = \sum_{z=1}^i \sum_{j=1}^{Y_z} |a_j^z - c_z|^2 \quad (4)$$

where i represents the number of clusters, Y_z denotes the size of cluster z , a_j represents an object in cluster z , c_z is the cluster center, and $|a_j^z - c_z|^2$ represents the distance from object a_j to cluster center c_z .

Nonetheless, the K-means clustering algorithm exhibits certain limitations. To begin with, the selection of the cluster number k relies on human discretion, typically guided by experience. For our research we will choose several clusters 20. Various k values that can yield distinct clustering outcomes. Moreover, the application of different distance calculation techniques may lead to divergent clustering results. Furthermore, the algorithm's objective function is susceptible to convergence into local optima.

Logistic regression models are commonly employed to understand the connection between a qualitative variable, a dichotomous dependent variable (either binary or binomial logistic regression), and one or more independent explanatory variables, which can be of qualitative or quantitative nature. Initially formulated in an exponential form, these models can be transformed into a logarithmic equation (logit), enabling their use as a linear function [9].

Logistic regression is a statistical technique used to predict binary outcomes by considering one or more predictor variables. Its primary goal is to determine whether a variable instance belongs to a specific category. This approach finds applications in various fields, including:

- Assessing credit scores
- Evaluating the effectiveness of marketing campaigns
- Predicting the revenue of a particular product

The predictions generated typically involve outcomes like Yes/No, Alive/Dead, Pass/Fail, and so on.

Logistic regression can accommodate a wide range of features, encompassing both continuous and discrete variables, as well as non-linear features. This technique relies on the utilization of the Sigmoid function, often referred to as the Logistic function.

$$P(y|x) = \frac{e^{\alpha+\beta x}}{1 + e^{\alpha+\beta x}} \quad (4)$$

Given the nature of logistic regression models, two main types of analyses can be conducted:

1. Assessing the significance of the relationship between each covariate and the dependent variable.
2. Categorizing individuals into the two groups of the dependent variable based on their probability of belonging to either category.

In the context of this study, the second type of analysis is the primary focus. Logistic regression is a valuable statistical tool for estimating individual probabilities.

However, when dealing with a relatively large number of covariates or when these covariates exhibit high correlations, the estimated model parameters may become unstable. Consequently, it becomes necessary to carefully select the variables that will be utilized in training the model.

Data sources. Real financial transaction data is highly limited in access, primarily due to confidentiality and privacy concerns. Even when access is possible, accurately labeling each transaction as either involving money laundering or being legitimate, as mentioned before, poses significant difficulties. Synthetic transaction data provided by IBM presents a way to circumvent these challenges. Real data sets couldn't be used for analysis that's why they have been used from big data set website kaggle.com [10].

The information provided here is derived from a virtual world populated by individuals, businesses, and banks. People interact with one another and with companies, and similarly, businesses engage with both other companies and individuals. These interactions can take various forms, including buying consumer goods and services, placing orders for industrial products, paying salaries, repaying loans, and more. Typically, these financial transactions occur through banks, where both the payer and the recipient have various types of accounts, ranging from checks to credit cards and bitcoins.

A certain (small) segment of individuals and companies in the model engage in unlawful activities, such as smuggling, illegal gambling, extortion, etc. Criminals obtain proceeds from these illicit activities and then try to obscure the source of these illegal funds through a series of financial transactions. These financial maneuvers aimed at concealing illicit funds are referred to as money laundering [10].

The data generator responsible for the information presented here not only imitates illegal activities but also tracks the funds obtained from these unlawful activities across a varying number of transactions. This capability enables the detection of money laundering transactions, even when they are several steps removed from their unlawful origin. Thanks to this underlying framework, the generator finds it more straightforward to categorize individual transactions as either legitimate or illicit.

It's worth emphasizing that this IBM generator models the complete money laundering process:

1. Placement: The introduction of illegitimate funds, such as those from contraband sources.
2. Layering: The commingling of illegal funds within the financial system.
3. Integration: The utilization of these illicit funds.

Moreover, a noteworthy advantage of using synthetic data is that, an actual bank or institution usually has access only to a portion of transactions related to money laundering: those involving that specific institution. Transactions taking place in other banks or between different banks often evade detection. Consequently, models constructed based on actual transactions from a single institution can offer only a restricted perspective of the broader financial landscape [11].

Conversely, these synthetic transactions encompass an entire financial ecosystem. As a result, it becomes feasible to develop money laundering detection models that encompass a broad spectrum of transactions between institutions and apply these models to make assessments specifically concerning transactions within a particular bank [12].

Certainly, money laundering detection is more effectively addressed using classification and anomaly detection methods. Here are the steps and methods typically employed for this purpose.

Results. To assess the outcomes, we employed SAS for algorithm precision and calculations.

The application of K-means clustering for money laundering detection involves the following steps [13]:

1. Feature Engineering: Relevant features were derived from synthetic financial transaction data. These features encompass transaction amount, frequency, source, destination, and timestamp. This dataset was obtained from the Kaggle website.

2. Data Preparation: Data underwent a cleaning and preprocessing phase to ensure it adheres to an appropriate format for analysis. The data was imported into SAS for analysis, leveraging SAS's machine learning and data mining capabilities, which facilitate tasks such as predictive modeling, clustering, classification, and other advanced analytics.

3. Cluster Generation: The K-means algorithm was employed on the preprocessed data. The choice of 20 clusters (K) was based on problem-specific considerations and domain expertise. The algorithm segregated transactions into K clusters by assessing their similarity within the feature space (Fig. 1) [14].

4. Identification of Anomalies: Following the clustering process, transactions were analyzed in smaller, more manageable subsets. Clusters displaying notable deviations from the standard pattern were detected. Transactions within these clusters could be marked as potential anomalies or suspicious occurrences (Fig. 2).

Replace=FULL Radius=0 Maxclusters=20 Maxiter=1

Initial Seeds						
Cluster	Timestamp	From Bank	To Bank	Amount Received	Amount Paid	Is Laundering
1	0.128525414	0.000193656	0.696185443	0.000000000	0.000000000	1.000000000
2	0.042815618	0.870121414	0.000039294	0.000000000	0.000000000	0.000000000
3	0.936483620	0.000000000	0.000000000	0.000000011	0.000000013	0.000000000
4	0.008052479	0.999974741	1.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
5	0.764710504	0.660978608	0.000000000	0.000000001	0.000000001	0.000000000
6	0.324809490	0.055918855	0.589918971	1.000000000	1.000000000	0.000000000
7	0.048825517	0.713871940	0.713572818	0.000000000	0.000000000	1.000000000
8	0.480791893	0.996244759	0.621064686	0.000000002	0.000000002	0.000000000
9	0.933459031	0.600476562	0.600491730	0.000000008	0.000000009	0.000000000
10	0.007188310	0.699984844	0.005759305	0.000000003	0.000000003	1.000000000
11	0.127347003	0.348008150	0.033393864	0.000000355	0.000000355	0.000000000
12	0.472817975	0.062202850	0.062204422	0.598331346	0.007690239	0.000000000
13	0.480124126	0.000039293	0.719980466	0.000000000	0.000000000	0.000000000
14	0.992143923	0.026297916	0.003151900	0.000000002	0.000000002	1.000000000
15	0.667530835	0.602713428	0.615920043	0.000000004	0.000000004	1.000000000
16	0.112420457	0.000193656	0.000328381	0.000000003	0.000000003	1.000000000
17	0.105389269	0.034745806	0.000005613	0.534581959	0.534581959	0.000000000
18	0.359415508	0.314516899	0.000016840	0.923187540	0.923187540	0.000000000
19	0.817699741	0.000328373	0.699191396	0.000000039	0.000000039	1.000000000
20	0.764710504	0.660978608	0.000000000	0.000000010	0.000000010	1.000000000

Criterion Based on Final Seeds = 0.0761

Figure 1. Initial seeds of 20 clusters on SAS

Cluster Means						
Cluster	Timestamp	From Bank	To Bank	Amount Received	Amount Paid	Is Laundering
1	0.226271824	0.030814550	0.490557922	0.000144323	0.000144323	1.000000000
2	0.089951688	0.695890913	0.128310454	0.000003800	0.000003800	0.000000000
3	0.444649135	0.029299958	0.039857838	0.000003987	0.000002559	0.000000000
4	0.035472099	0.659063113	0.663363377	0.000002301	0.000002299	0.000000000
5	0.423409242	0.633911514	0.054216470	0.000001421	0.000001421	0.000000000
6	0.324809490	0.055918855	0.589918971	1.000000000	1.000000000	0.000000000
7	0.174592500	0.504060081	0.490394448	0.000001357	0.000001357	1.000000000
8	0.371725705	0.677885408	0.538654332	0.000002470	0.000002461	0.000000000
9	0.404979823	0.395732495	0.462457637	0.000003645	0.000003605	0.000000000
10	0.205813767	0.503373025	0.049947159	0.000007201	0.000007201	1.000000000
11	0.130751881	0.050624713	0.056948332	0.000005286	0.000003875	0.000000000
12	0.159627622	0.045180774	0.045181915	0.487317452	0.006411136	0.000000000
13	0.276743225	0.040405022	0.517553948	0.000003885	0.000003885	0.000000000
14	0.600128531	0.028205288	0.029975186	0.000001629	0.000001629	1.000000000
15	0.481582469	0.511966074	0.486860855	0.000006539	0.000006539	1.000000000
16	0.263541588	0.027689688	0.033614021	0.000037153	0.000037153	1.000000000
17	0.159627622	0.045180774	0.196061107	0.487317452	0.487317452	0.000000000
18	0.359415508	0.314516899	0.000016840	0.923187540	0.923187540	0.000000000
19	0.545300170	0.034252975	0.490560230	0.000001411	0.000001411	1.000000000
20	0.525680259	0.502375384	0.038844144	0.000002635	0.000002635	1.000000000

Figure 2. Cluster means on SAS

Based on the analysis data and the results of clustering in the figure below, we can identify the nearest cluster and the distance between centroids.

Cluster Summary						
Cluster	Frequency	RMS Std Deviation	Maximum Distance from Seed to Observation	Radius Exceeded	Nearest Cluster	Distance Between Cluster Centroids
1	591	0.0778	0.3445		19	0.3190
2	173790	0.0902	0.4707		5	0.3472
3	1113313	0.0384	0.4897		11	0.3151
4	182120	0.0938	0.4687		8	0.3591
5	160054	0.0781	0.3922		2	0.3472
6	1	.	0		18	0.6541
7	174	0.0899	0.3418		15	0.3071
8	116294	0.0868	0.5394		9	0.2941
9	111864	0.0778	0.4484		8	0.2941
10	407	0.0726	0.3226		20	0.3201
11	2254690	0.0675	0.4694		3	0.3151
12	5	0.0928	0.3035		11	0.4884
13	961031	0.0918	0.4697		9	0.3818
14	901	0.0479	0.3304		16	0.3366
15	166	0.0914	0.4640		7	0.3071
16	2329	0.0604	0.3100		14	0.3366
17	5	0.1307	0.3743		12	0.504
18	1	.	0		6	0.654
19	290	0.0749	0.3647		1	0.319
20	319	0.0767	0.3915		10	0.320

Figure 3. Cluster summary on SAS

Small datasets encompass a 10-day window of "actual" data, spanning from September 1 to September 10, 2022. It's worth mentioning that the dataset includes only a limited number of transactions occurring after September 10. This occurrence is attributable to the fact that certain money laundering schemes entail multiple days to reach completion. For instance, if an individual initiates a fund laundering process on September 10 that requires an additional 2 days to conclude, the dataset will incorporate transactions related to this money laundering cycle on September 11 and 12.

The second analysis of logistic regression algorithms. A dataset has been taken from kaggle and analyzed by the function "is laundered". Selection method is a backward method (Fig. 4).

Consider Y as the binary target variable, taking the value 1 when an event occurs and 0 when there's no event. X represents the explanatory input variables, and we refer to the probability associated with them as the "response probability."



Figure 4. Imported data to SAS

The Akaike Information Criterion (AIC) serves as a measure for evaluating the goodness of fit of various regression models (Fig.5).

The Bayesian Information Criterion (also known as Schwarz Criterion or SC) is employed for model selection among a group of parameterized models, each having a different number of parameters.

One key distinction compared to the Akaike criterion is that the Bayesian Information Criterion penalizes the inclusion of additional parameters [15].

In essence, lower values of both AIC and SC indicate a model's superior ability to fit the data. In Figure described fit criteria for is laundering and determined full model.

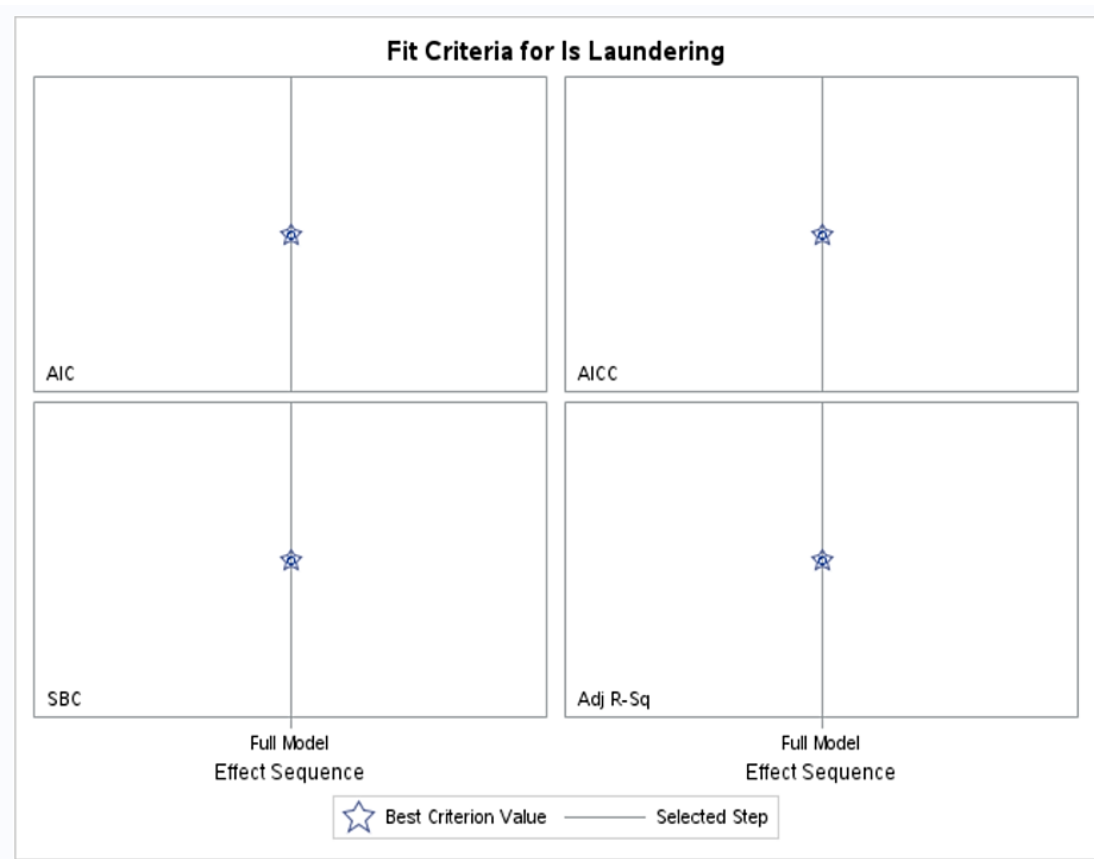


Figure 5. Fit criteria diagram for “Is Laundering” on SAS

Given that the p-value is below 0.05, it indicates that the logistic regression model, as a complete entity, holds statistical significance (Fig. 6).

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	28.41269	3.55159	3506.72	<.0001
Error	5.08E6	5143.30974	0.00101		
Corrected Total	5.08E6	5171.72243			

Figure 6. Analysis of “Is Laundering”

Discussion. The discussion revolves around the application of K-means clustering and logistic regression in money laundering detection. The primary focus of this analysis is to assess the efficacy of these machine learning methods in identifying suspicious financial transactions.

K-means clustering is a valuable tool for grouping transactions based on their similarity within the feature space. However, it has certain limitations, including sensitivity to initialization and the risk of converging into local optima. The choice of the number of clusters (K) requires careful consideration and may yield different results for distinct K values. The clustering results reveal anomalies that can be categorized as potential suspicious activities.

In contrast, logistic regression offers a straightforward approach to modeling the likelihood of suspicious transactions. However, in the context of money laundering, where guilt is rarely definitively established, modeling "suspicious" behavior becomes more pragmatic. The Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) help assess the goodness of fit for different regression models.

Overall, both clustering and regression techniques hold promise in money laundering detection, with the choice depending on specific use cases and data availability. Future research should focus on improving these models and addressing their limitations for more robust anti-money laundering efforts.

Conclusions. The article mentions that Kazakhstan is actively working to strengthen its legal framework and infrastructure to combat terrorism financing and money laundering.

Furthermore, it highlights that the national risk assessment in Kazakhstan is aimed at identifying vulnerabilities in both financial and non-financial sectors, developing measures to minimize money laundering risks, and promoting a unified understanding of these risks among relevant authorities.

In conclusion, this study investigates the application of machine learning techniques, specifically K-means clustering and logistic regression, for money laundering detection. The research aimed to assess the effectiveness of these methods in identifying suspicious financial transactions.

K-means clustering, a data classification technique, showed promise in grouping transactions based on their similarity within the feature space. However, it exhibited certain limitations, including sensitivity to initialization and potential convergence into local optima. The choice of the number of clusters (K) proved crucial and impacted the clustering results.

On the other hand, logistic regression offered a straightforward approach to modeling the likelihood of suspicious transactions, considering binary outcomes. The Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) were employed to evaluate the model fit.

Both clustering and regression techniques provide valuable tools in money laundering detection, with their suitability depending on the specific use case and available data. Future research should focus on refining these models, addressing their limitations, and incorporating real-world financial data to enhance anti-money laundering efforts and minimize false positives and false negatives. Overall, these methods represent critical steps in combating the complex and evolving challenge of money laundering in the financial sector.

Acknowledgements. This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19576825, "Development of machine learning methods and algorithms to identify the financing of terrorist activities in the Republic of Kazakhstan").

References

1. Alkhalili, M., & Qutqut, M. H. (2021). Investigation of Applying Machine Learning for Watch-List Filtering in Anti-Money Laundering. *IEEE Access*, 9, 18481-18496. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052313>.
 2. Agency of the Republic of Kazakhstan for Financial Monitoring. (2021). National Risk Assessment of Money Laundering (ML) and Financing of Terrorism (TF).
 3. Mohammed, H. N., Malami, N. S., Thomas, S., Aiyelabegan, F. A., Imam, F. A., & Ginsau, H. H. (2022). Machine Learning Approach to Anti-Money Laundering: A Review. In Proceedings of the 4th IEEE Nigeria International Conference on Disruptive Technologies for Sustainable Development, NIGERCON DOI: 10.1109/NIGERCON54645.2022.9803072.
 4. Goldman Z.K., Maruyama E., Rosenberg E., Saravalle E., Soloman-Strauss J. (2017) Terrorist Use of Virtual Currencies / Center for a New American Security. May 3. <https://www.cnas.org/publications/reports/terrorist-use-of-virtual-currencies>.
 5. Jullum, M., Løland, A., & Huseby, R.B. (2020). Detecting money laundering transactions with machine learning. *Journal of Money Laundering Control*. DOI: 10.1108/JMLC-07-2019-0055.
 6. Colladon, A.F. and Remondi, E. (2017), Using social network analysis to prevent money laundering, *Expert Systems with Applications*, Vol. 67, pp. 49-58.
 7. M. Mohri, A. Rostamizadeh, and A. Talwalkar, *Foundations of Machine Learning*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2012.
 8. S. Kapil, M. Chawla and M.D. Ansari, On K-means data clustering algorithm with genetic algorithm, *International Conference on Parallel. IEEE*, (2017), 202-206.
 9. Zhang, Y., Trubey, P. Machine Learning and Sampling Scheme: An Empirical Study of Money Laundering Detection. *Comput Econ* 54, 1043-1063 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10614-018-9864-z>.
 10. Smith, J. (2023, October 5). Machine Learning Algorithms for Anti-Money Laundering. *Kaggle*. <https://www.kaggle.com/datasets/ealtman2019/ibm-transactions-for-anti-money-laundering-aml/discussion/427517>
 11. Rakhmetulayeva, S., & Kulbayeva, A. (2022). Building Disease Prediction Model Using Machine Learning Algorithms on Electronic Health Records' Logs. *CEUR Workshop Proceedings*, 3382, 188-197. ISSN 1613-0073.
 12. Becketnova, Y.M. (2020). Analysis of automation possibilities for detecting unscrupulous microfinance organizations based on machine learning methods. *Finances: Theory and Practice*, 24(6), 38-50. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2020-24-6-38-50>
 13. Domashova, J., & Mikhailina, N. (2021). Usage of machine learning methods for early detection of money laundering schemes. *Procedia Computer Science*, 190, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.06.033>.
 14. Yang, G., Liu, X., & Li, B. (2023). Anti-money laundering supervision by intelligent algorithm. *Computers & Security*, 132, 103344. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103344>.
 15. Lokanan, M.E. (2023). Predicting money laundering sanctions using machine learning algorithms and artificial neural networks. *Applied Economics Letters*. <https://doi.org/10.1080/13504851.2023.2176435>.
-
-

ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
REMOTE SENSING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_65
MPHTI 37.23.15

А.А. Кусаинова¹, О.В. Мезенцева²

¹Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
г. Караганда, Казахстан.
E-mail: aimarh@mail.ru*

²Омский государственный педагогический университет, г. Омск, Россия
E-mail: mezolga@yandex.ru.

**ЕСТЕСТВЕННОЕ УВЛАЖНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ
ЗОН КАЗАХСТАНА В ГОДЫ РАЗЛИЧНОЙ ТЕПЛОВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ**

**ЖЫЛУ-ЫЛҒАЛМЕН ӘРТҮРЛІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТІЛГЕН ЖЫЛДАРДАҒЫ
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОРМАНДЫ ДАЛА ЖӘНЕ ДАЛА АЙМАҚТАРЫ АУМАҒЫНЫҢ
ТАБИҒИ ЫЛҒАЛДАНУЫ**

**NATURAL MOISTENING OF THE FOREST-STEPPE AND STEPPE ZONE OF
KAZAKHSTAN IN YEARS WITH DIFFERENT AVAILABILITY OF HEAT AND MOISTURE**

Аннотация. В статье исследовано естественное увлажнение вегетационного периода (май-август) в годы различной обеспеченности теплом и влагой в условиях территории лесостепной и степной зон Северного Казахстана для метеостанций Атбасар и Благовещенка с применением стандартных метеорологических данных о температуре воздуха и суммах атмосферных осадков. На основе метода гидролого-климатических расчетов определены значения элементов теплового и водного баланса за многолетний период (1961-2020 гг.), выявлены периоды засушливых и наиболее увлажненных лет в разрезе десятилетий. На исследуемой территории величины значений водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов испарения и в засушливые, и во влажные годы превышают значения сумм осадков оптимальных условий. При этом высокий дефицит увлажнения в засушливые годы в 1,5-2 раза превышает нормы этого показателя при оптимальных условиях увлажнения с коэффициентом увлажнения на уровне 1,0. Коэффициент увлажнения на всех исследуемых метеостанциях в засушливые годы в 2-3 раза ниже нормы, характеризующей оптимальные условия. На территории степной зоны на метеостанции Атбасар за 60-лет оказалось засушливых лет больше, чем влажных, а в районе лесостепной зоны на метеостанции Благовещенка – влажных лет больше, чем засушливых. Тенденции последнего десятилетия характеризуются одинаковой частотой повторяемости засушливых и влажных лет в степной зоне и чуть большей повторяемостью влажных лет в лесостепной зоне.

Ключевые слова: Северный Казахстан, степная и лесостепная зоны, температура воздуха, количество осадков, увлажнение, тепловлагообеспеченность, засушливые и влажные годы.

Аңдатпа. Мақалада Солтүстік Қазақстанның орманды дала және дала аймақтары жағдайында вегетациялық кезеңінің (мамыр-тамыз) жылумен және ылғалмен әртүрлі қамтамасыз етілген жылдардағы табиғи ылғалдануы зерттелді. Атбасар және Благовещенка метеостанцияларында алынған ауа температурасы мен жауын-шашын мөлшері секілді стандартты метеорологиялық деректерді қолдану арқылы, гидрологиялық-климаттық есептеу әдісі негізінде көп жылдық кезеңдегі (1961-2020 жж.) жылу және су балансы элементтерінің мәндері анықталды, сонымен қатар ондаған жылдар бөлінісінде құрғақ және ылғалды жылдар кезеңдері анықталды. Зерттелген аумақта буланудың жылу энергетикалық ресурстарының су эквиваленті мәндерінің шамалары құрғақ және ылғалды жылдары жауын-шашын сомасының оңтайлы жағдайлардағы мәндерінен асып түседі. Сонымен қатар, құрғақ жылдары ылғалдың жоғары тапшылығы ылғалдану коэффициенті 1,0 деңгейіндегі оңтайлы ылғалдану жағдайындағы көрсеткіштің нормасынан 1,5...2 есе артық. Құрғақ жылдары барлық зерттелетін метеостанциялардағы ылғалдану коэффициенті оңтайлы жағдайларды сипаттайтын нормадан 2-3 есе төмен. Дала

аймағында, Атбасар метеостанциясында 60 жыл ішінде ылғалды жылдарға қарағанда құрғақ жылдар көп болды, ал орманды дала аймағында Благовещенка метеостанциясында құрғақ жылдарға қарағанда ылғалды жылдар көп болды. Соңғы онжылдықтағы тенденциялар дала аймағында құрғақ және ылғалды жылдардың бірдей қайталану жиілігімен және орманды дала аймағында ылғалды жылдардың көбірек қайталануымен сипатталады.

Түйін сөздер: Солтүстік Қазақстан, дала және орманды дала аймақтары, ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері, ылғалдану, жылу-ылғалмен қамтамасыз ету, құрғақ және ылғалды жылдар.

Abstract. The article investigates the natural humidification of the growing season (May-August) during the years of different availability of heat and moisture in the conditions of the forest-steppe and steppe zones of Northern Kazakhstan for the Atbasar and Blagoveshchenka weather stations using standard meteorological data on air temperature and precipitation amounts. Based on the method of hydrological and climatic calculations, the values of the elements of the thermal and water balance for a long-term period (1961-2020) were determined, the periods of the driest and most humid years in the context of decades were revealed. In the study area, the values of the water equivalent of heat and energy resources of evaporation in both dry and wet years exceed the values of precipitation amounts of optimal conditions. At the same time, the high moisture deficit in dry years is 1.5-2 times higher than the norm of this indicator under optimal humidification conditions with a humidification coefficient of 1.0. The humidification coefficient at all studied weather stations in dry years is 2-3 times lower than the norm characterizing optimal conditions. On the territory of the steppe zone, at the Atbasar weather station for 60 years there were more dry years than wet ones, and in the area of the forest-steppe zone at the Blagoveshchenka weather station there were more wet years than dry ones. The trends of the last decade are characterized by the same frequency of repetition of dry and wet years in the steppe zone and slightly greater frequency of wet years in the forest-steppe zone.

Keywords: Northern Kazakhstan, steppe and forest-steppe zones, air temperature, precipitation, humidification, heat and moisture availability, dry and wet years.

Введение. В засушливых условиях южной лесостепной и степной природных зон Северного Казахстана важное значение приобретает обеспеченность периода вегетации (май-август) влагой и теплом для прорастания семян, фаз вегетации растений и дальнейшего получения высокой урожайности сельскохозяйственных культур. В этой связи, исследование естественной тепловлагообеспеченности территории является актуальным. Агроклиматические условия, такие как температура воздуха, количество осадков и дефицит (или избыток) увлажнения теплого периода, являются первостепенными факторами, определяющими урожайность зерновых культур.

Территория Северного Казахстана в целом характеризуется недостаточностью увлажнения в вегетационный период, обусловленной возрастанием теплоэнергетических ресурсов и уменьшением сумм атмосферных осадков относительно снижения географической широты местности (в сторону к субтропическому поясу). Вместе с тем, на территории иногда отмечаются и влажные годы с редкой повторяемостью [1, 2]. В.С. Мезенцев в своих исследованиях природную зону степей охарактеризовал как «зону весьма недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности», так как значения средней влажности почвы теплого периода составляли 0,40...0,65 ее наименьшей влагоемкости, означающие влагообеспеченность «от нижнего критерия оптимума увлажнения до устойчивого коэффициента завядания» [3, 4].

Материалы и методы. Методологическую основу данного исследования составили анализ, сравнение и обобщение стандартной метеорологической информации с использованием подходов и метода гидролого-климатических расчётов (ГКР), предложенного В.С. Мезенцевым [3, 4]. Для проведения исследования использованы официальные источники метеорологической информации [5, 6], научные результаты ученых, занимающихся исследованиями в данной области. Эмпирическую базу настоящего исследования составили данные метеорологических станций Атбасар и Благовещенка, расположенных на территории Северного Казахстана.

Для определения закономерностей пространственного распределения естественной тепловлагообеспеченности на исследуемой территории рассмотрены данные об осадках и температурах вегетационного периода за конкретные характерные годы с недостаточным и избыточным увлажнением. Метеостанции, расположенные в лесостепной и степной зонах, позволяют выполнить сравнение с учетом широтной зональности (рис. 1). Воднобалансовые расчеты для вегетационного периода выполнены для интервала с 1961 по 2020 гг. продолжительностью 60 лет, когда наблюдались как маловодные, так и многоводные годы.

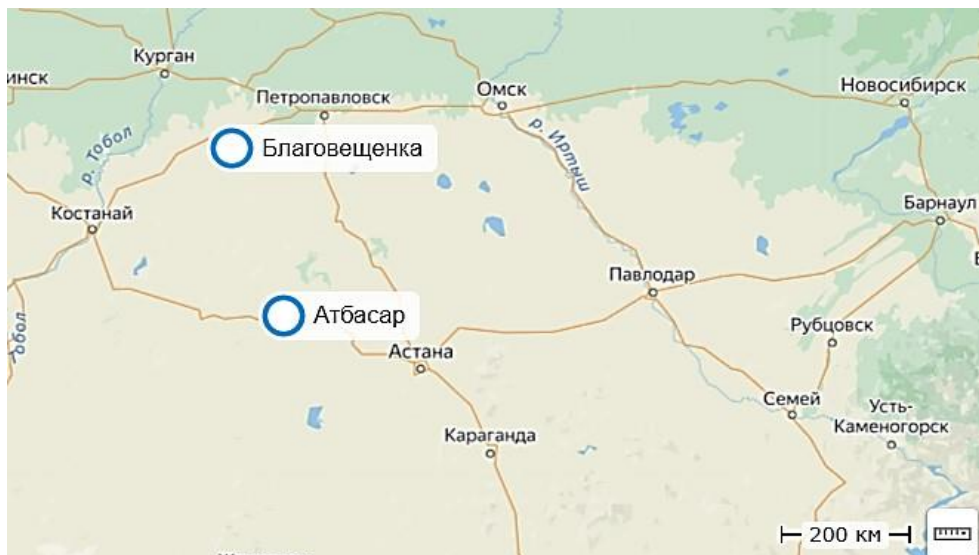


Рисунок 1. Месторасположение метеостанций исследуемой территории

Увлажненность территории определяется круговоротом воды между поверхностью земли и атмосферой, совершаемым из-за непрерывного тепловлагообмена между деятельным слоем подстилающей поверхности и приземным слоем воздуха. При этом урожайность выращиваемых культур обусловлена главным образом соотношением ресурсов тепла и влаги (естественной тепловлагообеспеченностью территории) [7-10]. В ходе расчетов использованы данные о среднемесячных температурах воздуха выше 0 °С вегетационного периода (май-август) и соответствующие им ежемесячные суммы атмосферных осадков.

Согласно методу гидролого-климатических расчётов (ГКР) В.С. Мезенцева [3, 4], в случае неравенства атмосферного увлажнения оптимальному значению, получаемому с помощью водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов испарения, их разность выражает величину дефицита влаги. Для определения водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов (Z_m) использовались формулы, предложенные И.В. Карнацевичем [3], по которым расчёт годовой величины данной характеристики производится в зависимости от суммы среднемесячных положительных температур воздуха и затем распределяется по месяцам пропорционально месячным значениям дефицита влажности воздуха:

$$Z_m = \frac{T_z}{L} \quad , \quad (1)$$

$$T_z = 17,6 \sum t + 400 \quad , \quad (2)$$

где: Z_m – максимально возможное испарение (водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов испарения), мм/год; T_z – теплоэнергетические ресурсы суммарного испарения, МДж/($m^2 \cdot \text{год}$); L – удельная теплота парообразования, $L = 2,512$ МДж/($m^2 \cdot \text{мм}$); $\sum t$ – сумма положительных среднемесячных температур вегетационного периода.

Система уравнений метода ГКР представляет собой наиболее общую и универсальную, с точки зрения использования для необходимого расчетного периода, математическую модель процессов преобразования влаги на уровне деятельной поверхности водосборов любой территории. Показатель дефицита увлажнения территории (ΔKX) рассчитывается как разность между величинами атмосферных осадков (KX) и водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов (Z_m):

$$\Delta KX = KX - Z_m, \quad (3)$$

где KX – атмосферное увлажнение (атмосферные осадки, исправленные поправочным коэффициентом на недоучет измерительного прибора осадков), мм.

Структура соотношений между ресурсами тепла и ресурсами влаги определяет уровень увлажнения (естественного или антропогенного), поэтому показателем увлажнения (β_{KX}) территории за любой внутригодовой промежуток среднего года является отношение:

$$\beta_{KX} = \frac{KX}{Z_m}. \quad (4)$$

Единичное значение коэффициента увлажнения (влажности почвы в долях наименьшей влагоемкости) и нулевое значение дефицита увлажнения на территории определяет пространственный рубеж оптимального соотношения тепла и влаги. Данный рубеж считается верхним пределом оптимального увлажнения для большинства сельскохозяйственных культур. Нижний предел условий оптимальности увлажнения β_{KX} , например, для вегетации пшеницы составляет 0,6...0,7 и влажность деятельного слоя почвы на уровне около 65 % от ее наименьшей влагоемкости [11-13].

С единичной изолинией коэффициента увлажнения, как правило, связывают границу, которая разделяет области увлажнения, в одной из которых из-за избытка осадков происходит перерасход тепла на процессы суммарного испарения, в другой – из-за недостатка влаги возникает повышенный турбулентный теплообмен подстилающей поверхности и атмосферы, а также наблюдается перегрев и иссушение почвенного покрова. Нулевая изолиния дефицита увлажнения разделяет территорию на области, где требуются осушительные или оросительные мелиоративные работы. Величина и знак значений дефицита увлажнения определяют для этих областей масштабы избытков и недостатков увлажнения и объемы необходимых мелиоративных воздействий.

В работах О.В. Мезенцевой определены значения элементов тепло- и воднобалансовых характеристик естественной тепловлагообеспеченности вегетационного периода для территории юга Западной Сибири, соответствующие оптимальным гидролого-климатическим условиям для развития аграрного природопользования. Согласно им, в зоне с оптимальными условиями для аграрного природопользования сумма атмосферных осадков (KX) за вегетационный период среднего многолетнего года варьирует в пределах 250...350 мм, водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов испарения (Z_m) находится в интервале значений 480...550 мм, дефицит атмосферного увлажнения (ΔKX) отрицателен и находится в пределах 0...-300 мм, коэффициент увлажнения (β_{KX}) 1,0...0,60 [11,12]. Поскольку территория Северного Казахстана захватывает лесостепную и степную зоны на южной границе Западно-Сибирской равнины, данные нормы применимы к исследуемой территории.

В проведенном исследовании для метеостанций Атбасар и Благовещенка выявлены годы, в вегетационном периоде (май-август) которых имелись отклонения от приведенных величин тепловлагообеспеченности в сторону сухости или большего увлажнения.

На исследуемой территории за период с 1961 по 2020 гг. (60 лет) выявлены годы, где в вегетационном периоде (май-август) имелись недостаточная обеспеченность осадками и обеспеченность осадками выше оптимальных значений. В состав засушливых отнесены годы, в которых обеспеченность осадками вегетационного периода ниже 80 % от многолетней нормы, к влажным годам отнесены годы с обеспеченностью осадками выше 120 % от многолетней нормы. В засушливые годы дефицит увлажнения составляет более чем -300 мм, коэффициент увлажнения ниже 0,30 [13-15].

Исходными материалами для исследования послужили данные стандартных метеорологических наблюдений вегетационного периода (май-август), полученные на метеостанциях Атбасар и Благовещенка: средняя температура воздуха (выше 0 °С) и количество осадков за многолетний период 1961-2020 гг. [5,6]. Для выявления повторяемости засушливых и влажных лет весь исследуемый интервал времени разделен на периоды с продолжительностью по 10 лет.

Результаты. Анализ данных на метеостанции Атбасар показал, что при норме осадков за вегетационный период 149 мм за рассматриваемый интервал времени обеспеченность осадками ниже 80 % от нормы выявлена в 1961, 1965, 1968, 1971, 1975, 1976, 1978, 1984, 1986, 1997, 1998, 2000, 2004, 2007, 2010, 2016, 2019, 2020 гг., тогда как избыточная обеспеченность осадками (выше 120 % от нормы) выявлена в 1962, 1963, 1964, 1967, 1969, 1990, 1992, 1993, 1999, 2001, 2003, 2005, 2013, 2015, 2018 гг. (табл. 1, столбцы слева). Самый значительный дефицит увлажнения (-608 мм) был отмечен в 2010 году, наименьший наблюдался в 1969 году (-271 мм). Коэффициент увлажнения вегетационного периода варьировал в интервале 0,06...0,21 в годы с недостаточной обеспеченностью осадками, и в интервале 0,30...0,50 – в годы с обеспеченностью осадками выше нормы. На данной метеостанции за 60-летний период количество засушливых лет составило 18, а влажных – 15 лет. В последнее расчетное десятилетие (2011-2020 гг.) отмечается одинаковая частота повторяемости засушливых и влажных лет.

Таблица 1. Результаты расчетов тепло-воднобалансовых характеристик вегетационного периода по метеостанциям Атбасар и Благовещенка за 1961-2020 гг.

	Годы	КХ, мм	Z _m , мм	ΔКХ, мм	β _{кх} (доли ед.)	Годы	КХ, мм	Z _m , мм	ΔКХ, мм	β _{кх} (доли ед.)
Атбасар						Благовещенка				
1961-1970										
Засушливые годы	1961	116	579	-463	0,2	1965	93	597	-504	0,16
	1965	87	608	-521	0,14					
	1968	50	580	-530	0,09					
Влажные годы	1962	186	620	-434	0,3	1964	328	525	-197	0,62
	1963	180	569	-389	0,32	1967	234	602	-368	0,39
	1964	223	497	-274	0,45	1969	304	513	-209	0,59
	1967	197	612	-415	0,32	1970	242	550	-308	0,44
	1969	264	535	-271	0,49					

Окончание табл. 1

	Годы	КХ, мм	Z _m , мм	ΔКХ, мм	β _{кх} (доли ед.)	Годы	КХ, мм	Z _m , мм	ΔКХ, мм	β _{кх} (доли ед.)					
Атбасар						Благовещенка									
1971-1980															
Засушливые годы	1971	117	581	-464	0,20	1971	139	566	-427	0,25					
	1975	112	616	-504	0,18										
	1976	67	547	-480	0,12										
	1978	122	584	-462	0,21										
Влажные	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
1981-1990															
Засушливые годы	1984	99	578	-479	0,17	1981	106	611	-505	0,17					
	1986	119	558	-439	0,21										
											1984	127	559	-432	0,23
											1988	134	589	-482	0,22
Влажные годы	-	-	-	-	-	1985	250	532	-282	0,47					
											1986	227	528	-301	0,43
1991-2000															
Засушливые годы	1997	86	662	-576	0,13	1991	69	657	-588	0,11					
	1998	84	630	-546	0,13										
	2000	111	584	-473	0,19										
Влажные годы	1990	232	594	-362	0,39	1993	256	542	-286	0,47					
	1992	190	539	-349	0,35										
	1993	245	545	-300	0,45										
	1999	237	608	-371	0,39										
2001-2010															
Засушливые годы	2004	81	645	-564	0,13	2006	108	588	-480	0,18					
	2007	122	625	-503	0,20										
	2010	40	648	-608	0,06										
Влажные годы	2001	216	603	-387	0,36	2001	231	575	-344	0,4					
	2003	200	587	-387	0,34										
	2005	235	612	-377	0,38										
											2005	269	603	-334	0,45
					2008	232	602	-370	0,39						
2011-2020															
Засушливые годы	2016	102	598	-496	0,17	2017	130	572	-442	0,23					
	2019	107	610	-503	0,18										
	2020	69	653	-584	0,11										
Влажные годы	2013	292	585	-293	0,50	2011	255	594	-339	0,43					
	2015	232	584	-352	0,40										
	2018	211	571	-360	0,37										
											2016	263	605	-342	0,43
					2018	296	554	-258	0,53						

При норме осадков за вегетационный период 182 мм анализ данных на метеостанции Благовещенка показал, что за рассматриваемый интервал времени обеспеченность осадками ниже 80 % от нормы выявлена в 1965, 1971, 1975, 1981, 1984, 1988, 1989, 1991, 1995, 1998, 2006, 2010, 2017 гг., тогда как избыточная обеспеченность осадками (выше 120 % от нормы) выявлена в 1964, 1967, 1969, 1970, 1985, 1986, 1993, 1994, 2001, 2002, 2005, 2008, 2011, 2013, 2016, 2018 гг. (табл. 1, столбцы справа). Самый значительный дефицит увлажнения (-588 мм) был отмечен в 1991 году, наименьший – в 1969 году (-209 мм). Коэффициент увлажнения 0,11...0,25 соответствовал годам с недостаточной обеспеченностью осадками, 0,39...0,62 – годам с обеспеченностью осадками выше нормы. На данной метеостанции за 60-летний период количество засушливых лет составило 13, влажных – 16 лет. В последнее десятилетие расчетного периода (2011-2020 гг.) отмечается один засушливый год и 4 влажных года.

На рис. 2 показаны выделенные из многолетнего ряда значения $\beta_{кх}$ в годы с недостаточной обеспеченностью осадками. При этом наглядно видна высокая изменчивость его значений от ...0,06 в 2010 году до ...0,21 в 1978 и 1986 годы в Атбасаре и от ...0,11 в 1991 году и до ...0,25 в 1971 году в Благовещенке.

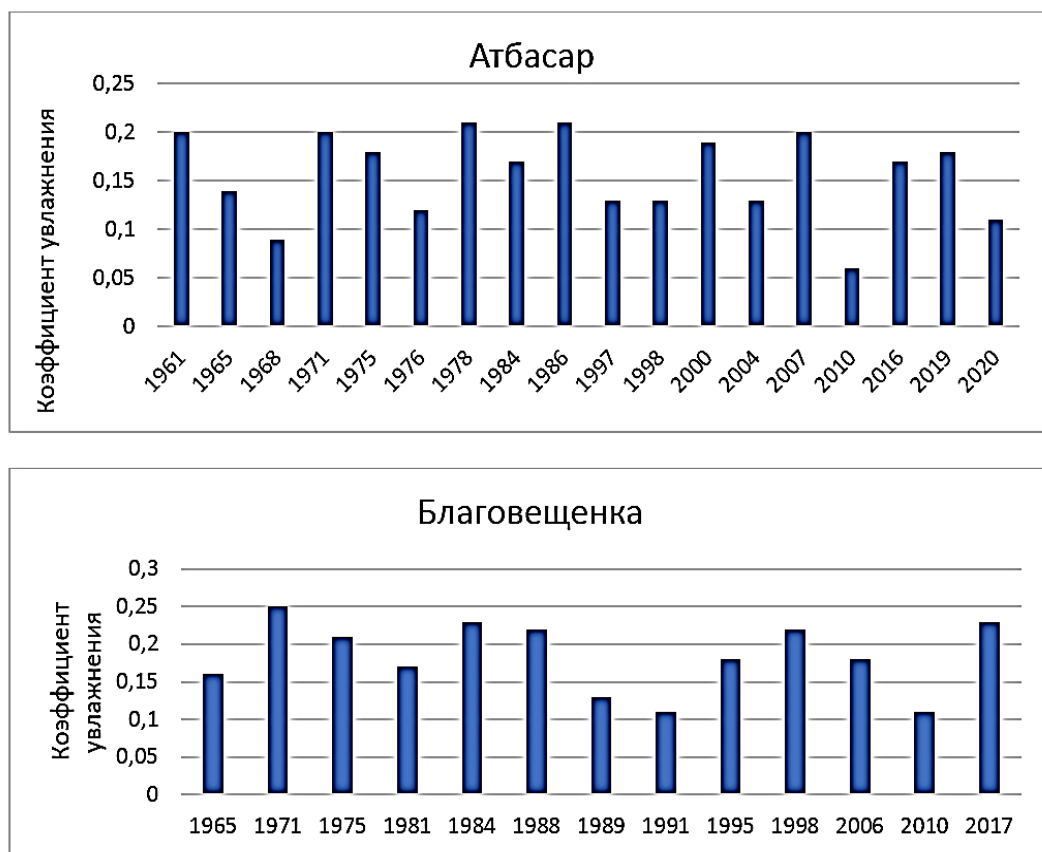


Рисунок 2. Значения коэффициента увлажнения ($\beta_{кх}$) засушливых лет в многолетнем ряду

Поскольку метеостанция Атбасар расположен в степной зоне с весьма недостаточным увлажнением и избыточной теплообеспеченностью, то по сравнению с Благовещенкой, расположенной в лесостепной зоне, коэффициент увлажнения составляет более низкие значения, а количество засушливых лет за многолетний период на пять лет больше.

Заключение. Таким образом, исходя из проведенных расчётов и проанализированных данных за 1961-2020 годы, можно сделать следующие выводы:

1. В степной зоне на территории метеостанции Атбасар количество сильно засушливых лет за второе десятилетие (1971-1980 гг.) составляет 4 года, в других десятилетиях – по 3 года. Количество влажных лет колеблется от 3 до 5 лет. Самым многоводным десятилетием оказалось первое десятилетие (1961-1970 гг.). На протяжении двух десятилетий (1971-1990 гг.) отсутствовали годы с обеспеченностью осадками выше нормы. В последние два десятилетия отмечается по три многоводных года. Тенденции последнего десятилетия характеризуются одинаковой частотой повторяемости засушливых и влажных лет.

2. В лесостепной зоне на территории метеостанции Благовещенка количество сильно засушливых лет за третье десятилетие (1981-1990 гг.) составляет 4 года, а в других десятилетиях выявлено их разное количество - от одного до трёх засушливых лет. В последнее десятилетие (2011-2020 гг.) отмечается всего один засушливый год. Частота повторяемости количество влажных лет колеблется от двух до четырех лет в одном десятилетии. Стоит отметить, что во втором десятилетии отсутствовали годы с обеспеченностью осадками выше нормы. В последние два десятилетия отмечается по четыре многоводных года. Тенденции последнего десятилетия характеризуются частой повторяемости влажных лет в лесостепной зоне.

3. Анализ расчетов значений тепло- и воднобалансовых характеристик вегетационного периода в засушливые и влажные годы свидетельствуют о том, что все показатели естественной тепловлагообеспеченности находятся ниже нормы оптимальных гидролого-климатических условий. Значения водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов испарения за вегетационный период засушливых и влажных лет составили 513...662 мм, что превышает значения оптимальных условий. Определен высокий уровень дефицита увлажнения в засушливые годы -427...-608 мм, который оказался 1,5-2 раза выше нормы оптимальных условий. Коэффициент увлажнения на всех исследуемых метеостанциях в засушливые годы находился на отметке 0,06...0,25, что в 2-3 раза ниже нормы, характеризующей оптимальные условия.

Выполненные расчеты тепловлагообеспеченности показывают наличие большого дефицита влаги на исследуемой территории, следовательно, главным условием получения высокого и устойчивого урожая сельскохозяйственных культур является искусственное увлажнение корнеобитаемого слоя почвы при наличии подходящих для этого водных источников и удержание влаги в почве при осенне-зимне-весенней обработке почвы. Выявленные тенденции изменчивости испарения и увлажнения необходимо учитывать в ведении сельскохозяйственного производства, а также при выполнении климатозависимых хозяйственных работ.

Список литературы

1. Kusainova A.A. Spatial distribution of moisture deficit on the territory of the south of Western Siberia and Northern Kazakhstan / A.A. Kusainova, O.V. Mezentseva, Zh.A. Tusupbekov, N.P. Volkovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 42078. – DOI 10.1088/1755-1315/677/4/042078.
2. Кусаинова А.А. Изменение количества осадков за теплый период в северном Казахстане / А.А. Кусаинова, Н.П. Мукаметжан, О.В. Мезенцева // Природопользование и охрана природы: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Томск, 11 апреля 2019 г. – Томск: ООО «Парус», 2019. – С. 68-70.

3. Карнацевич И.В., Хрущев С.А. Компьютерная система массовых расчетов текущих водных балансов речных водосборов неизученных областей суши: монография. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2014. – 176 с.
4. Карнацевич И.В. Расчеты местного элементарного стока по метеорологическим данным с суточной детальностью / И. В. Карнацевич, О. В. Мезенцева, Н. П. Волковская // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 1. – С. 88-93.
5. Официальный сайт метеорологической информации ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения: 20.09.2023).
6. Официальный сайт метеорологической информации «Казгидромет» [Электронный ресурс] / Республиканское Государственное Предприятие «Казгидромет». Электрон. дан. Астана, 2023. – URL: <http://www.kazhydromet.kz> (дата обращения 20.09.2023)
7. Попова Н.Б. Оценка эколого-географических параметров ландшафтных провинций Западно-Сибирского севера / Н.Б. Попова, Н.Л. Ряполова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2017. – Т. 22. – №. 3. – С. 228-239.
8. Ряполова Н.Л. Условия формирования ресурсов тепла и влаги как основы функционирования и устойчивости природных систем Западно-Сибирского севера // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22. – №. 2. – С. 271-281.
9. Паромов В.В. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986-2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021-2030 гг / В.В. Паромов, В.А. Земцов, С.Г. Копысов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 1. – С. 62-74.
10. Копысов С.Г. Гидролого-климатические аспекты геоэкологических проблем Сибири / С.Г. Копысов // Динамика и взаимодействие геосфер земли: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле. В 3-х томах, Томск, 08–12 ноября 2021 года. Том II. – Томск: Томский центр научно-технической информации, 2021. – С. 49-52.
11. Мезенцева О.В. Главные гидрологические рубежи и полоса оптимального увлажнения Евразии // Вестник ТюмГУ. – 2009. – № 3. – С.16–26.
12. Мезенцева О.В. Использование метеорологической информации для количественной оценки местных водных ресурсов малоизученных территорий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-12. – С. 2690-2694.
13. Тусупбеков Ж. А. Режимы почвенной влаги и дефициты увлажнения территории Северного Казахстана / Ж. А. Тусупбеков, Н. Л. Ряполова // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии. Омск, 18 апреля 2019 г. – Омск, 2019. – С. 67–73.
14. Ряполова Н.Л. Гидролого-климатические ресурсы увлажнения регионов для защиты от затопления и подтопления / Н.Л. Ряполова, Ж.А. Тусупбеков // Геология, география и глобальная энергия. – 2021. – № 1(80). – С. 102-108.
15. Белоненко Г.В. Гидролого-климатические условия формирования и режима стока рек Западной Сибири / Г.В. Белоненко, Ж.А. Тусупбеков // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 4. – С. 94-97.

References

1. Kusainova A.A. Spatial distribution of moisture deficit on the territory of the south of Western Siberia and Northern Kazakhstan / A.A. Kusainova, O.V. Mezentseva, Zh. A. Tusupbekov, N.P. Volkovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 noyabrya 2020 goda / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 42078. – DOI 10.1088/1755-1315/677/4/042078.
2. Kusainova, A.A. Izmenenie kolichestva osadkov za teplyj period v severnom Kazahstane / A.A. Kusainova, N.R. Mukametzhan, O.V. Mezenceva // Prirodopol'zovanie i ohrana prirody:

- Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Tomsk, 11 aprelya 2019 goda. – Tomsk: OOO «Parus», 2019. – S. 68-70.
3. Karnacevich I.V., Hrushchev S.A. Komp'yuternaya sistema massovyh raschetov tekushchih vodnyh balansov rechnyh vodosborov neizuchennyh oblastej sushi: monografiya. – Omsk: Izd-vo OmGPU, 2014. – 176 s.
 4. Karnacevich, I. V. Raschety mestnogo elementarnogo stoka po meteorologicheskim dannym s sutochnoj detal'nost'yu / I.V. Karnacevich, O.V. Mezenceva, N.P. Volkovskaya // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2019. – № 1. – S. 88-93.
 5. Oficial'nyj sajt meteorologicheskij informacii FGBU «VNIIGMI-MCD». – Obninsk. 2023. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (data obrashcheniya: 20.09.2023).
 6. Oficial'nyj sajt meteorologicheskij informacii «Kazgidromet» [Elektronnyj resurs] / Respublikanskoe Gosudarstvennoe Predpriyatie «Kazgidromet». Elektron. dan. Astana, 2023. – URL: <http://www.kazhydromet.kz> (data obrashcheniya 20.09.2023)
 7. Popova N.B. Ocenka ekologo-geograficheskikh parametrov landshaftnyh provincij Zapadno-Sibirskogo severa/ N. B. Popova, N. L. Ryapolova // Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij). – 2017. – T. 22. – № 3. – S. 228–239.
 8. Ryapolova N.L. Usloviya formirovaniya resursov tepla i vlagi kak Osnovy funkcionirovaniya i ustojchivosti prirodnyh sistem Zapadno-Sibirskogo severa //Vestnik SGUGiT. – 2017. – T. 22. – № 2. – S. 271-281.
 9. Paromov V.V. Klimat Zapadnoj Sibiri v fazu zamedleniya potepleniya (1986-2015 gg.) i prognozirovanie gidroklimaticeskikh resursov na 2021-2030 gg / V.V. Paromov, V.A. Zemcov, S.G. Kopysov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2017. – T. 328, № 1. – S. 62-74.
 10. Kopysov S.G. Hidrologo-klimaticheskie aspekty geoekologicheskikh problem Sibiri / S. G. Kopysov // Dinamika i vzaimodejstvie geosfer zemli: Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 100-letiyu podgotovki v Tomskom gosudarstvennom universitete specialistov v oblasti nauk o Zemle. V 3-h tomah, Tomsk, 08–12 noyabrya 2021 goda. Tom II. – Tomsk: Tomskij centr nauchno-tekhnicheskoy informacii, 2021. – S. 49-52.
 11. Mezenceva O.V. Glavnye gidrologicheskije rubezhi i polosna optimal'nogo uvlazhneniya Evrazii // Vestnik TyumGU. – 2009. – № 3. – S.16–26.
 12. Mezenceva O. V. Ispol'zovanie meteorologicheskoy informacii dlya kolichestvennoj ocenki mestnyh vodnyh resursov maloizuchennyh territorij // Fundamental'nye issledovaniya. – 2013. – № 10-12. – S. 2690-2694.
 13. Tusupbekov Zh.A. Rezhimy pochvennoj vlagi i deficyta uvlazhneniya territorii Severnogo Kazahstana / Zh.A. Tusupbekov, N.L. Ryapolova // Aktual'nye problemy prirodoobustrojstva, vodopol'zovaniya, agrohimii, pochvovedeniya i ekologii. Omsk, 18 aprelya 2019 g. – Omsk, 2019. – S. 67–73.
 14. Ryapolova N.L. Hidrologo-klimaticheskie resursy uvlazhneniya regionov dlya zashchity ot zatopeniya i podtopleniya / N.L. Ryapolova, Zh.A. Tusupbekov // Geologiya, geografiya i global'naya energiya. – 2021. – № 1(80). – S. 102-108.
 15. Belonenko G.V. Hidrologo-klimaticheskie usloviya formirovaniya i rezhima stoka rek Zapadnoj Sibiri / G. V. Belonenko, Zh. A. Tusupbekov // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. – 2014. – № 4. – S. 94-97.
-
-

ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
REMOTE SENSING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_75
MFTAA 36.33.01; 39.19.22

Ж.К. Мукалиев¹, А.А. Асылбекова¹, Ж.М. Жұматаева¹, Э.А. Азизов¹, Т.К. Рафиков²

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

E-mail: Zh.mukaliyev@kaznu.kz*

E-mail: aizhan.asylbekova@kaznu.edu.kz

E-mail: zhazka07@mail.ru

E-mail: eldar_14_03@mail.ru

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

E-mail: rafikoff_timyr@mail.ru

**СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ ЖЕРЛЕРІН ТАЛДАУ ҮШІН
ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ҚҰРУ**

**СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ЗЕМЕЛЬ
СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

**CREATION OF A DATABASE FOR THE ANALYSIS OF THE LANDS OF THE
SEMIPALATINSK TEST SITE**

Аңдатпа. Семей сынақ полигоны 1949-1989 жылдар аралығында ядролық сынақтар жүргізілген, бұл округтегі жер мен су ресурстарының елеулі ластануына әкеп соқтырған орын болып табылады. Бұл аймақтағы экологиялық жағдай өзекті мәселе болып қала береді және радиациялық қауіптілік деңгейін бағалау және ядролық сынақтардың салдарын жою шараларын өзірлеу үшін жерге жүйелі талдау жүргізу қажет. Мұндай талдауды жүргізудің маңызды құралдарының бірі Семей сынақ полигон жерлерінің дерекқоры болып табылады. Мұндай мәліметтер базасын құру Семей сынақ полигонындағы жер учаскелері және олардың сипаттамалары туралы толық және нақты ақпарат алуға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде мамандарға Семей сынақ полигонындағы экологиялық жағдайды зерделеуге, ядролық сынақтардың салдарын жою және халықтың денсаулығын қорғау жөніндегі шараларды өзірлеуге көмектеседі.

Осы тұрғыда талдау үшін Семей сынақ полигон жерлерінің деректер базасын құру геодеректерді өңдеудің арнайы құралдары мен әдістерін қолдануды талап ететін өзекті міндет болып табылады.

Түйін сөздер: географиялық ақпараттық жүйе, Семей сынақ полигоны, жерді қашықтықтан зерделеу, деректер базасы, ArcGis, QGis.

Аннотация. Семипалатинский испытательный полигон является местом, где в период с 1949 по 1989 годы были проведены ядерные испытания, что привело к серьезному загрязнению земель и водных ресурсов в округе. Экологическая ситуация в этом регионе продолжает оставаться острым вопросом, и необходимо проводить систематический анализ земель для оценки уровня радиационной опасности и разработки мер по устранению последствий ядерных испытаний. Одним из важных инструментов для проведения такого анализа является база данных земель Семипалатинский испытательный полигон. Создание такой базы данных позволит получить полную и точную информацию об участках земли на Семипалатинском испытательном полигоне и их характеристиках, что в свою очередь поможет специалистам в изучении экологической ситуации на Семипалатинском испытательном полигоне, разработке мер по устранению последствий ядерных испытаний и охране здоровья населения.

В данном контексте, создание базы данных земель Семипалатинский испытательный полигон для анализа является актуальной задачей, которая требует использования специальных инструментов и методов обработки геоданных.

Ключевые слова: географическая информационная система, Семипалатинский испытательный полигон, Дистанционное зондирование Земли, база данных, ArcGis, Qgis.

Abstract. *The Semipalatinsk Test Site is the place where nuclear tests were conducted between 1949 and 1989, which led to serious contamination of land and water resources in the district. The environmental situation in this region continues to be an acute issue, and it is necessary to conduct a systematic analysis of land to assess the level of radiation hazard and develop measures to eliminate the consequences of nuclear tests. One of the important tools for conducting such an analysis is the land database of the Semipalatinsk Test Site. The creation of such a database will allow obtaining complete and accurate information about the land plots on the Semipalatinsk Test Site and their characteristics, which in turn will help specialists in studying the environmental situation on the Semipalatinsk Test Site, developing measures to eliminate the consequences of nuclear tests and protecting public health.*

In this context, the creation of a database of Semipalatinsk Test Site lands for analysis is an urgent task that requires the use of special tools and methods for processing geodata.

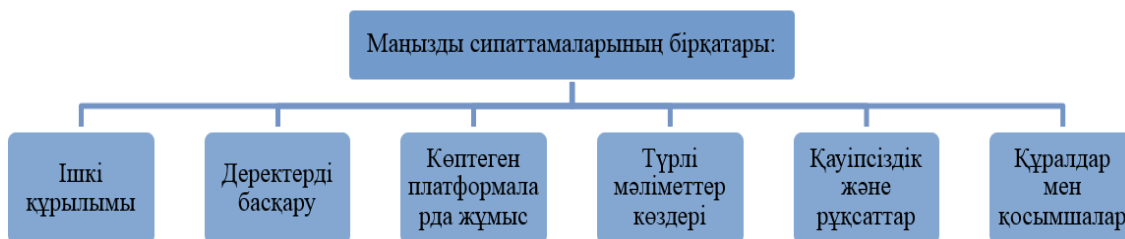
Keywords: *geographic information system, Semipalatinsk test site, Remote sensing of the Earth, database, ArcGIS, Qgis.*

Кіріспе. Адамзаттың біздің әлеміміздегі кез келген нақты объектілер мен оқиғалар туралы жинақтаған мәліметтерінде белгілі бір дәрежеде кеңістіктік компоненттері бары сөзсіз. Ал кеңістіктік компоненттерін біз географиялық ақпарат көздеріне жатқызамыз. Географиялық ақпараттық жүйенің мағынасы көптеген ақпарат көздерінде ар-түрлі келтіріліп, түсіндіріледі. Назарға алып көрсететін мағыналарын атап айтсақ. Географиялық ақпараттық жүйе – бұл кеңістіктік деректерді жинауға, өңдеуге, модельдеуге және талдауға, оларды бейнелеуге және есептеулерді шешуде, шешімдер дайындауда және қабылдауда қолдануға арналған көп функционалды ақпараттық жүйе болып табылады. Географиялық ақпараттық жүйенің негізгі мақсатарының бірі – жер, жекелеген аумақтар, жер бедері туралы білімді қалыптастыру, сондай-ақ олардың жұмысының тиімділігіне қол жеткізу үшін қажетті және жеткілікті кеңістіктік деректерді өңдеу арқылы пайдаланушыларға уақтылы жеткізу [1, 2].

Географиялық ақпараттық жүйе – географиялық деректерді жинауға, сақтауға, талдауға, басқаруға және көрсетуге арналған компьютерлік жүйе. Географиялық ақпараттық жүйенің негізгі ерекшеліктерінің бірі-оның карталарда немесе белгілі бір географиялық орындармен байланысты сандық мәндер түрінде ұсынылуы мүмкін кеңістіктік деректермен жұмыс істеу қабілеті. Географиялық ақпараттық жүйе көптеген функцияларды орындай алады, мысалы: кеңістіктік деректерді талдау, карталарды құру және деректерді визуализациялау, географиялық құбылыстар мен процестерді модельдеу, ресурстарды жоспарлау және басқару, шешім қабылдауды қолдау.

Географиялық ақпараттық жүйенің негізгі мүмкіндіктерінің бірі – әртүрлі көздерден деректерді қосу және оларды бірге талдау мүмкіндігі, бұл пайдаланушыға жаңа білім алуға және кеңістіктегі әртүрлі құбылыстар мен процестер арасындағы байланыстарды анықтауға мүмкіндік береді [2]. ArcGIS бағдарламасындағы геодеректер базасы (GeoDatabase) – бұл ақпаратты сақтау және басқару үшін арнайы жасалған мәліметтер қоймасы. Ол географиялық ақпарат жүйесіндегі (ГАЗ) ақпаратты сақтауға және өңдеуге арналған. Геодеректер базасы бірнеше түрлі мәліметтер құрылымдарын қамтуы мүмкін, соның ішінде векторлық деректер, растрлық карталар, үшөлшемді модельдер және басқалары бар (1-сурет).

ArcGIS-те геодеректер базасы ол ESRI компаниясы жасаған әртүрлі деректерді сақтауға арналған уникальды технология, кез келген күрделі жобалар мен жүйелерде, деректерді сақтаудың және пайдаланудың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. (мысалы, Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix немесе IBM Db2) сақталатын әртүрлі типтегі географиялық мәліметтер жиынтығы. Олар файлға негізделген шағын бір пайдаланушылық дерекқорлардан ауқымды топтық, салалық (облыстық) және көп пайдаланушылық геодеректер базасына дейін масштабталуы мүмкін [3].



1-сурет. Геодеректер базасын құрудағы басты назарға алынатын сипаттамалары

Бірақ геодеректер базасы тек деректер жиынтығының жиынтығы ғана емес; «геодеректер базасы» термині ArcGIS-те бірнеше мағынаға ие:

Геодеректер базасы – бұл ArcGIS үшін «туған» дерек құрылымы; ол деректерді редакциялау және басқару үшін пайдаланылатын негізгі дерек форматы болып табылады. ArcGIS географиялық ақпарат жүйелерінің (ГАЖ) әртүрлі форматтарында жұмыс істей алады, бірақ оның барлық күшті функционалдық мүмкіндіктері дәл геодеректер базаларында қолданылады.

Бұл географиялық ақпаратты сақтауға арналған физикалық қоймасы, ең алдымен, деректер базасын басқару жүйесінде немесе файл жүйесін пайдаланады. SQL (Structured Query Language) – бұл деректерді сақтау, сұрату және басқару үшін дерекқорлармен жұмыс істеуге арналған құрылымды сұрау тілі. Ол деректерді қосу, жанарту, жою және іздеу сияқты әртүрлі операцияларды орындауға мүмкіндік береді. Structured Query Language деректерді сақтау және басқару үшін әлемдік стандарт ретінде қабылданған және көптеген дерекқор жүйелерінде, соның ішінде MySQL, PostgreSQL, Oracle және Microsoft SQL Server сияқты танымал жүйелерде қолданылады [4]. Сіздің дерек жиынтықтарыңыздың физикалық көшірмесіне тікелей ArcGIS арқылы немесе Structured Query Language көмегімен дерекқорларды басқару жүйелері арқылы қол жеткізіп және жұмыс істей аласыз.

Геодеректер базалары географиялық ақпаратты көрсету және басқару үшін кешенді ақпараттық модельге ие. Бұл кешенді ақпараттық модель деректері бар қарапайым кестелер сериясы арқылы іске асырылады, олар кеңістік объектілер сыныптарын, растр жиынтықтарын және атрибуттарын қамтиды. Сонымен қатар, кеңейтілген географиялық ақпараттық жүйедеректер объектілерін, кеңістік тұтастықты басқару ережелерін және негізгі кеңістік объектілерінің, растрлардың және атрибуттардың көптеген кеңістік қатынастарымен жұмыс істеу үшін құралдарды қосады.

Геодеректер базасының бағдарламалық логикасы ArcGIS жүйесінде әртүрлі файлдар мен форматтардағы барлық географиялық деректерге қол жеткізу және жұмыс істеу үшін қолданылатын жалпы қолданба логикасын қамтамасыз етеді. Геодеректер базасы географиялық ақпараттық жүйе деректерінің жұмыс ағымдарын басқару үшін транзакциялық модельге ие [4].

Зерттелініп отырған Семей сынақ полигоны жерлерінің деректер базасын құру осы өңірде болып жатқан елеулі экологиялық проблемалар тұрғысынан өте өзекті міндет болып табылады. Семей сынақ полигонындағы ядролық қаруды сынау жер мен су ресурстарының айтарлықтай ластануына әкелді, бұл жергілікті тұрғындардың денсаулығы мен аймақтың экожүйесіне теріс әсер етті. Мұның салдары 1991 жылы Семей сынақ полигоны жабылды, содан бері сарапшылар радиациялық қауіптілік деңгейін анықтау және осы аумақтағы экологиялық проблемалардың ауқымын бағалау үшін зерттеулер жүргізуді жалғастыруда. Семей сынақ полигоны Кеңес Одағының уақытында қолданылған ядролық сынақтардың орны болып табылады. Бұл аймақта

жүргізілген сынақтардың экологиялық зардаптары ауқымды және ұзақ мерзімді болды. Егерде геодеректер базасы құрастырылатын болса көптеген мәселелер шешілетіні сөзсіз. Сондықтан, Семей сынақ полигонында геодеректер базасын құрудың бірқатар маңызды аспектілерін қарастырдық (1-кесте).

1-кесте. Геодеректер базасын құру аспектілері

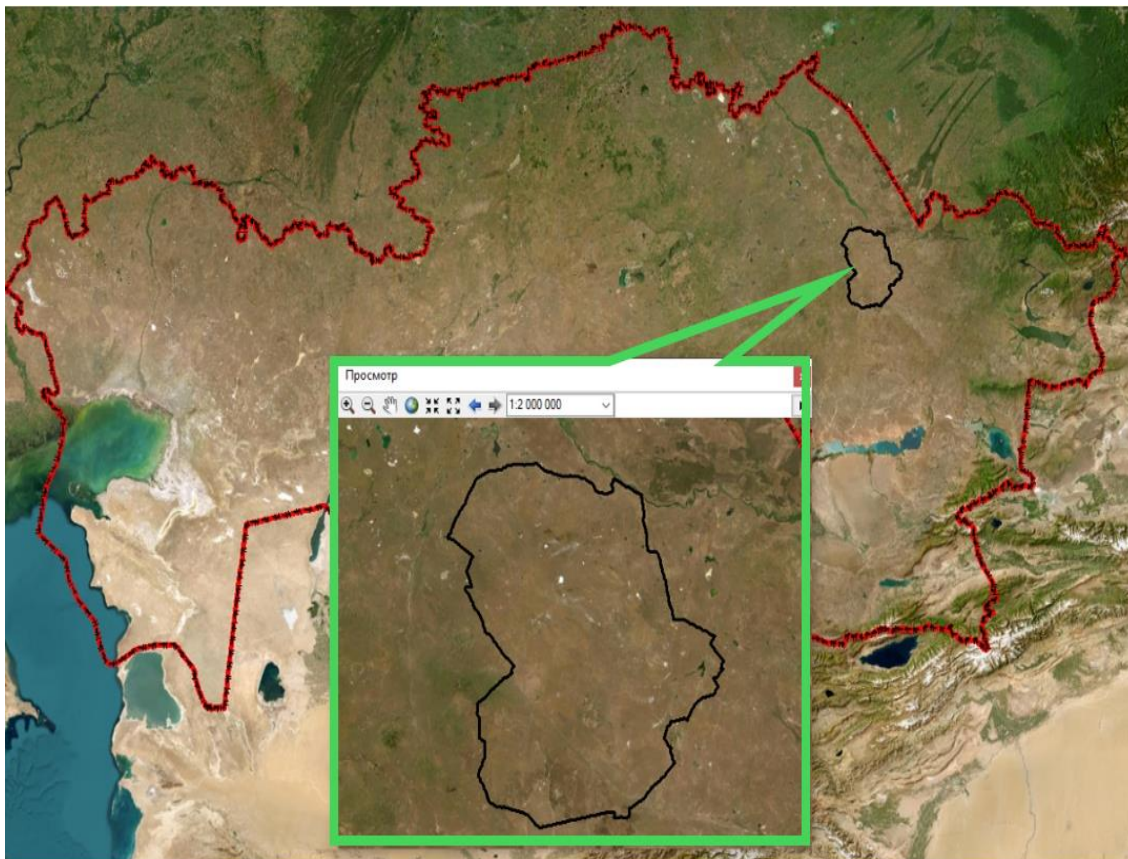
Аспектiлер	Маңыздылығы
Экологиялық мониторинг	Геодеректер базасы арқылы экологиялық зардаптарды, сондай-ақ радиациялық көздердің таралуын және олардың өзгеруін бақылауға болады. Бұл құрал топырақ, су, ауа және биологиялық объектілердегі радионуклидтердің деңгейлерін тұрақты тексеруге мүмкіндік береді.
Зиянды заттардың таралуын зерттеу	Ядролық сынақтардан кейінгі радиоактивті заттардың қалай таралғанын анықтау үшін геодеректер базасы маңызды ақпараттар жинақтауға көмектеседі. Бұл ақпараттар жергілікті халықтың денсаулығына қауіпті аймақтарды анықтауда қолданылады.
Жоспарлау және реабилитация	Геодеректер базасы арқылы жерді қалпына келтіру жоспарларын жасау және оларды орындау барысын бақылау өте маңызды. Бұл ақпараттар арқылы қауіпті аймақтарға арнайы назар аударып, реабилитациялық шараларды дұрыс жүргізуге болады.
Ақпараттық қауіпсіздік	Семей полигонындағы ядролық зардаптардың ақпараты стратегиялық маңызды болып табылады. Геодеректер базасы бұл ақпараттарды қорғау және тек қажетті жағдайларда ғана пайдалану үшін рұқсаттарды басқару механизмдерін ұсынады.
Ғылыми зерттеулер	Ядролық сынақтардың экологиялық және денсаулыққа әсерін зерттеу үшін геодеректер базасы маңызды дерек көзі болып табылады. Ғалымдар мен зерттеушілер үшін бұл деректер өте құнды.
Қауіпсіздік шаралары	Семей полигонында геодеректер базасы арқылы қауіпсіздік шараларын жоспарлау және орындауға болады, мәселен, адамдардың белсенді радиациялық аймақтарға кіруін шектеу.

Семей сынақ полигон жерлерінің деректер базасын құру полигондағы жер учаскелері, олардың сипаттамалары және радиациялық қауіптілік деңгейі туралы ақпаратты жинауға және жүйелеуге мүмкіндік береді. Бұл мамандарға аймақтағы экологиялық жағдайды дәлірек талдауға, ядролық сынақтардың салдарын жою шараларын жоспарлауға және жергілікті тұрғындар мен экожүйенің денсаулығын қорғау үшін шаралар қабылдауға көмектеседі. Сонымен қатар, Семей сынақ полигон жерлерінің геомәліметтер базасын құру болашақ ұрпақ үшін ақпаратты сақтауға және жүйелеуге және деректердің ұзақ уақыт бойы сенімді сақталуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Жалпы, Семей сынақ полигон жерлерінің геомәліметтер базасын құру осы аумақтағы адамдардың денсаулығы мен қоршаған ортаны қорғау бағытындағы маңызды қадам болып табылады [1].

Жалпы алғанда, Семей сынақ полигонында геодеректер базасын құру экологиялық мониторинг, жоспарлау, қауіпсіздік және ғылыми зерттеулер үшін өте маңызды құрал

болып табылады. Бұл құрал аймақтың қалпына келуіне және халықтың денсаулығын сақтауға зор үлес қосады.

Зерттеу нысаны. Семей сынақ полигоны (ССП) – Семей қаласынан оңтүстік-шығысқа қарай 150 шақырым жерде орналасқан, Қазақстанда орналасқан бұрынғы әскери-ядролық база. Ол 1947 жылы ядролық қаруды сынау базасы ретінде құрылды және 40 жылдан астам уақыт бойы осы мақсатта пайдаланылды (2-сурет).



2-сурет. ArcOnline көмегімен жасалған Семей сынақ полигонының сұлбасы

Семей сынақ полигоны әлемдегі ең ірі ядролық полигондардың бірі болып табылады және 1949 жылы 29 тамызда болған КСРО-дағы алғашқы ядролық жарылысты қоса алғанда, 450-ден астам ядролық сынақтардың орны болды. Сынақ нәтижесінде полигонда жергілікті тұрғындар мен қоршаған ортаның денсаулығына әсер ететін айтарлықтай радиациялық шығарындылар болды. Семей сынақ полигоны 1991 жылы КСРО ыдырағаннан кейін жабылды, бірақ оның аумағында ядролық қондырғылар мен қалдықтарды бөлшектеу және жою жұмыстары жалғасты. Бүгінде Семей полигоны ғылыми және зерттеу мақсаттары үшін, сондай-ақ әскери мамандарды оқыту үшін пайдаланылады.

Сынақтардың салдарынан полигон аймағы және оған жақын мандағы территорияларда радиоактивті ластану деңгейі өте жоғары болды. Бұл ластану сынақтардан кейінгі ондаған жылдар бойы су көздерін, топырақты және ауаны ластауда. Зерттеулер көрсеткендей, радиацияның әсерінен туындаған денсаулық проблемаларына шалдыққан

адамдардың саны көп, олардың арасында қатерлі ісіктер, генетикалық бұзылулар және басқа да ауыр дерттер бар.

1989 жылы полигонды жабу туралы шешім қабылданғаннан кейін, аймақтағы радиациялық ластануды тазарту және қалпына келтіру жұмыстары басталды. Бұл процесте халықаралық ұйымдар мен Қазақстан үкіметі бірлесіп жұмыс істеді. Алайда, полигон аймағын толық реабилитациялау үшін әлі де көп уақыт және ресурс қажет [1].

Семей сынақ полигонының тарихы – бұл Қазақстан тарихындағы күрделі және ауыр беттердің бірі. Бұл оқиғалар қазіргі кезде Қазақстанды ядролық қарусыздандыру және экологиялық қауіпсіздікті қолдау жолындағы ұмтылыстарын айқындай түседі.

Семей сынақ полигонының геодеректер базасын құрудың бірнеше мақсаты болуы мүмкін:

Тарихи құжаттама: деректер базасында полигонда өткізілген барлық сынақтар, пайдаланылған жарылыстардың сипаттамасы және сынақ кезінде алынған өлшеу нәтижелері туралы ақпарат болуы мүмкін. Бұл ақпаратты тарихи зерттеулер мен ядролық сынақтардың қоршаған ортаға және адамдардың денсаулығына әсерін талдау үшін пайдалануға болады.

Экологиялық зерттеулер: деректер базасында Семей полигоны ауданындағы қоршаған ортаның радиоактивті ластануы және оның экожүйелер мен жануарларға әсері туралы ақпарат болуы мүмкін. Бұл ақпарат қоршаған ортаны қорғау бағдарламаларын әзірлеу және радиацияның табиғатқа теріс әсерін азайту үшін шаралар қабылдау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Қауіпсіздік: мәліметтер базасын адамдардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету және радиациямен байланысты жазатайым оқиғалардың алдын алу үшін пайдалануға болады. Мысалы, деректер базасынан алынған ақпарат Семей полигоны ауданында құрылыс және өнеркәсіптік жұмыстарды жүргізуге байланысты тәуекелдерді бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Қазіргі уақытта бұрынғы Семей сынақ полигонының (ССП) аумағына және оған іргелес жатқан жерлерге қатысты ақпараттың орасан зор көлемі зерттелді. Бұл бағдарламалардың, коммерциялық жобалардың ғылыми зерттеулерінің нәтижелері.

Ақпараттың үлкен көлеміне байланысты деректерді сақтау, уақтылы қол жеткізу және тиімді өңдеу проблемалары туындайды. Осы міндеттерді шешу және жан-жақты зерттеулерді жүзеге асыру үшін геоақпараттық жүйелерді қолдану әсіресе тиімді.

Материалдар және зерттеу әдістері. Геодеректер базасын құру жиналуы және ұйымдастырылуы қажет деректердің сипатына байланысты әртүрлі зерттеу әдістерін қамтуы мүмкін.

Деректер базасы құрылған кезде, біз одан қажетті ақпаратты алу үшін оның деректерін белгілі бір белгілер бойынша сұрыптауға тырысамыз. Бұл құрылымдық ақпаратпен ғана болуы мүмкін. Құрылымдау – бұл ақпаратты ұсыну тәсілдері туралы келісімдер жиынтығы. Сондықтан геодеректер басқаша құрылымдалуы мүмкін. Деректер базасы желілік, иерархиялық, реляциялық, объектіге бағытталған және гибридті модельдері құрылымы бойынша ажыратылады [3]. Осы құрылымдардың ішінде реляциялық құрылым жиі қолданылып келеді.

Мәліметтер базасының реляциялық құрылымы деп отырғанымыз, барлық ақпарат қарапайым кестелер түрінде бейнеленген, олар жолдар мен бағандарға бөлінген, олардың қиылысында ақпарат орналасқан. Бұл құрылым геодеректер базасын дамытудағы нағыз секіріс болды. Бірақ қазіргі таңда геоақпараттық бағдарламаларының дамуымен көптеген гео мәліметтердің деректер базасын құруға арналған бағдарламалық кешендер пайда

болған. Зерттеу барысында осы бағдарламаларды қажетті модульдерін қолдану арқылы деректер базасын құратын боламыз.

Деректер базасын құру үшін қолдануға болатын көптеген геоақпараттық бағдарламалар бар. Деректер базасын құру үшін қолдануға болатын ең танымал геоақпараттық бағдарламалардың кейбірі мыналарды қамтиды:

GRASS gis – бұл мәліметтер базасын құру үшін қолдануға болатын тағы бір еркін таратылатын геоақпараттық бағдарлама. GRASS GIS геокеңістіктік деректерді өңдеуге және талдауға арналған қуатты құралдарды ұсынады, сонымен қатар мәліметтер базасын құруға және басқаруға мүмкіндік береді [4].

PostGIS – кеңістіктік деректерді қолдауды қосатын PostgreSQL Деректер қорын басқару жүйесі (ДҚБЖ) кеңейтімі. PostGIS геокеңістіктік мәліметтер базасын құруға және басқаруға арналған көптеген құралдарды, соның ішінде кеңістіктік индекстер мен сұраныстарды құруға арналған құралдарды ұсынады. PostgreSQL – бұл күшті ашық көзді объектілік-реляциялық дерекқор басқару жүйесі. Ол стандартты SQL сұрауларын қолдаумен қатар, кеңейтілген функционалдық мүмкіндіктерді ұсынады, мысалы, күрделі сұраулар, шетелдік кілттер, транзакциялар, индекстеу және объектілік деректерді сақтау мүмкіндіктері. PostgreSQL жоғары конфигурациялау қабілеттілігі, кеңейтілетін архитектурасы және жоғары деңгейлі деректерді қорғау қасиеттері арқасында үлкен деректер жиынтықтарын басқару үшін, сондай-ақ кішігірім және орташа жобаларда да кеңінен қолданылады.

SQLite – бұл өзін-өзі қамтитын, серверсіз, конфигурациясыз, транзакциялық SQL дерекқорының механизмі. Ол ашық кодты және C тілінде жазылған. SQLite өте аз ресурс қажет етеді және көптеген мобильді операциялық жүйелерде, жүйелік құрылыстарда және көптеген басқа да қосымшаларда кеңінен қолданылады, ол деректерді сақтауға арналған кішігірім, жылдам және сенімді шешім болып табылады. SQLite дерекқоры файл ретінде сақталады, бұл оны қолдану және бөлісу өте ыңғайлы етеді. SQLite көптеген деректер пішімдерін, соның ішінде кеңістіктік пішімдерді қолдайды және әртүрлі қолданбаларға біріктірілуі мүмкін.

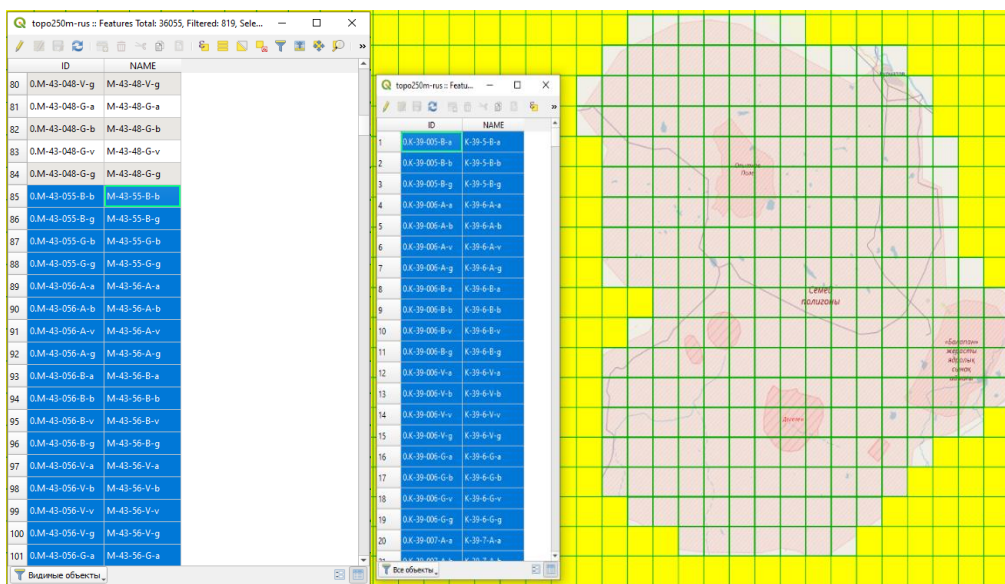
ArcGIS бағдарламасында геокеңістіктік деректерді құруға, өңдеуге, талдауға және визуализациялауға арналған ең кең таралған бағдарламалық платформалардың бірі. ArcGIS бағдалмасында ArcCatalog модулінің көмегімен мәліметтер базасын құруға және басқаруға арналған көптеген құралдары бар [4].

ArcCatalog қосымшасы жұмыс кеңістігінде географиялық ақпаратты ұйымдастыруға, жұмыс істеуге және басқаруға көмектеседі. Жұмыс аймақтары ГАЗ ақпаратының логикалық жинақтарын ұйымдастыруға және бөлісуге мүмкіндік беретін модуль.

Зерттеу барысында салыстырмалы ArcGIS бағдарламалық кешенге салыстырмалы бағдарлама ретінде QGIS бағдарламасын айтатын боламыз. QGIS-кеңістіктік мәліметтер базасын құруға және өңдеуге мүмкіндік беретін еркін таратылатын геоақпараттық бағдарлама. QGIS көптеген деректер форматтарын қолдайды және плагиндердің кең кітапханасы бар [5].

Зертелініп отырған объектіміздің геодеректер базасын құрастыру барысында растрлық мәліметтерді қарастрамыз. Растрлық мәліметтерді іздестіру кезінде алдымен номенклатура арқылы қандай топографиялық мәліметтерді іздейтінімізді біліп аламыз (3-сурет).

Сонымен қатар, GeoServer, MapServer, GeoDjango, GeoNode және басқаларын қоса, мәліметтер базасын құруға болатын басқа геоақпараттық бағдарламалар бар. Бағдарламаның нақты таңдауы пайдаланушының нақты қажеттіліктеріне және геодеректер базасына қойылатын талаптарға байланысты болады. Жоғарыда аталған геоақпараттық бағдарламалар кешендері мысал ретінде қарастырып отырған әдісіміздің бірқатарын кірістіріп отыр [8].

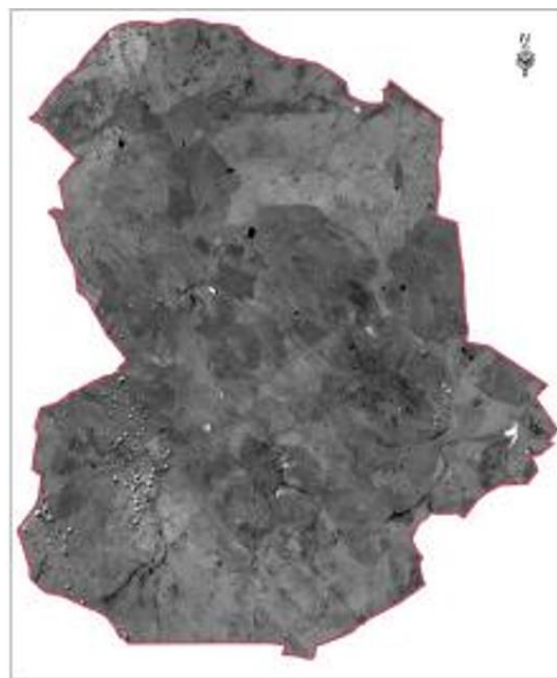


3-сурет. Семей сынақ полигонның номенклатурасын анықтау барысы

Геодеректер базасын бастапқы мәлімттер қатарына біз топографиялық мәліметтерді де жатқызамыз. Себебі қазіргі таңдағы кез келген тақырыптық карталар болсын немесе геодеректер базасы болсын ол бізде топографиялық карталарды зерттеуден бастау алады (4-сурет). Зерттеу барысында біз «The national map» интернет желісінен алынған топографиялық картаны алдық. Геодеректер базасын және де топографиялық картаның қазіргі уақытқа сай құру үшін ғарыштық суреттерді пайдаландық (5-сурет).



4-сурет. Семей сынақ полигонының топографиялық план-схемасы



5-сурет. Семей сынақ полигонының ғарыштық план-схемасы

Кейбір геоақпараттық бағдарламалардың таңдауы пайдаланушының қажеттіліктеріне немесе жобаның мақсаттарына байланысты болады [9]. Мысалы, GeoServer бұл веб-шолғыштар мен жұмыс үстелі ГАЖ бағдарламалары сияқты стандартты клиенттерге әртүрлі форматтағы карталар мен деректерді ұсынуға мүмкіндік беретін веб-сервер. MapServer географиялық ақпараттық жүйелер деректерін көруден басқа, растрлық географиялық карталарды, яғни веб-мазмұнға сілтеме жасайтын карталарды жасауға мүмкіндік береді. Ол геоақпараттық ақпаратты сақтау, қарапайымдау және арнайы геоақпараттық мәліметтерді санаттар арасында қосуға болады [10]. GeoNode әдетте мекенжайлар, карталар, суреттер және басқа геоақпараттық деректерлерді қарау және басқаруға арналған толық жүйе болып табылады.

Осындай көптеген геодеректер базасын құруға арналған бағдарламалық кешендер қарастырылып өтілді [11]. Жоғарыда аталып өтілген бағдарламалық кешендердің зерттеу аясында әрақайсысын біріктіріп қолдану жоғары нәтиже береді деген ұсыныс келтіреміз.

Нәтижелері және оларды талқылау. Жұмыс барысында толыққанды салыстырмалы талдау жасалу мақсатында деректер базасын құра алатын және онымен жұмыс жасай алатын геоақпараттық бағдарламалар кешендерін де қарастырып өттік.

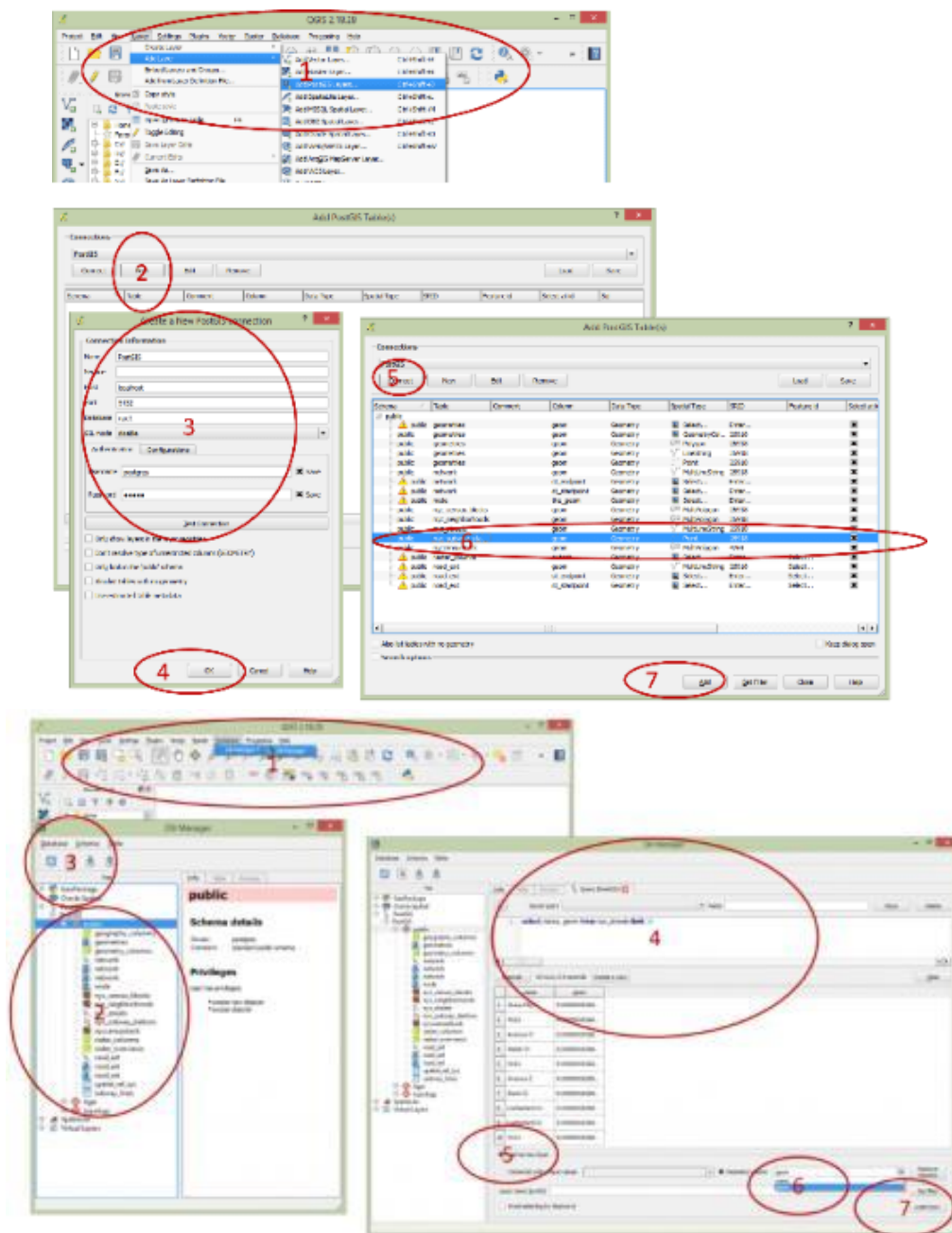
Деректер жиынтығын PostgreSQL/PostGIS-те визуализациялау үшін Дерекқорды QGIS немесе ArcGIS сияқты ГАЖ бағдарламалық жасақтамасы арқылы қосуға болады. Бұл Кеңістіктік қабаттарға (кестелерге), сондай-ақ сұрау нәтижелеріне қол жеткізуге және визуализациялауға арналған жалпы қадамдарды көрсетеді, бұл QGIS көмегімен деректер жиынтығын зерттеудің тиімді әдісінің бірегейі екендігіне көз жеткіздік [12]. Қысқаша қалай жүзеге асқанын қарастырып өтетін болсақ: QGIS ашыңыз, қабат -> қабат қосу -> PostGIS қабатын қосу тармағын таңдаңыз, PostGIS кестесін қосу үшін интерфейс ашылуы керек. Диалогтық терезеде «жаңа» батырмасын басыңыз, PostGIS сервері мен дерекқорды (puc1) конфигурациялау үшін диалогтық терезе ашылуы керек. 3-қадамда тиісті ақпаратты енгізіп, "ОК" батырмасын басамыз (6-сурет).

Мәліметтер базасы ақпаратты өңдеуге және сақтауға арналған ақпараттық жүйелердің негізгі және күрделі бөлігі екенін атап өткен жөн. Бастапқыда бұл жүйелер тек қағаз түрінде болды. Оларды сақтау үшін әртүрлі қалталар, бөлмелер мен мұрағаттар пайдаланылды. Есептеу техникасы құралдарын дамыту автоматтандырылған ақпараттық жүйелерді кеңінен қолдану мүмкіндігін қамтамасыз етті [13]. Бүгінгі күнге дейін әртүрлі қызмет салаларына, шаруашылық және техникалық объектілерді басқару жүйелеріне, ғылыми зерттеулерге арналған модельдік кешендерге, модельдеу мен өндірісті автоматтандыру жүйелеріне қызмет көрсету үшін ақпараттық жүйелер әзірленуде, әртүрлі оқыту жүйелері құрылуда. Қазіргі заманғы ақпараттық жүйелер көптеген пайдаланушылардың әртүрлі қажеттіліктерін қанағаттандыру қажеттілігімен, ұйымның күрделілігімен, сақталған ақпараттың үлкен объектілерімен сипатталатын мәліметтердің үйлесімділік идеясына негізделген [14]. Бұл деректерді басқару және оларға қол жеткізу тиімділігін қамтамасыз ету үшін мәліметтер базасын басқару жүйелері құрылды.

Деректер базасын басқару жүйесі көптеген қосымшалар үшін дербес компьютерде жалпы мәліметтер базасын құруға, оны белсенді күйде ұстауға және пайдаланушыларға берілген мүмкіндіктер шеңберінде ондағы ақпаратқа қол жетімділіктің тиімділігін жақсартуға арналған бағдарламалық орта деп аталады [15].

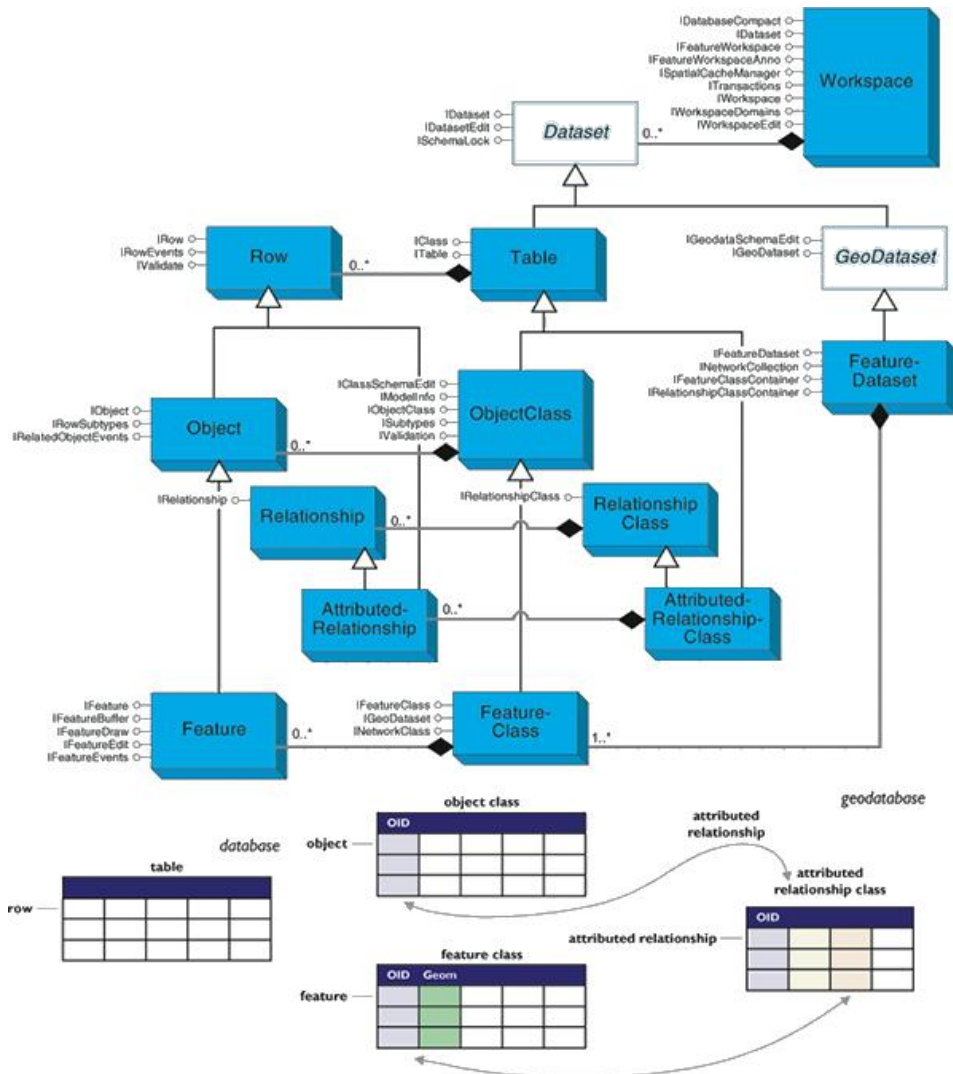
Қорытынды. Қорытындылай келе, геоақпараттық бағдарламаларды пайдалана отырып, Семей сынақ полигонының деректер базасын құру полигондағы ядролық қаруды сынау туралы тарихи деректерді зерттеу мен талдаудағы маңызды қадам болды деп айтуға болады. Деректер базасында радиацияның орналасуы мен өлшеу нәтижелері,

сондай-ақ радиацияға байланысты аурулар және экожүйе мен жануарлардың салдары туралы ақпараттар болуы мүмкін.



6-сурет. Геодеректер базасын құру барысы

Зерттеу барысында көрсетілген деректер базасын құрудың модель алгоритмі құрылды (7-сурет). Бұл модель геоақпараттық технологиялар бағдарламалық кешендердің көбісіне әмбебап қолданылуы мүмкін. Себебі зерттеуімізде мысал ретінде қарастырылып өтілген бағдарламалар мен геодеректер базасына құрастыруға мүмкіншілік береді.

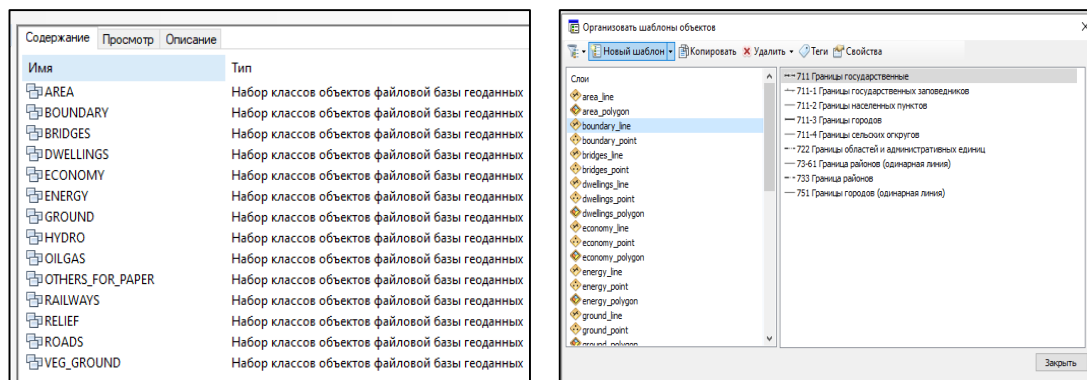


7-сурет. ArcGIS және Qgis бағдарламасындағы геодеректер базасының моделінің схемасы

Сонымен, Семей сынақ полигонының жерлерін талдау үшін деректер базасын құру осы аумақтың жай-күйі мен ерекшеліктерін түсінудегі маңызды қадам болып табылады [16]. Семей сынақ полигонында ядролық қаруды сынау кезінде жердің едәуір аумағы зардап шекті және бұл жерлер бүгінде ерекше назар аударуды және мониторингті қажет етеді.

Мәліметтер базасын құру үшін арнайы геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) және ArcGIS сияқты бағдарламалық жасақтама қолданылуы керек (8-сурет). Осындай құралдардың көмегімен географиялық координаттарды, топырақ түрін, өсімдік жамылғысын, радиациялық ластану туралы деректерді және т.б. қоса алғанда, ССП жерлері туралы ақпаратты қамтитын мәліметтер базасын құруға болады.

Әрі қарай, алынған деректерді геостатистикалық талдауды, ғарыштық суреттерді мультиспектрлік талдауды, жерді пайдаланудағы өзгерістерді мониторингтеуді және т.б. қоса алғанда, әртүрлі әдістердің көмегімен талдау жүргізіледі.



8-сурет. Құрастырылған сандық геодеректер базасы

Геоақпараттық бағдарламалар деректерді визуализациялауға және талдауға мүмкіндік береді, бұл үлкен көлемдегі ақпаратпен жұмыс істеу кезінде өте маңызды. Геоақпараттық бағдарламаларды пайдалана отырып, Семей сынақ полигонының дерекқоры радиацияның қоршаған ортаға және адамдардың денсаулығына әсерін одан әрі зерттеу, Қоршаған ортаны қорғау және адамдардың қауіпсіздігі жөніндегі шараларды әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Алайда, мәліметтер базасы толық емес және талдау нәтижелеріне әсер етуі мүмкін қателіктер мен ақпараттың болмауы мүмкін екенін ескеру қажет. Сондықтан ақпаратты жинау және талдау, сондай-ақ жаңа технологиялар мен әдістерді пайдалана отырып, дерекқорды жаңарту бойынша жұмысты жалғастыру қажет.

Әдебиеттер тізімі

1. Акчурин, И.А. «Семипалатинский ядерный полигон. Создание становление, деятельность», 2020. – М. – С. 258-311.
2. Galliani G., Lanzi E. A Date Base for Environmental Management. In: Env. Syst. Anal. And Manag. Ed. By S. Rinaldi. North-Holland Publ. Corp. IFIP. 2021 – P. 737-753.
3. Кузнецов Н.А., Гитис В.Г. Сетевые аналитические ГИС в фундаментальных исследованиях: Информационные процессы // 2020. – Т.4. – № 3. – С. 221-240.
4. Bosch M (2019) PyLandStats: an open-source Pythonic library to compute landscape metrics. PLoS One 14(12):e0225734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225734>.
5. Leontiev, Y., Ozsu, M.T., and Szafron, D. (2022). On "type systems for object-oriented database programming languages. ACM Computing Surveys (CSUR), 34(4):409-449.
6. S. Feuerstein and B. Pribyl. Oracle PL/SQL Programming. O'Reilly & Associates, Inc., Sebastopol, CA, USA, 2022.
7. M. Kirchberg. An overview of the object-oriented database programming language DBPQL. In J. Cardoso, J. Cordeiro, and J. Filipe, editors, Proceedings of the 9th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS). – Volume 1. INSTICC Press, 2007.
8. B.E. Hart, S. Danforth, and P. Valduriez. Parallelizing a database programming language. In Proceedings of the 1st inter-national symposium on Databases in parallel and distributed systems, pages 72-79. IEEE Computer Society Press, 1988.
9. Aubrey, A.J., Marshall, D., Rosin, P.L., Vendeventer, J., Cunningham, D.W., & Wallraven, C. (2013). Cardiff conversation database (CCDb): A database of natural dyadic conversations. In 2013 IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops (pp. 277-282).
10. Busso, C., Bulut, M., Lee, C. C., Kazemzadeh, A., Mower, E., Kim, S., Chang, J.N., Lee, S., & Narayanan, S.S. (2008). IEMOCAP: Interactive emotional dyadic motion capture database. Language Resources and Evaluation, 42(4), 335.
11. Dindoliwala, V.J., Morena, R.D. (2018) Comparative study of integrity constraints, storage and profile management of relational and non-relational database using MongoDB and Oracle. Int. J. Comp. Sci. Eng. 6(7), (pp. 831-837).
12. Vienneau A. Using ArcCatalog. GIS by ESRI USA Redlands, 2018. – 286 p.

13. Smits S. J. Modelling Irrigation Water Distribuion in a GIS Environment (A case study of the Sistema Nacional de Riegos №1 "La Angostura", Bolivia)., Wageningen, 2018. – 109 p.
14. Lalor G.C., Zhang C. Multivariate outlier detection and remediation in geochimi-cal databases // The Science of Total Environment, 2003,96. – № 1-3. – P. 19-28.
15. Hole-filled seamless SRTM data V3 / A. Jarvis, H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara // International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), 2006.- Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org/>.
16. Kistemann, T. New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences/ T. Kistemann, F.Dangen-dorf, J.Schweikart//J.Hyg.Envirion.Healt.- 2002. – Vol. 205. – P. 169-181.

References

1. Akchurin, I.A. Semipalatinskij yadernyj poligon. Sozdanie stanovlenie, deyatel'nost' // – 2020. – М. – С. 258-311.
 2. Galliani G., Lanzi E. A Date Base for Environmental Management. In: Env. Syst. Anal. And Manag. Ed. By S. Rinaldi. North-Holland Publ. Sotr. IFIP. – 2021. – P. 737-753.
 3. Kuznecov H.A., Gitis V.G. Setevye analiticheskie GIS v fundamental'nyh issledovaniyah: Informacionnye processy // 2020 – T.4., № 3. – S. 221-240.
 4. Bosch M. (2019) PyLandStats: an open-source Pythonic library to compute landscape metrics. PLoS One 14(12):e0225734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225734>.
 5. Leontiev, Y., Ozsu, M.T., and Szafron, D. (2022). On "type systems for object-oriented database programming languages. ACM Computing Surveys (CSUR), 34(4):409-449.
 6. S. Feuerstein and B. Pribyl. Oracle PL/SQL Programming. O'Reilly & Associates, Inc., Sebastopol, CA, USA, 2022.
 7. M. Kirchberg. An overview of the object-oriented database programming language DBPQL. In J. Cardoso, J. Cordeiro, and J. Filipe, editors, Proceedings of the 9th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), volume 1. INSTICC Press, 2007.
 8. B.E. Hart, S. Danforth, and P. Valduriez. Parallelizing a database programming language. In Proceedings of the 1st inter-national symposium on Databases in parallel and distributed systems, pages 72–79. IEEE Computer Society Press, 1988.
 9. Aubrey, A.J., Marshall, D., Rosin, P.L., Vendeventer, J., Cunningham, D.W., & Wallraven, C. (2013). Cardiff conversation database (CCDb): A database of natural dyadic conversations. In 2013 IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops (pp. 277-282).
 10. Busso, C., Bulut, M., Lee, C.C., Kazemzadeh, A., Mower, E., Kim, S., Chang, J.N., Lee, S., & Narayanan, S.S. (2008). IEMOCAP: Interactive emotional dyadic motion capture database. Language Resources and Evaluation, 42(4), 335.
 11. Dindoliwala, V.J., Morena, R.D. (2018) Comparative study of integrity constraints, storage and profile management of relational and non-relational database using MongoDB and Oracle. Int. J. Comp. Sci. Eng. 6(7), (pp. 831-837).
 12. Vienneau A. Using ArcCatalog. GIS by ESRI USA Redlands. – 2018-286 p.
 13. Smits S. J. Modelling Irrigation Water Distribuion in a GIS Environment (A case study of the Sistema Nacional de Riegos №1 "La Angostura", Bolivia)., Wageningen, 2018. – 109 p.
 14. Lalor G.C., Zhang C. Multivariate outlier detection and remediation in geochimi-cal databases // The Science of Total Environment, 2003,96. – № 1-3. – P. 19-28.
 15. Hole-filled seamless SRTM data V3 / A. Jarvis, H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara // International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), 2006. – Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org/>.
 16. Kistemann, T. New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences / T. Kistemann, F.Dangen-dorf, J.Schweikart//J.Hyg.Envirion.Healt.- 2002. – Vol. 205. – P. 169-181.
-
-

ТАУ-КЕН ІСІ
ГОРНОЕ ДЕЛО
MINING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_88
IRSTI 52.13.15

R.A. Mussin¹, N.M. Zamaliyev¹, M. Rabatuly¹, N.D. Dzhusupov²

¹Non-profit joint stock company «Abylkas Saginov technical university»,
Karaganda, Kazakhstan

E-mail: r.a.mussin@mail.ru

E-mail: nailzamaliev@mail.ru

E-mail: mukhammedrakhym@mail.ru*

²Management of special maintenance and gasification, Karaganda, Kazakhstan

E-mail: nurbol.jussupov@mail.ru

ANALYSIS OF THE STATE OF COALBED METHANE PRODUCTION IN KAZAKHSTAN

ҚАЗАҚСТАННЫҢ КӨМІР ҚАБАТТАРЫНЫҢ МЕТАН ӨНДІРУ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ДОБЫЧИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КАЗАХСТАНА

Abstract. The experience of industrial methane extraction from coal seams in Kazakhstan is considered. A comparative analysis of the geological parameters of coal deposits in comparison with foreign ones has been carried out. The technology of intensive extraction of methane gas from coal seams and preparation for the integrated development of its resources in the Karaganda basin is substantiated. The implementation of proposals for possible associated methane production will have a social effect by providing the population with cheap fuel and reducing the environmental burden. The gas, metallurgical and chemical industries will be developed through the use of high-quality and cheap raw materials.

Keywords: methane, coal seams, mining prospects, degassing, industrial.

Аңдатпа. Қазақстанның көмір қабаттарының метанын өнеркәсіптік өндіру тәжірибесі қаралды. Шетелдік кен орындарымен салыстырғанда көмір кен орындарының геологиялық параметрлеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Көмір қабаттарынан метан газын қарқынды алу технологиясы және оның ресурстарын Қарағанды бассейнінде кешенді игеруге дайындау негізделген. Метанды жолай өндіру бойынша ұсыныстарды іске асыру халықты арзан отынмен қамтамасыз ету және экологиялық жүктемені азайту есебінен әлеуметтік әсер етеді. Газ, сондай-ақ металлургия және химия салалары сапалы және арзан шикізатты пайдалану есебінен дамиды.

Түйін сөздер: метан, көмір қабаттары, өндіріс перспективалары, газсыздандыру, өнеркәсіптік.

Аннотация. Рассмотрен опыт промышленной добычи метана угольных пластов Казахстана. Произведен сравнительный анализ геологических параметров угольных месторождений в сравнении с зарубежными. Обоснована технология интенсивного извлечения газа метана из угольных пластов и подготовка к комплексному освоению его ресурсов в Карагандинском бассейне. Реализация предложений по возможной попутной добыче метана будет иметь социальный эффект за счет обеспечения населения дешевым топливом, и снижения экологической нагрузки. Получат развитие газовая, а также металлургическая и химическая отрасли за счет использования качественного и дешевого сырья.

Ключевые слова: метан, угольные пласты, перспективы добычи, дегазация, промышленное.

Introduction. Ensuring the safety of coal industry workers is an urgent problem today. The gas content of the layers increases with the depth of their occurrence and is a deterrent factor in mining operations. Sudden methane emissions can cause a large number of human casualties, financial losses and other consequences. In recent years alone, such accidents have claimed more than 140 human lives in the mines of the Karaganda coal basin.

However, by solving this important problem, it is possible to obtain associated gas. It is not easy to reduce the gas content index with existing degassing technologies. Formations have almost zero gas permeability and low gas output at the current depths of their development. That is why it is necessary to have an early impact on the coal bed in order to ensure the release of methane. This process will make it possible to obtain associated gas, which can be used for the needs of industry or the national economy. As a result, reducing the gas content of coal seams will reduce the risks of mining operations and improve occupational safety.

Investigating the issue of methane production, it can be concluded that the Karaganda coal basin is essentially a coal and gas field. Estimating methane reserves from various sources, it can be seen that they are comparable to natural gas reserves. From 1 to 4 trillion are concentrated in the Karaganda coal basin alone. m^3 of gas at a depth of up to 1800 m. At local enterprises, approximately 500 million m^3 of gas is extracted from the ground annually by means of degassing. At the same time, only 15% of this volume is used as fuel, the rest replenishes the emission indicators into the environment. Meanwhile, methane is 20-40 times more efficient than other gases. It destroys the ozone layer and absorbs infrared solar radiation. Comparing the anthropogenic increase in the concentration of greenhouse gases, it can be noted that the annual accumulation of methane in the atmosphere is 1-2%. This indicator exceeds the intensity of accumulation of other gases. However, methane is a good alternative energy source. It can also be considered as a component of the country's fuel and energy resource base. For example, for the chemical industry, methane of coal genesis will serve as a valuable raw material in the production of ammonia, methanol, acetylene, protein mass, etc.

Determining the source of methane release is a difficult scientific and technical task. According to modern concepts, a coal seam is a poorly permeable block–fractured medium under the influence of a huge number of different factors. At the same time, 80-90% of methane is in the coalbed in a sorbed state. This has a significant impact on the extraction process, compared to conventional gas extraction technologies.

Analyzing accidents at mines in the CIS countries over the past 5 years, it can be concluded that about 90% of emergencies at enterprises that suffered human casualties were sudden methane emissions. To reduce the risk of an explosion of a methane-air mixture during mining operations, the organization of methane extraction by wells from the surface will allow. This will make it possible to use gas for mine power plants, increase the profitability of coal mining and reduce the negative factors that affect the development of new horizons in underground coal mining. According to the analysis carried out, the resource potential of coal methane in Kazakhstan is estimated at 3000-4000 billion m^3 , in general, in developed and developing countries - 93-285 trillion m^3 .

Materials and methods of research. Kazakhstan is one of the twenty world leaders in terms of primary energy production and ranks 18th in the world. The raw material base of the coal industry, as well as the production potential of coal mining enterprises, make it possible to meet the solvent demand of coal consumers, both inside and outside the country (Figure 1) [1].

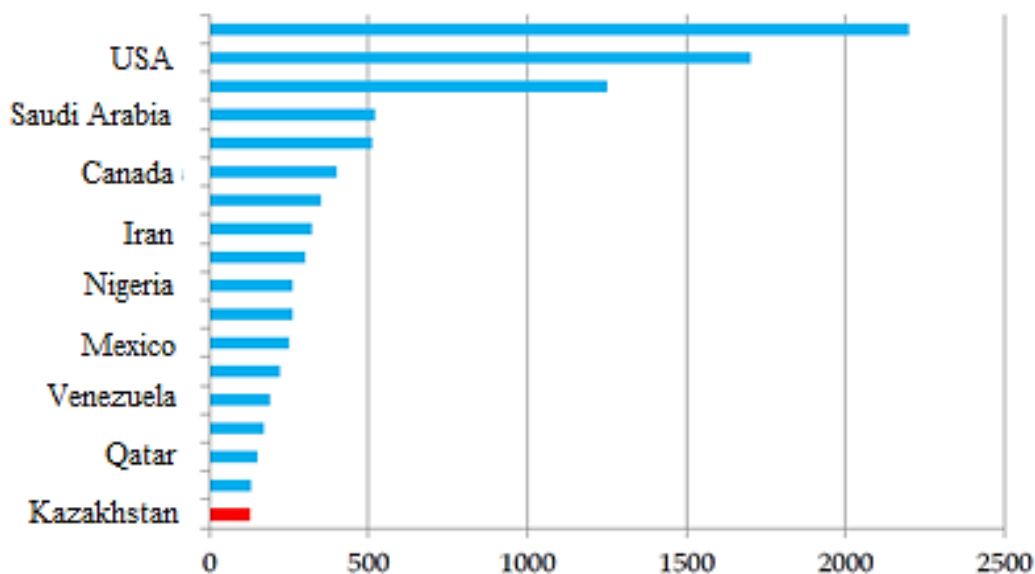


Figure 1. Production of primary energy resources by various countries of the world, million tons

Kazakhstan ranks eighth in the world in terms of proven coal reserves of all types and is one of the ten countries in which the largest coal deposits are located. Proven reserves are estimated at 34.2 billion tons. This is 4% of the global volume. Meanwhile, brown coal reserves account for 62%, and hard coal reserves for 38%. Our country is second in reserves only to the USA, Russia, China, Australia, India, Germany and Ukraine (Figure 2) [2].

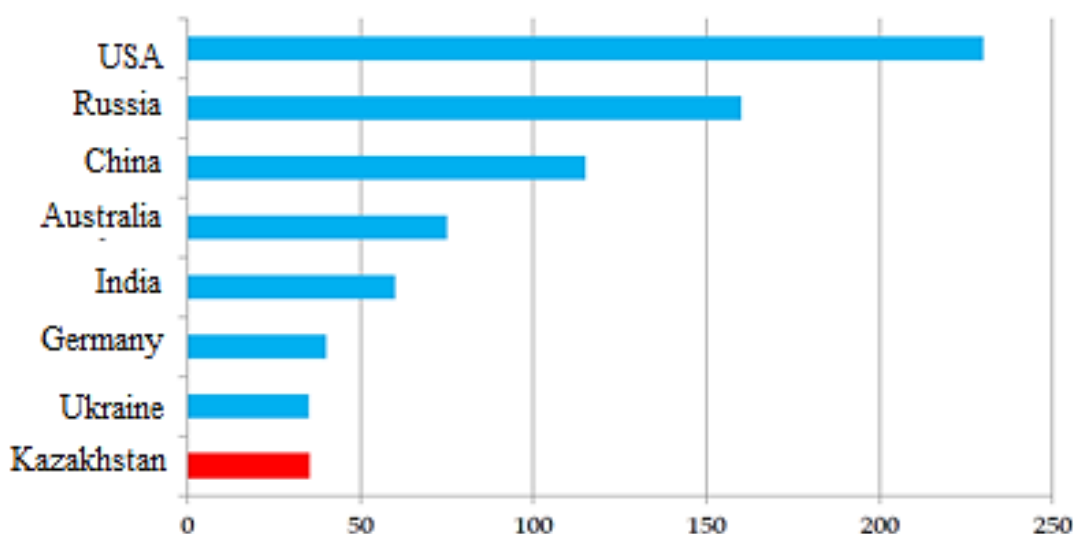


Figure 2. The volume of proven coal reserves in various countries of the world, million tons

The main share in the structure of Kazakhstan's recoverable natural energy resources is coal - 46%, uranium - 29%, and hydrocarbons account for up to 25% in total (Figure 1.3). Meanwhile, uranium accounts for the largest volume of exports - 255.8 million tons of ore or less than \$2.5 billion. For oil - 79.2 million tons of oil, or \$56.4 billion.

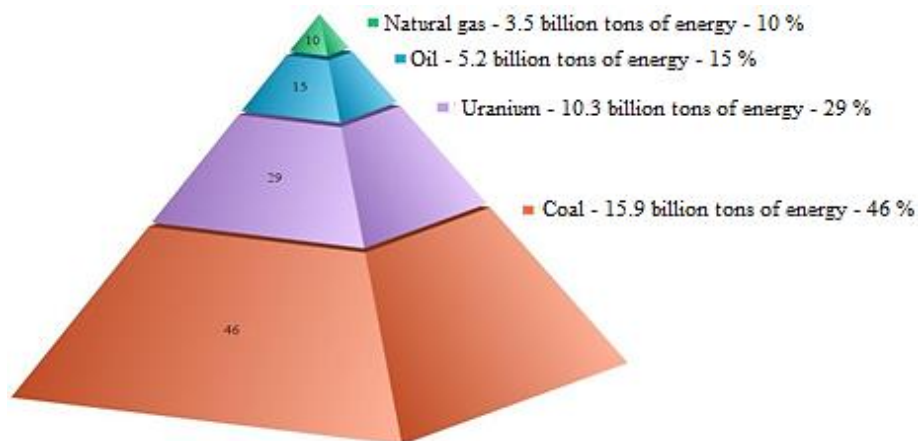


Figure 3. Proven reserves of fossil energy resources in Kazakhstan, million tons

The state balance sheet takes into account reserves for 49 fields. Most of them are concentrated in the Karaganda and Ekibastuz coal basins, as well as the Shubarkol deposit and in the Turgai coal basin in Northern Kazakhstan. All balance reserves of coking coal are located in the territory of the Karaganda region. The southern and western regions of the country have good industrial potential, but are experiencing an acute shortage of coal fuel (Figure 4) [3].

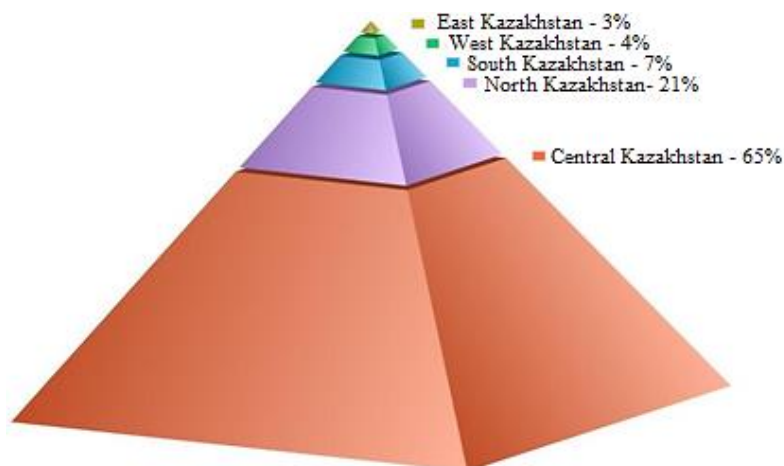


Figure 4. Placement of balance reserves of coal in the regions of Kazakhstan

In Kazakhstan, 130.4 million tons accounted for the total volume of coal production in 1991. This is 20.7% of the total production balance in the territory of the former USSR. The termination of state subsidies to the industry provoked a sharp decline in coal production in 1992-1996. The "freezing" of prices for coal products, a decrease in the level of solvent demand, the presence of an unprofitable mine fund and the slow adaptation of the industry to new economic conditions had an impact [4].

The complex of recreational activities was held in 1995-1998. At that time, all large coal mining enterprises of the Karaganda and Ekibastuz coal basins were privatized by foreign and domestic investors. This has reduced the level of social tension in the coal regions and ensured the continued functioning of the industry. Summary data on coal production in Kazakhstan from 1991 to 2018 is shown in Table 1.

Table 1. Summary data on coal production in Kazakhstan from 1991 to 2018

Years	Production, million tons	Coal delivered, million tons	
		to Kazakhstan	for export
1991	130.4	78.4	52
1992	126.5	92.8	33.7
1993	111.9	87.7	24.2
1994	104.6	81	23.6
1995	83.4	63.3	20.1
1996	76.8	55.7	21.1
1997	72.6	47.5	25.1
1998	69.8	46.1	23.7
1999	58.4	42.2	16.2
2000	74.9	49.7	25.2
2001	79.1	50.6	28.5
2002	73.7	51.1	22.6
2003	84.9	58	26.9
2004	86.8	62.5	24.3
2005	86.4	62.8	23.6
2006	96.3	68.5	27.8
2007	94.4	68.7	25.7
2008	104.9	72	32.9
2009	94.3	69.3	25
2010	105.3	No data available	No data available
2011	110.1	No data available	No data available
2012	114.3	88.9	31.3
2013	112.8	No data available	No data available
2014	107.6	No data available	No data available
2015	102.2	No data available	No data available
2016	98.5	71.8	26.2
2017	106.7	70	30
2018	113.7	No data available	No data available
Total	2 681.3	≈1 438.6	≈589.7

Since 2000, there has been a tendency for the coal industry to emerge from the crisis, restructuring took place and coal production began to increase and the economic potential of coal companies increased. This made it possible to preserve the main coal mining enterprises of the republic and ensure fuel production at the level of effective demand. Today, the coal industry in Kazakhstan provides: production of 74% of electricity; 100% utilization of coke production; fully meets the fuel needs of the municipal sector and the population. Meanwhile, the geography of Kazakh coal supplies has significantly expanded in recent years to the near and far abroad. The main importers of Kazakh coal are the power plants of the Urals and Western Siberia of the Russian Federation. According to the joint fuel and energy balance between Kazakhstan and Russia, by 2020, coal exports should be maintained in the amount of 20-22 million tons per year. In addition, Kazakh coal is supplied to Uzbekistan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Ukraine, Bulgaria, Poland, Romania, Turkey, Finland and a number of other countries. A comparison of the volumes of coal production, export and domestic consumption in the Republic of Kazakhstan is shown in Figure 5 [6].

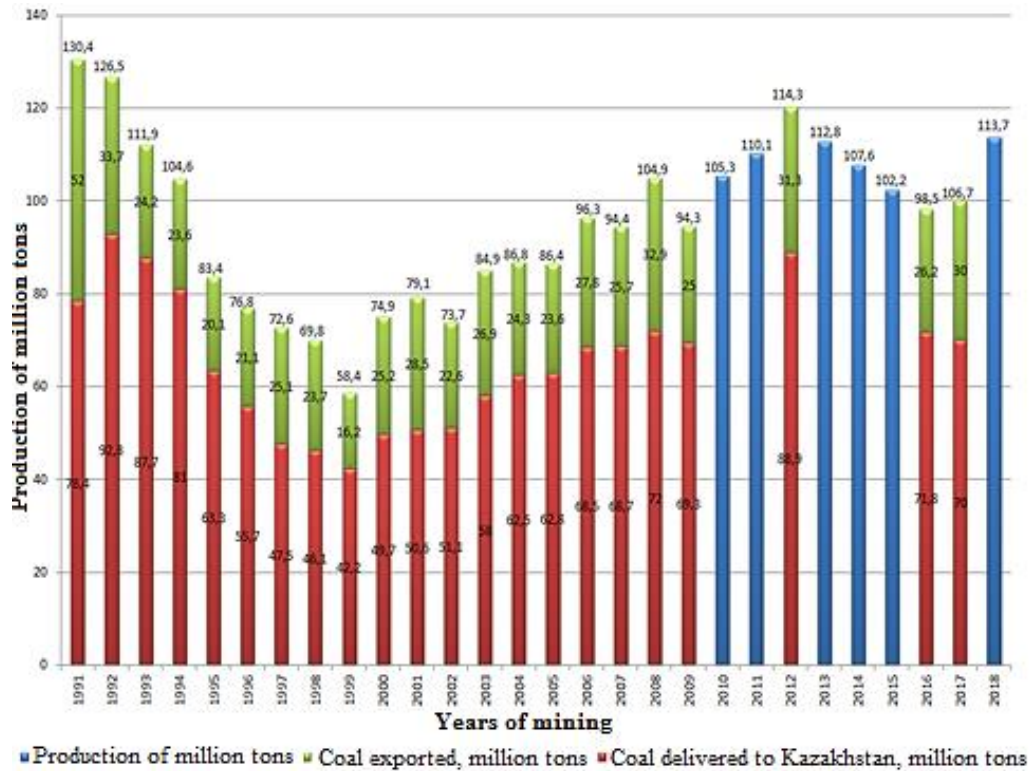


Figure 5. Volumes of coal production, export and domestic consumption in the Republic of Kazakhstan

In turn, the Ministry of Energy and Mineral Resources of Kazakhstan has developed a Concept for the development of the coal industry in Kazakhstan until 2020. It was approved by Government Resolution No. 644 of June 28, 2008. According to this document, an increase in coal production from 94.4 million tons operating in 2007 should occur by 2020 to 145.6 million tons. Annual statistics show that Kazakhstan is among the top ten world leaders in coal production. In 2015, this figure was 107.3 million tons. Coal accounts for about 2/3 of the country's primary energy consumption (Figure 6) [7,8].

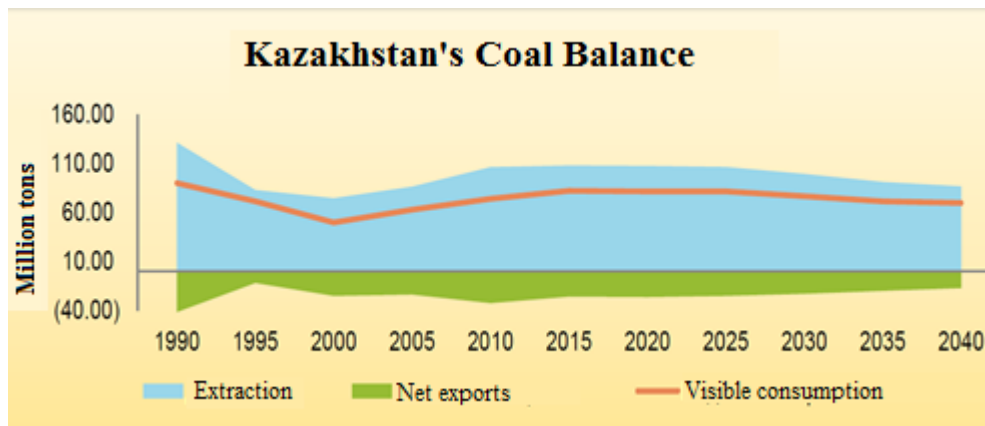


Figure 6. Coal balance of Kazakhstan, million tons

For a long time, methane contained in coal seams was considered as a harmful component that negatively affects the intensity of coal mining. Almost half of the costs of organizing coal mining were spent on creating safe working conditions. Meanwhile, the already familiar degassing of coal seams makes it possible to use methane as an associated mineral [9,10]. As a result, coal miners and power engineers looked at the huge reserves of black gold as storages of coal and hydrocarbon gas, where methane is the main one (Figure 7).



Figure 7. Map of the location of coal basins and deposits in Kazakhstan

Due to the degassing of coal seams in the Karaganda coal basin and methane exploration in accordance with the concluded subsurface use contracts, it will be possible to significantly increase the safety of work during subsequent coal mining, as well as improve the environmental situation by reducing methane emissions into the environment [11, 12].

Conclusions. The search for environmentally friendly energy carriers, improvement of the environmental situation in Kazakhstan, increase in energy security, the need to take measures to ensure the safety of coal mining formulate the tasks of searching, developing and applying modern and effective technologies for industrial extraction of coalbed methane. Active early degassing of mine fields will reduce the explosion hazard and risk of explosion of methane-air mixture in mines, which will lead to a decrease in mortality and injuries during underground work. [13]. The use of methane from coal deposits will significantly improve the socio-economic situation in a number of regions of Kazakhstan. Methane extraction will radically improve the safety of mining operations and, in the future, increase the production of coking coal [14, 15]. The direct use of scientific developments of the Karaganda State Technical University and

foreign technologies makes it possible to create a basis for effective methane production and plan the possibility of further dissemination of this technology to other deposits and other regions of the country.

References

1. Kenetayeva, A.A., Usupayev, S.E., Kryazheva, T.V., Rabatuly M. Demethanization of coal seams in the Karaganda basin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 677(4), doi:10.1088/1755-1315/677/4/042118.
2. Drizhd N.A., Alexandrov A.Yu., Balniyazova G., Zhunis G.M. Results of development of pilot wells at the Sherubainurinsky site of the Karaganda coal basin Scientific, technical, industrial and economic journal "Coal". – Moscow: Publishing House of Rolix LLC, 2020, No. 06, pp.36-40 (in Rus).
3. Kenetayeva, A.A., Kenetayeva, Zh.K., Tokusheva, Zh.T., Rabatuly, M. Methane content of coal seams of Karaganda basin/IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 516(1), doi: 10.1088/1757-899X/516/1/012020.
4. Fang, H., Li, A., Sang, S., Gu, C., Yang, J., Li, L., Liu, H., (...), Huang, Y. Numerical analysis of permeability rebound and recovery evolution with THEM multi-physical field models during CBM extraction in crushed soft coal with low permeability and its indicative significance to CO₂ geological sequestration (2023) Energy, Part A 262, art. no. 125395. <https://www.journals.elsevier.com/energy> doi: 10.1016/j.energy.2022.125395.
5. Drizhd N.A., Mussin R.A., Alexandrov A. Ju. Improving the Technology of Hydraulic Impact Based on Accounting Previously Treated Wells. International science and technology conference "Earth science". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 272 (2019) 022031 IOP Publishing doi: 10.1088/1755-1315/272/2/022031.
6. India Coal Mine Methane Market Study May // <https://www.globalmethane.org/documents/India.22.02.2019>.
7. Yang, W., Wang, L., Yang, K., Tian, C., Pan, R. Molecular insights on influence of CO₂ on CH₄ adsorption and diffusion behaviour in coal under ultrasonic excitation. Fuel, 355, 129519 doi: 10.1016/j.fuel.2023.129519
8. Li, W., Yang, K., Deng, D., Zhao, C., Yang, S., Cheng, Y., Lu, S. A lattice Boltzmann model for simulating gas transport in coal nanopores considering surface adsorption and diffusion effects (2023) Fuel, 340, art. no. 127507. <http://www.journals.elsevier.com/fuel/> doi: 10.1016/j.fuel.2023.127507
9. Wang, Z., Fu, X., Hao, M., Li, G., Pan, J., Niu, Q., Zhou, H. Experimental insights into the adsorption-desorption of CH₄/N₂ and induced strain for medium-rank coals (2021) Journal of Petroleum Science and Engineering, 204, art. no. 108705. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09204105/81> doi: 10.1016/j.petrol.2021.108705.
10. Reddy B.R., Ashok I., Vinu R. (2020). Preparation of carbon nanostructures from medium and high ash Indian coals via microwave-assisted pyrolysis // Advanced Powder Technology. Vol. 31, No.3. - P. 1229-1240. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2019.12.017> .
11. Zhang, X., Cai, Y., Zhou, T., Cheng, J., Zhao, G., Zhang, L., Kang, J. Thermodynamic characteristics of methane adsorption on coals from China with selected metamorphism degrees: Considering the influence of temperature, moisture content, and in situ modification (2023) Fuel, 342, art. no. 127771. <http://www.journals.elsevier.com/fuel/> doi: 10.1016/j.fuel.2023.127771.
12. M. Rabatuly, R.A. Musin, V.F. Demin, Sh.E. Usupaev, A.A. Kenetaeva, Improving the efficiency of methane extraction from coal seams , *Комплексное Использование Минерального Сырья*: Том 324 № 1 (2023): *Комплексное Использование Минерального Сырья* DOI: <https://doi.org/10.31643/2023/6445.01>.
13. Jianguang W. Technology Process of China's CBM Exploration and Development // <https://usea.org/sites/default/files/event.29.08.2019>.
14. Zhou, W., Wang, H., Zhang, Z., Chen, H., Liu, X. Molecular simulation of CO₂ /CH₄ /H₂O competitive adsorption and diffusion in brown coal(2019) RSC Advances, 9 (6), pp. 3004-3011. <http://pubs.rsc.org/en/journals/journal/ra> doi: 10.1039/c8ra10243k.
15. Group E. Block overview - ECBM Possibility: RG (East) CBM 2001/1. Durgapur // <https://www.essar.com/essar-to-double-cbm-gas.22.03.2019>.

ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
CHEMICAL TECHNOLOGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_96
IRSTI 31.21.01

**B.S. Tantybayeva¹, B.S. Saurbayeva², R.A. Ramazanova², M.K. Zhamanbayeva²,
Z.S. Dautova¹, Zh.S. Abisheva³, G.K. Tazhkenova⁴, Ye.N. Ivashchenko²**

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

E-mail: batl_54@mail.ru

E-mail: dautowa@mail.ru

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

E-mail: saurbaeva71@mail.ru*

E-mail: raigul_77_33@mail.ru

E-mail: manogk@mail.ru

E-mail: elenaiva69@mail.ru

³Nazarbayev Intellectual schools, Ust Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: zhanar_a_2010@mail.ru

⁴Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan

E-mail: gaukhar-1970@mail.ru

PREPARATION OF A COMPLEX COMPOUND OF HUMIC ACID WITH GLYCINE ГУМИН

ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ГЛИЦИНМЕН КҮРДЕЛІ ҚОСЫЛЫСЫН АЛУ ПОЛУЧЕНИЕ

КОМПЛЕКСНОГО СОЕДИНЕНИЯ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ С ГЛИЦИНОМ

Annotation. Our study focuses on obtaining and studying the properties of a complex consisting of humic acids and glycine. Through the analysis of quantitative data and theoretical approaches, we investigated the formation of complexes between humic substances and glycine, while also considering the current research status in the field of humic acid complexation. Furthermore, we utilized mathematical planning to determine the optimal conditions for activating brown coal from the Kenderlyk deposit using hydrochloric acid. The resulting complex of humic acids with glycine demonstrates promising applications in agriculture and can be effectively employed as a conventional plant fertilizer.

Keywords: complex, organics, humic, glycine, properties.

Аңдатпа. Жұмыс глицинмен гумин қышқылдары кешенінің қасиеттерін зерттеу және қосылысын алудан тұрады. Жұмыс барысында глицинмен гуминді заттардың кешендерін алуды сипаттайтын сандық мәліметтер, оларды анықтаудың теориялық тәсілдері талданды. Гумин қышқылдарын кешендеу саласындағы зерттеулердің қазіргі жағдайы қарастырылды. Математикалық жоспарлау әдісін қолдана отырып, Кендірлік кен орнының қоңыр көмірін тұз қышқылымен белсендіру шарттары анықталды. Алынған глицинмен гумин қышқылдарының кешені ауыл шаруашылығында қолдануға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, оны классикалық өсімдік тыңайтқышы ретінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: кешен, органика, гумин, глицин, қасиеттер.

Аннотация. Наша работа заключается в получении и изучении свойств комплекса гуминовых кислот с глицином. В ходе работы проанализированы количественные данные, характеризующие получение комплексов гуминовых веществ с глицином, теоретические подходы к их определению. Рассмотрено современное состояние исследований в области комплексообразования гуминовых кислот.

С применением метода математического планирования были определены условия активации бурого угля Кендырлыкского месторождения соляной кислотой. Полученный комплекс гуминовых кислот с глицином имеет перспективу для использования в сельском хозяйстве. А также его можно использовать в качестве классического удобрения растений.

Ключевые слова: комплекс, органика, гумин, глицин, свойства.

Introduction. Humic compounds (HC) are organic matters located in soil, natural bodies of water and deposits formed by putrefaction of plants and natural residues. They comprise 50-90% of the total amount of the organic matters accumulated in the ocean. They also contain macro- and microelements, e.g. zink, calcium, iron, magnesium, iodine, boron, sulphur, molybdenum, etc. Humic acids are part of HC.

Humic acids (HAs) are natural high molecular organic compounds included in peat, soil and lignite. They differ from other HC fractions (fulvic acids and humins) in that they are soluble in alkaline conditions, partially soluble in water and insoluble in acidic conditions. Due to their amphiphilic properties HAs form micelle-like structures in neutral and acidic conditions used in agriculture for the purification of wastewater from heavy metals, and also in medicine and pharmaceuticals [1].

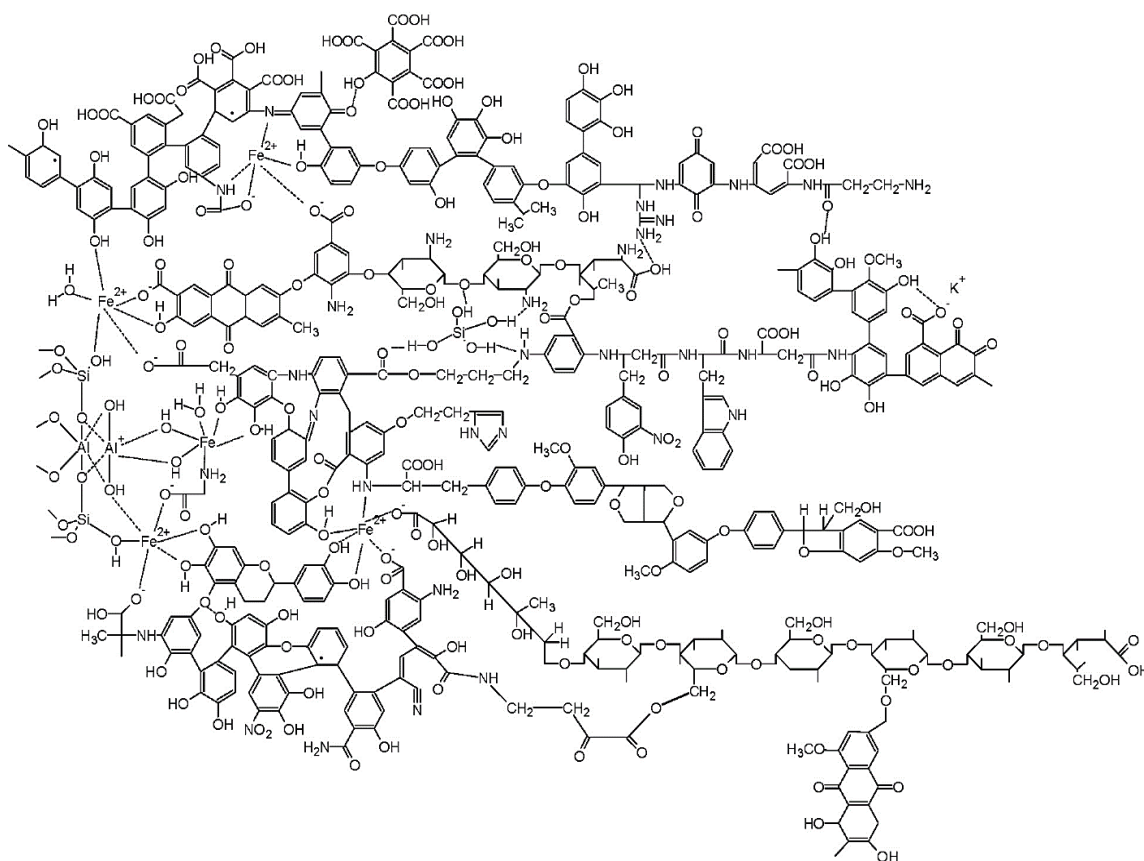


Figure 1. HA hypothetical fragment

HA chemical composition can change depending on its origin, age, climatic conditions and biologic conditions. Therefore, its exact composition is impossible to determine. HA molecular mass is in the range from 2 to 1300 kDa. HAs contain many functional groups as shown in Figure 1, which are mainly composed of phenolic, carboxylic, hydroxoalken, quinone and ester functional groups, but can also contain sugar and peptide parts. However, phenolic and carboxylic groups prevail in HA structures. The huge structure of the HA molecule consists of hydrophilic parts of OH-groups and of hydrophobic parts of aliphatic chains and aromatic rings [2].

Literature Review. HAs contain many functional groups as shown in Figure 1. They are mainly composed of phenolic, carboxylic, phenolic, enolic, quinone and ester functional groups, but can also contain sugar and peptide parts.

The significance of humic substances (HS) in the complex formation and transportation of metals in aquatic systems is comprehensively recognized and extensively studied. They constitute the major part of an organic matter in the natural environment with a typical organic carbon concentration from 0.1 to 1 000 mg/l. Multy-functionality and diversity of structures allow these compounds to enter ionic, molecular and electronic oxidation and reduction processes. Like ionic polyelectrolytes, humic substances react with cations, anions, neutral molecules, radionuclide compounds, and other pollutants. For example, HS form compounds with heavy metals, as well as pesticide adducts, thus significantly affecting the mobility of these substances in the environment. For this reason, they can substantially increase the heavy metal content in natural water. Even small HS concentration can considerably influence free and total metal concentration in soil and groundwater.

Carboxyl, hydroxyl, and carbonyl groups in combination with aromatic structures in HS provide the HAs ability to enter ionic and donor-acceptor interactions, form hydrogen bindings, and take an active part in sorption processes (Table 1) [3].

Table 1. Role of HS Functional Groups [4]

Structural Groups	Interaction Mode
– COOH	Ion exchange
CAr–OH	Complex formation
> C=O	Oxidation and Reduction
C ₆ H ₆	Donor-Acceptor
– CH _n	Hydrophobic Interactions

The main HAs properties such as solubility, pH-dependence, interaction with hydrophobic groups and metal chelation are related to their structure. Table 2 summarizes the HA functional effects employed in different spheres and their interaction with the structural properties of HAs [5].

Table 2. Relation of functional effects with HA structural properties and their technological utilization [6]

HA Technological Utilization	Functional effect	Structural properties
1	2	3
Purifying contamination	Chelate heavy metals Dissolve hydrophobic contaminants	Deprotonation OH/OOH Amphiphilic nature
Agriculture	Fertilizing and growing plants Bactericidal activity Fungicidity	OH/OOH deprotonation and production of reactive oxygen species (ROS) Production of reactive oxygen species (ROS) Production of reactive oxygen species (ROS)

End of table 2

1	2	3
Medicine	Antiviral properties Antiphlogistic properties Antimutagenic properties Wound therapy Cancer therapy Prion therapy	OH/OOH deprotonation OH/OOH deprotonation OOH prevalence Production of reactive oxygen species (ROS) Production of reactive oxygen species (ROS) OH/OOH deprotonation
Pharmaceutics and cosmetology	UV protection Antioxidant capacity Medication solvent	UV absorption OOH prevalence Amphiphilic nature

Proteins are a special class of polyelectrolytes that can also interact with HS. However, there is little research on HS interaction with proteins. Nevertheless, HS binding with proteins can be particularly relevant for fertilization [7,14].

The role of pathogenous proteins such as insecticidal protein toxins, pharmaceutical proteins (produces by transgenic plants) and infectious (prion) proteins involved into transmissible spongiform encephalopathy causing such diseases as BSE (Bovine spongiform encephalopathy) and Creutzfeldt-Jakob that could be found in soil and on the surface of the water [8]. HS interaction with protein can result in modifying protein structure and, consequently, to changes in protein biological activity.

Peat like other solid fuels has humic acids mostly bound with relatively low activity [9]. Their reaction centers are blocked, and different physical and chemical activation methods are used to unlock HC data centers, such as hydration, acid and alkaline hydrolysis, physical processing, etc. For example, alkaline activation of humic acids is based on their ability to dissolve in hydroxides which is the basis for most HC separation methods. Treatment of peat with NaOH solution results in the formation of soluble humates Na [10]:



However, scientists' opinions on methods of extraction and purification of HAs from brown coal diverge due to different composition and properties of these compounds, in particular their solubility in alkaline solutions, regardless of their general type of structure. Humic compounds differ not only in the form of metal humates (K, Na, Ca, Mg, Cu, Fe, etc.) and in the nature and strength of the bond, but also in the organic mass of the compound organic and mineral part of the coal (C, P, S) [11].

Materials and methods of research. Production of humid acids. Effect of hydrochlorid acid on the coal activation process.

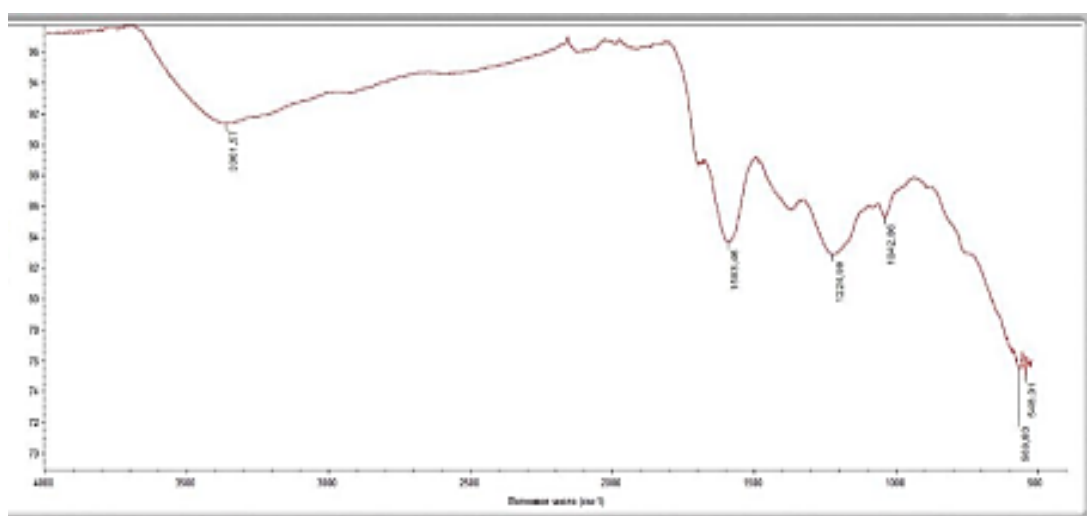
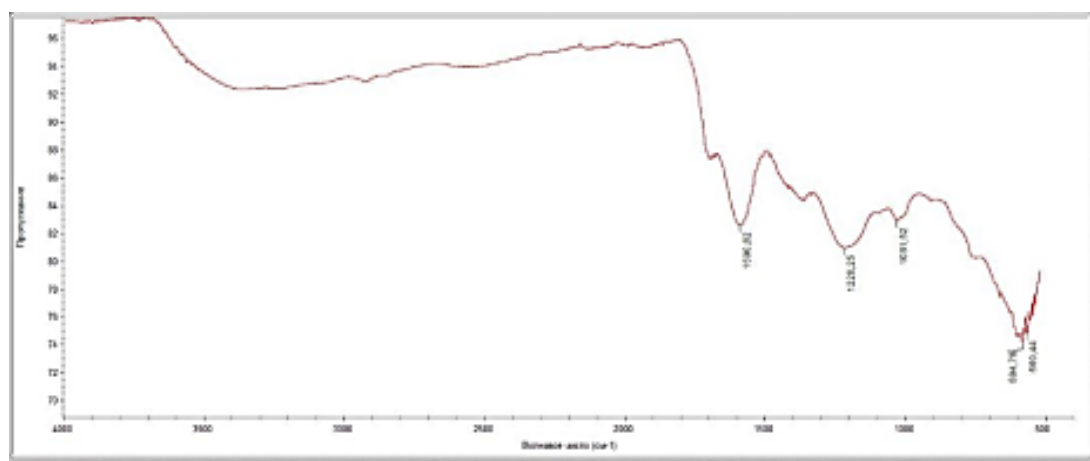
The conditions of activation of brown coal from Kendyrlyk deposit by hydrochloric acid were revealed by mathematical planning. The process was carried out at ratios S:L (Solid:Liquid)=1:8, the experiment planning matrix is given in Table 1. It can be concluded that the coefficients of linear effect of temperature and concentration are significant in the brown coal processing with hydrochloric acid. In our case, we changed only the concentration.

Table 3. Effect of temperature and Solid-Liquid concentration on HA output

Specimens	T, °C	Solid:Liquid(S-L)	Output, %
Non-activated	25	–	26
HCl activation	25	1:5	50.6
HCl activation	25	1:8	51.3

The infrared spectrum of hydrochloric acid activated coal differs from that of the original sample, indicating a structural modification of the coal by the action of HCl.

For example, the intensity of absorption bands in the range of $3450\text{--}3360\text{ cm}^{-1}$ corresponding to phenolic hydroxyl groups bound by intermolecular hydrogen bonds increases under the acid. Due to the overlap of peaks of valence oscillations of $\text{CH}_3\text{--}$, $\text{CH}_2\text{--}$, CH -groups of aliphatic carboxylic acids, wide bands are observed in the range of $2920\text{--}2810\text{ cm}^{-1}$. Absorption bands in the range of $1720\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$, related to C=O carboxylic acid bonds are increasing [12].

**Figure 2.** Humic acid produced by hydroxide method (HCl, S:L=1:8)**Figure 3.** Humic acid produced by pyrophosphate method (HCl, S:L=1:8, t=ambient)

The intensity of the C=C bands of aromatic groups at 1620-1590 cm^{-1} increases under the action of hydrochloric acid due to the influence of oxygen bonds of carboxyl groups. The bands at 1420-1380 cm^{-1} are characteristic for valence vibrations of C-O bonds of the peripheral part, while the absorption bands in the range of 1340-1250 cm^{-1} belong to deformation vibrations of OH-groups, which intensity increases under the action of hydrochloric acid. The absorption bands at 1100-1020 cm^{-1} belong to the deformation vibrations of -CH -groups of heterocyclic aromatic compounds, which also become more intense due to acid activation [13, 15].

Table 4. Characteristic of IR spectra of brown coal (BC) and hydrochloric acid-activated coal (BC-2)

Absorption	Frequency, cm^{-1}	
	BC	BC-2
ν (OH)	3450-3380 (w.)	3440-3360 (m.)
ν (CH ₃ , CH ₂ , CH)	2920-2810 (m.)	2900-2820 (s.)
ν (C=O)	1720-1680 (w.)	1720-1680 (s.)
ν (C=C)	1620-1590 (m.)	1620-1590 (s.)
ν (CO)	1420-1320 (m.)	1420-1310 (s.)
ν (OH)	1340-1250 (w.)	1340-1250 (s.)
ν (CH)	1100-1020 (m.)	1100-1000 (s.)

*Footnote s. - strong, m. - medium, w. - weak bands.

Thus, the data of elemental, functional and IR spectral analysis proves that the intraction of lignite with hydrolic acid results in coal structural modification, leading to an increase in the humic acid output.

Results and discussion. The obtained HAs were studied by infrared spectroscopy (Figure 2) and spectrophotometry (Figure 3). Also, the HA complex with glycine was investigated with spectrophotometry (Figure 4).

IR Spectrometry of Humic Acids

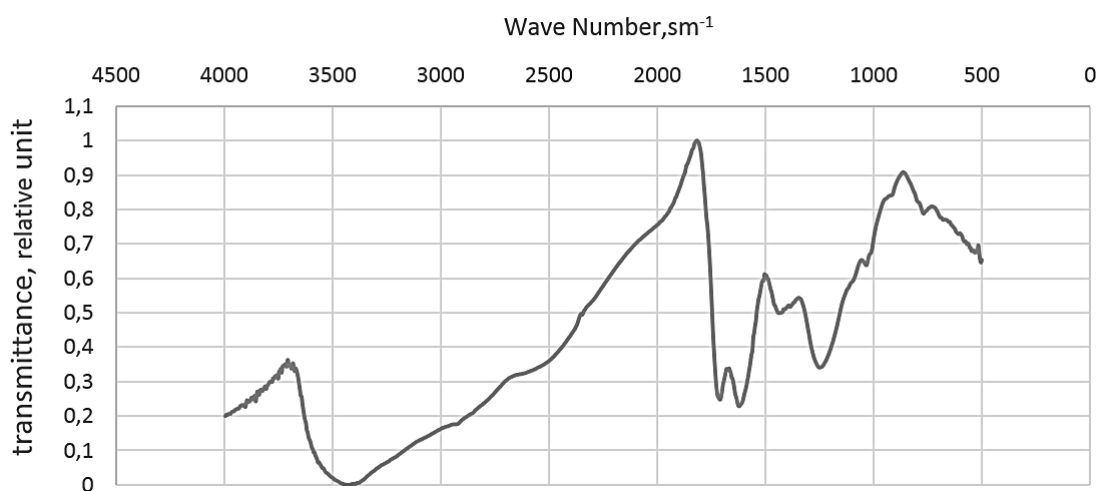


Figure 4. IR spectrometry of HAs

- We can draw the following conclusions from the graph:
- The peak at 3,400-3,200 cm^{-1} indicates at OH-group and intramolecular hydrogen bindings in HA structure.
 - The peaks at 1700 and 1600 cm^{-1} show that there are C=O bonds in the HA structure.
 - Considering the top points, there are COOH groups in the HA structure.
 - A peak of 1,240 cm^{-1} indicates at amine groups in the HA structure.

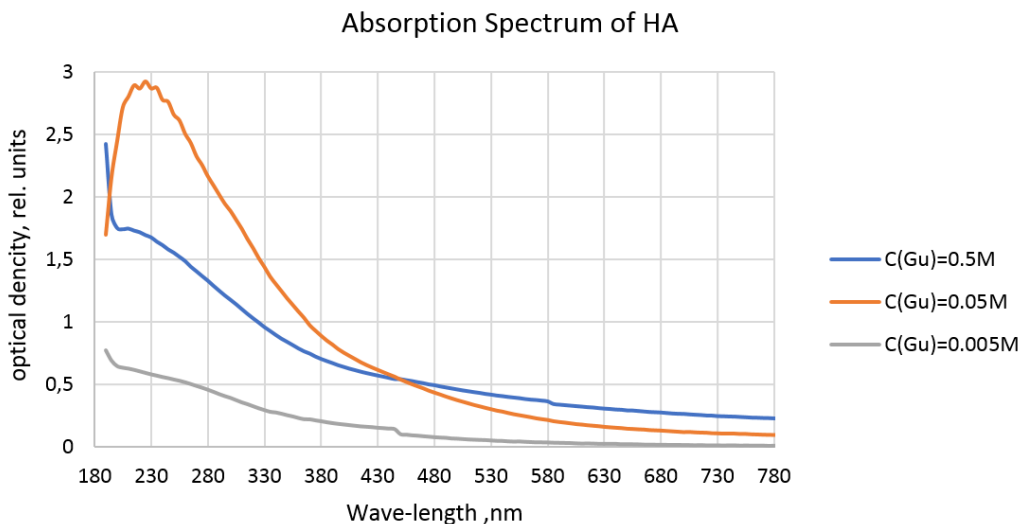


Figure 5. Humic Acid Absorption Spectrum

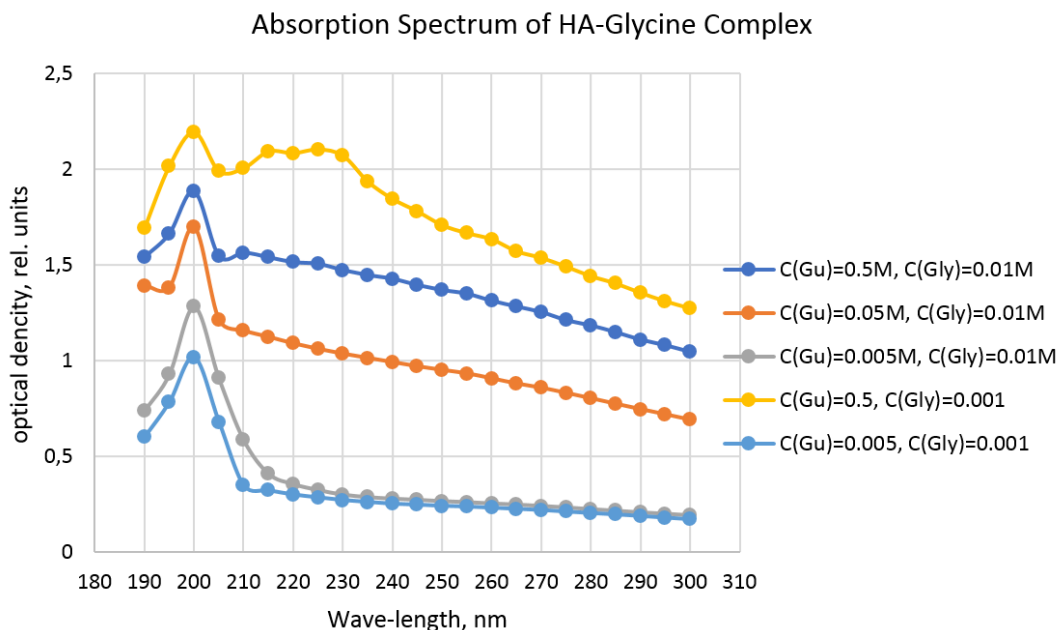


Figure 6. Absorption Spectrum of HA-Glycine Complex

The obtained peaks of 230 nm (Figure 6) and 200 nm (Figure 5) prove the formation of a complex between HAs and glycine.

Conclusion. Humic acids were extracted from the lignit of the Kendyrlyk deposit by activation of lignit with hydrochloric acid by pyrophosphate method.

Infrared spectroscopy of HAs and spectral-photometry of HA and the HA complex with glycine were carried out after their producing. Having used the above-mentioned measurements, we proved the formation of the HA complex with glycine by the method of continuous change and molar ratio.

References

1. B.A. Melo, F.L. Motta, M.H. Santana. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments // *Materials Science and Engineering: C*. – 2016. – № 62. – P. 967-974. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001>
2. Nikitina I.M. Razrabotka sposoba polucheniya reagenta na osnove torfa dlya snizheniya sodержaniya tyazhely`kh metallov v stochny`kh vodakh gorny`kh predpriyatij: speczial`nost` 25.00.36 «Gеоe`kologiya»: dissertacziya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata pedagogicheskikh nauk // *Nacziional`ny`j issledovatel`skij tekhnologicheskij universitet «MISIS»*. – Moskva, 2015. – 124 s.
3. 3.Perminova I.V. Guminovy`e veshhestva - vy`zov khimikam XXI veka // *Khimiya i zhizn` – XXI vek*. – 2008. – № 1. – S. 50-55.
4. Li, Y., Tan, W. F., Wang, M. X., Liu, F., Weng, L. P., Norde, W., & Koopal, L. K. Influence of lysozyme complexation with purified Aldrich humic acid on lysozyme activity // *European Journal of Soil Science*. 2012. Vol. 63. №5. P. 550–557. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01459.x>
5. Tan, W., Koopal, L., Weng, L., van Riemsdijk, W., & Norde, W. Humic acid protein complexation // *Geochimica Et Cosmochimica Acta*. 2008. Vol. 72. – № 8. – P. 2090-2099. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.02.009>
6. Lebedev S.V., Osipova E.A. Change in the amount of heavy metals in wheat under the action of various forms of iron with humic acids // *Fundamental research*. 2014. № 11. P. 2438-2442. <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35962>
7. Lebedev S.V., Osipova E.A., Arkushenko E.A., ZHeneev S.A. Izmenenie kolichestva medi, cinka i marganca v pshenice pod dejstviem razlichnyh form zheleza s guminovymi kislotami // *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*. 2014. – № 12-1. – S. 31-35.
8. Nekrasova O.A., Dergacheva M.I. Soderzhanie mikroelementov v chernozemah obyknovennyh i ih guminovyh kislotah (na primere YUzhnogo Urala) // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2011. № 4 (16). – S. 7-16.
9. Platonov V.A., Hadarcev A.A. Fridzon K.YA., CHunosov S.N. Himicheskij sostav i biologicheskaya aktivnost' sapropelya oz. Glubokoe (Tatarstan) // *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*. – 2014. – № 3. – S. 199-204.
10. Stepanova, Pisareva: Guminovye veshchestva pochvy. Rol' guminovyh veshchestv v rastenievodstve, zhivotnovodstve, medicine. Uch.pos. Izdatel'stvo: Lan' 2022 g, – 460 s.
11. Fedotov G.N., SHuba S.A., Fedotova M.F., Stepanov A.L., Streleckij R.A. Pochvennye drozhzhi i ih rol' v prorastanii semyan. *Pochvovedenie*, 2017, №5, S.592-602.
12. Orlov, D.S. Praktikum po himii gumusa / D.S. Orlov, L. A. Grishina. – M.: Izd-vo MGU, 1981. – 272 s.
13. Saurbaeva B.S., Ivashchenko E.N., Ramazanova R.A., Tantybaeva B.S., Bolatqan D.Q., Akimbaeva N.O. Poluchenie modifitsirovannogo sorbenta iz guminovyh veshchestv burogo uglya Kendyrlykского mestorozhdeniya // *Vestnik VKTU*, 2023. – № 1. – S 204-212 DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_204
14. Avvakumova N.P., Krivopalova M.A., Glubokova M.N., Katunina Ye.Ye., Zhdanova A.V. Guminovyye veshchestva kak regulatory ekologicheskogo gomeostaza. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, №2(2) 2016 S 267-271
15. Lishtvan I.I., Kaputskiy F.N., Yanuta Yu.G., Abramets A.M., Monich G.S., Navosha Yu.Yu., Strigutskiy V.P., Glukhova N.S., Aleynikova V.N. Guminovyye kisloty spektral'nyy analiz i struktura fraktsiy, *Vestnik BGU. Ser. 2*. – 2012. – № 1.

Список литературы

1. B.A. Melo, F.L. Motta, M.H. Santana. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments // *Materials Science and Engineering: C*. - 2016. - № 62. – С. 967-974. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001>
 2. Никитина И.М. Разработка способа получения реагента на основе торфа для снижения содержания тяжелых металлов в сточных водах горных предприятий: специальность 25.00.36 «Геоэкология»: диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук // Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС». – Москва, 2015. – 124 с.
 3. Перминова И.В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века // *Химия и жизнь* – XXI век. – 2008. – № 1. – С. 50-55.
 4. Li, Y., Tan, W. F., Wang, M. X., Liu, F., Weng, L. P., Norde, W., & Koopal, L. K. Influence of lysozyme complexation with purified Aldrich humic acid on lysozyme activity // *European Journal of Soil Science*. 2012. Vol. 63. №5. P. 550–557. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01459.x>
 5. Tan, W., Koopal, L., Weng, L., van Riemsdijk, W., & Norde, W. Humic acid protein complexation // *Geochimica Et Cosmochimica Acta*. – 2008. – Vol. 72. – № 8. – P. 2090-2099. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.02.009>
 6. Лебедев С.В., Осипова Е.А. Изменение количества тяжелых металлов в пшенице под действием различных форм железа с гуминовыми кислотами // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11. – С. 2438-2442. <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35962>
 7. Лебедев С.В., Осипова Е.А., Аркушенко Е.А., Женева С.А. Изменение количества меди, цинка и марганца в пшенице под действием различных форм железа с гуминовыми кислотами // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2014. – № 12-1. – С. 31-35.
 8. Некрасова О.А., Дергачева М.И. Содержание микроэлементов в черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах (на примере Южного Урала) // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2011. – № 4 (16). – С. 7-16.
 9. Платонов В.А., Хадарцев А.А. Фридзон К.Я., Чуносков С.Н. Химический состав и биологическая активность сапропеля оз. Глубокое (Татарстан) // *Вестник новых медицинских технологий*. – 2014. – № 3. – С. 199-204.
 10. Степанова, Писарева: Гуминовые вещества почвы. Роль гуминовых веществ в растениеводстве, животноводстве, медицине. Уч.пос. Издательство: Лань 2022 г, 460 стр
 11. Федотов Г.Н., Шуба С.А., Федотова М.Ф., Степанов А.Л., Стрелецкий Р.А. Почвенные дрожжи и их роль в прорастании семян. *Почвоведение*, 2017. – № 5. – С. 592-602.
 12. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с
 13. Саурбаева Б.С., Иващенко Е.Н., Рамазанова Р.А., Тантамбаева Б.С., Болатқан Д.Қ., Акимбаева Н.О. Получение модифицированного сорбента из гуминовых веществ бурого угля Кендырлыкского месторождения // *Вестник ВКТУ*. 2023. №1 С 204-212 DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_204
 14. Аввакумова Н.П., Кривопалова М.А., Глубокова М.Н., Катунина Е.Е., Жданова А.В. Гуминовые вещества как регуляторы экологического гомеостаза. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, №2(2). – 2016. – С. 267-271.
 15. Лиштван И.И., Капуцкий Ф.Н., Янута Ю.Г., Абрамец А.М., Мониц Г.С., Навоша Ю.Ю., Стригуцкий В.П., Глухова Н.С., Алейникова В.Н. Гуминовые кислоты спектральный анализ и структура фракций, *Вестник БГУ*. – Сер. 2. – 2012. – № 1.
-
-

МЕТАЛЛУРГИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ
METALLURGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_105
MPHTI 53.31.01

С.Б. Юлусов¹, О.С. Байгенженов², А.Т. Хабиев³, Е.С. Меркибаев⁴

Satbayev university, г. Алматы, Казахстан

¹E-mail: s1981b@mail.ru

²E-mail: o.baigenzhenov@satbayev.university*

³E-mail: alibek1324@mail.ru

⁴E-mail: y.merkibayev@satbayev.university

ОБЗОР МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

ҚҰРАМЫНДА ВАНАДИЙ БАР ТЕХНОГЕНДІК ШИКІЗАТТЫ ӨҢДЕУ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ

REVIEW OF METHODS FOR PROCESSING TECHNOGENIC VANADIUM-CONTAINING RAW MATERIALS

Аннотация. В статье рассмотрены методы переработки техногенного ванадийсодержащего сырья, включая методы предварительного спекания и выщелачивания сырья, экстракции и осаждения ванадийсодержащих растворов. Кроме того, приведены конкретные методы, используемые для каждого вида техногенного ванадийсодержащего сырья, с описанием их преимуществ и ограничений, а также кратко проанализированы ряд основных влияющих факторов и механизмов различных процессов. Предлагаются некоторые перспективные исследования для улучшения методов концентрирования ванадия из техногенного ванадийсодержащего сырья.

В статье рассматривается потенциал переработки отработанных ванадиевых катализаторов, используемых в нефтехимических процессах, которые могут быть потенциальным источником для извлечения ванадия. Кроме того, ванадийсодержащее бокситовое сырье, нефть и шлаки сталелитейного производства могут быть перспективным сырьем для дальнейшего извлечения ванадия.

Ключевые слова: ванадийсодержащее сырье, отработанные ванадиевые катализаторы, остатки бокситов, нефтяные остатки, выщелачивание.

Аңдатпа. Мақалада құрамында ванадий бар шикізатты қайта өңдеу әдістері, оның ішінде шикізатты алдын ала күйдіру және шаймалау арқылы құрамында ванадий бар ерітінділерді алу және тұндыру әдістері қарастырылған. Сонымен қатар, құрамында ванадий бар әртүрлі техногендік шикізаттардың артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталып, қолданылатын процестердің бірқатар негізгі әсер етуші факторлары мен механизмдері талданған. Құрамында ванадий бар техногендік шикізаттан ванадийді шоғырландыру әдістерін жақсарту үшін кейбір зерттеу перспективалары ұсынылады.

Мақалада ванадийді алудың әлеуетті шикізат көзі болуы мүмкін мұнай-химия процестерінде қолданылатын қалдық ванадий катализаторларын, боксит шикізатын, мұнайды және болат өндірісінің шлактарын қайта өңдеу мүмкіншіліктері қарастырылған.

Түйін сөздер: құрамында ванадий бар шикізат, пайдаланылған ванадий катализаторлары, боксит қалдықтары, мұнай қалдықтары, шаймалау.

Abstract. The article discusses the methods of processing technogenic vanadium-containing raw materials, including methods of pre-sintering and leaching of raw materials, extraction and precipitation of vanadium-containing solutions. In addition, the specific methods used for each type of technogenic vanadium-containing raw materials are described, with a description of their advantages and limitations. The article also briefly analyzes a number of the main influencing factors and mechanisms of various

processes. Some research prospects are proposed to improve the methods of vanadium concentration from technogenic vanadium-containing raw materials.

The article discusses the potential of recycling spent vanadium catalysts used in petrochemical processes, which can be a potential source for vanadium extraction. In addition, vanadium-containing bauxite raw materials, oil and steel production slags can be promising raw materials for further extraction of vanadium

Keywords: *vanadium-containing raw materials, spent vanadium catalysts, bauxite residues, oil residues, leaching*

Введение. Кроме первичных методов существуют также и вторичные процессы, используемые для переработки и извлечения ванадия из различных отходов, таких как отработанные катализаторы [1, 2] и летучая зола, образующаяся при сжигании угля [3, 4]. Эти процессы обычно включают комбинацию гидрометаллургических и пирометаллургических методов для извлечения ванадия из этих вторичных источников. Переработка промышленных отходов, содержащих ванадий, таких как отработанные катализаторы, летучая зола и шлак, является многообещающим источником извлечения ванадия. Следовательно, изучение эффективных методов переработки этих отходов для извлечения ванадия не только может принести экономическую выгоду, но и будет способствовать снижению загрязнения окружающей среды. Другой проблемой является обращение с остатками после выщелачивания или хвостами, которые отправляются в хвостохранилища. Эти остатки могут содержать остаточные металлы или другие загрязняющие вещества, которые требуют надлежащей утилизации или обработки для предотвращения загрязнения окружающей среды. При этом предпринимаются усилия по разработке устойчивых и безвредных для окружающей среды решений для обращения с этими отходами, таких, например, как технологии вторичной переработки.

Эта обзорная статья описывает методы переработки промышленных ванадийсодержащих отходов, а также проблемы и ограничения, связанные с этими методами. Статья также включает последние результаты исследований по переработке ванадийсодержащего сырья и указывает на необходимость дальнейших исследований и разработок для повышения эффективности и устойчивости переработки ванадия. Материал данной статьи может послужить ценным ресурсом для исследователей, инженеров и специалистов металлургической отрасли, занимающихся производством ванадия, а также внести вклад в общее понимание устойчивого управления ресурсами.

1. Методы извлечения ванадия из бокситовых остатков. Красный шлам, также известный как бокситовый остаток, является побочным продуктом производства алюминия и образуется в результате переработки бокситовой руды гидроксидом натрия. Ежегодно во всем мире производится около 150 миллионов тонн бокситовых остатков, состоящих преимущественно из оксида железа, оксида титана и оксида алюминия, но содержащих также и несколько других ценных металлов, включая ванадий [5].

В последние годы извлечению ванадия из бокситовых остатков уделяется значительное внимание в связи с растущим спросом на этот металл в различных отраслях промышленности, таких как производство стали, хранение энергии и катализ. Были исследованы различные методы извлечения ванадия из бокситовых остатков, включая методы физического разделения, выщелачивания и осаждения.

Методы физического разделения, такие как магнитная сепарация, гравитационная сепарация и пенная флотация, используются для отделения ванадийсодержащих фаз от остальной части матрицы бокситовых остатков. Ванадийсодержащие минералы могут быть разделены с помощью магнитной сепарации, основанной на их магнитных свойствах. Также ванадийсодержащие минералы и остальной остаток бокситов разделяются с помощью гравитационного разделения, использующего различия в их

плотности. Кроме того, ванадийсодержащие минералы и жильные минералы в бокситовом остатке отделяются с помощью пенной флотации, использующей различия в их свойствах поверхности.

Методы выщелачивания включают растворение ванадия из матрицы бокситовых остатков с использованием различных химических реагентов. Кислотное выщелачивание является одним из широко используемых методов, при котором для растворения минералов оксида ванадия часто используется серная кислота. Затем фильтрат, содержащий ванадий, подвергается дальнейшей обработке для извлечения металла. Щелочное выщелачивание с использованием гидроксида или карбоната натрия также было исследовано в качестве альтернативного метода извлечения ванадия. Этот метод обладает преимуществом селективного выщелачивания, при котором ванадий растворяется, оставляя в осадке другие ценные металлы, такие как железо и титан [6, 7].

Методы осаждения используются для извлечения ванадия из фильтрата, полученного с помощью методов выщелачивания. Одним из широко используемых методов является экстракция растворителем, при которой органический растворитель используется для селективного извлечения ванадия из фильтрата. Затем экстрагированный ванадий отделяют от органической фазы с использованием соответствующего отделяющего агента для получения концентрированного раствора ванадия. Другой способ осаждения включает использование химических осадителей, таких как метаванадат аммония или метаванадат натрия, для селективного осаждения ванадия из фильтрата. Затем осажденный ванадий может быть подвергнут дальнейшей обработке с получением соединений ванадия или металла [8].

Извлечение ванадия из бокситовых остатков представляет собой сложный процесс, требующий применения различных методов, включая физическое разделение, выщелачивание и осаждение. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения, и выбор подходящего метода зависит от таких факторов, как состав бокситового остатка, желаемая чистота ванадиевого продукта и экономическая целесообразность процесса. Необходимы дальнейшие исследования и разработки для оптимизации и повышения эффективности этих методов, чтобы обеспечить устойчивое и экономически целесообразное извлечение ванадия из бокситовых остатков.

2. *Методы извлечения ванадия из летучей золы и угля.* Летучая зола (рис. 1) является побочным продуктом сжигания угля на тепловых электростанциях. Летучая зола и уголь содержат незначительные количества ванадия, что делает их потенциальными источниками для его извлечения.

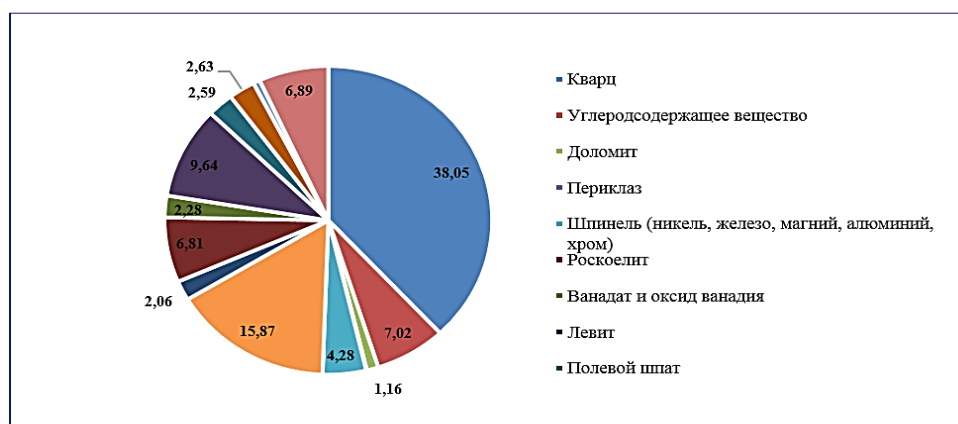


Рисунок 1. Минеральный состав летучей золы

Для извлечения ванадия из летучей золы и угля было разработано и изучено несколько методов, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения [9].

Одним из наиболее часто используемых методов извлечения ванадия из летучей золы (рис. 2) является кислотное выщелачивание. Этот процесс включает обработку летучей золы раствором кислоты, обычно серной кислотой, для растворения присутствующего ванадия. Эффективность выщелачивания может быть повышена такими факторами, как температура, концентрация кислоты и размер частиц. В многочисленных исследованиях изучалось влияние этих параметров на процесс выщелачивания. Например, Чен и др. [10] провели эксперименты по оптимизации кислотного выщелачивания ванадия из летучей золы. Они обнаружили, что повышение температуры и концентрации кислоты значительно повышает эффективность извлечения ванадия. Кроме того, уменьшение размера частиц летучей золы увеличило площадь поверхности, доступную для выщелачивания, что привело к более высоким скоростям извлечения ванадия.

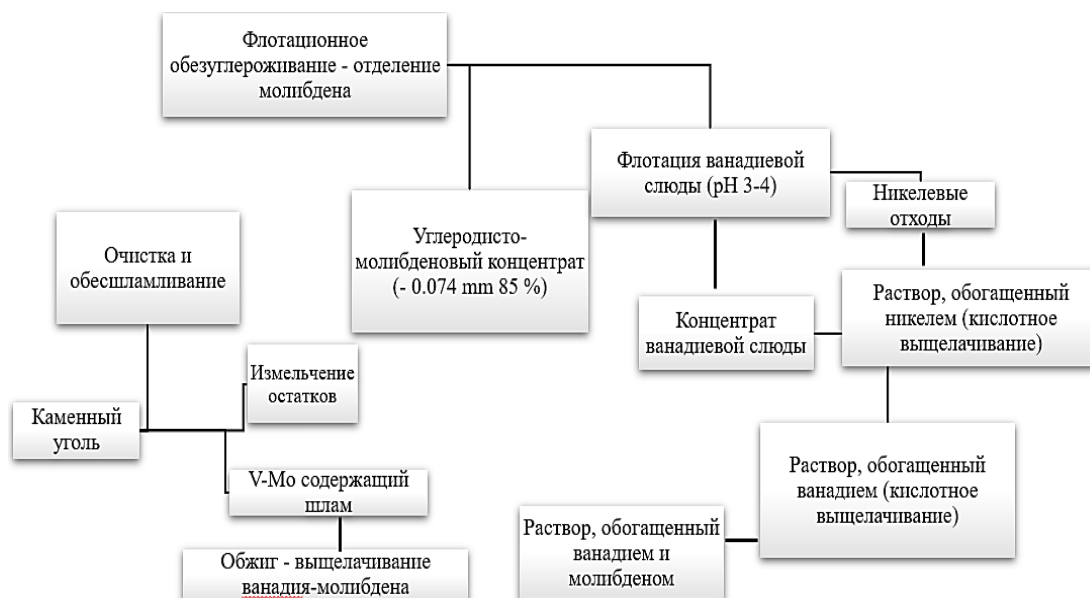


Рисунок 2. Схема извлечения ванадия из каменного угля и перервода его в оксид ванадия (IV)

В работе Wang и др. [11] представлены результаты исследования щелочного выщелачивания ванадия из летучей золы с высоким содержанием кальция. Авторы обнаружили, что добавление хелатирующего агента, такого как ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота), повышает эффективность извлечения ванадия за счет уменьшения влияния кальция. В результате исследования был сделан вывод, что щелочное выщелачивание в сочетании с хелатирующим агентом может быть многообещающим методом извлечения ванадия из летучей золы с высоким содержанием кальция.

В исследовании Yang и др. [12] авторы исследовали кислотное выщелачивание ванадия из угольной золы с использованием соляной кислоты. Они обнаружили, что на эффективность выщелачивания влияют такие факторы, как концентрация кислоты, температура и время выщелачивания. Увеличение концентрации кислоты и температуры увеличивало извлечение ванадия, в то время как увеличение времени выщелачивания оказывало уменьшающий эффект.

Обжиг и плавка являются альтернативными методами извлечения ванадия из угля. Обжиг включает нагрев угля в присутствии воздуха или кислорода, который окисляет ванадий до растворимой формы, поддающейся выщелачиванию. С другой стороны, плавка включает восстановление оксидов ванадия в угле до металлического ванадия, который затем может быть отделен и очищен.

3. *Методы извлечения ванадия из нефтяных остатков.* Извлечение ванадия из нефтяных остатков (рис. 3) является важной областью исследований в связи с растущим спросом на ванадий. Нефтяной остаток, также известный как нефтяной кокс, является побочным продуктом процесса переработки нефти и содержит значительное количество ванадия [13]. В Республике Беларусь потенциальным источником ванадийсодержащего вторичного сырья является ванадийсодержащий шлам, образующийся при сжигании мазута в котельных установках электростанций. Концентрация ванадия в нем в десять раз превышает его содержание в традиционном рудном сырье [14, 15].



Рисунок 3. Схема извлечения ванадия из нефти и перевода его в оксид ванадия (IV)

Наиболее распространенными методами извлечения ванадия из нефтяных остатков являются гидрометаллургические процессы. Эти процессы предполагают использование химических растворов для селективного извлечения ванадия из нефтяного кокса. Одним из таких методов является кислотное выщелачивание, при котором нефтяной кокс обрабатывают сильной кислотой, такой как серная кислота или соляная кислота, для растворения ванадия. Полученный раствор обрабатывают для извлечения ванадия путем сорбции или экстракции. В нескольких исследованиях изучалась оптимизация параметров кислотного выщелачивания, таких как концентрация кислоты, температура и время выщелачивания, для повышения эффективности извлечения ванадия [16].

Другой гидрометаллургический метод предполагает использование щелочных растворов для извлечения ванадия. В этом процессе нефтяной кокс обрабатывают сильной щелочью, такой как гидроксид натрия или гидроксид калия, для растворения ванадия. Затем полученный раствор подвергают различным стадиям очистки для выделения ванадия. Исследователи изучили различные факторы, влияющие на процесс

щелочного выщелачивания, включая концентрацию щелочи, температуру реакции и время выщелачивания, чтобы максимизировать извлечение ванадия [17].

В дополнение к гидрометаллургическим методам были исследованы пирометаллургические процессы для извлечения ванадия из нефтяных остатков. Пирометаллургия предполагает использование высоких температур для извлечения и отделения металлов из руд или других материалов. Одним из таких методов является обжиг нефтяного кокса с последующим выщелачиванием раствором кислоты. Процесс обжига преобразует соединения ванадия, присутствующие в нефтяном коксе, в более растворимую форму, облегчая их извлечение на последующей стадии выщелачивания. В исследованиях изучалось влияние температуры, продолжительности обжига и атмосферы на эффективность извлечения ванадия [18].

Кроме того, исследователи изучили возможность использования методов биологического выщелачивания для извлечения ванадия из нефтяных остатков. Биологическое выщелачивание предполагает использование микроорганизмов или продуктов их метаболизма для извлечения металлов из руд или других материалов. В нескольких исследованиях сообщалось об выделении и характеристике устойчивых к ванадию бактерий, способных выщелачивать ванадий из нефтяного кокса. Эти бактерии вырабатывают органические кислоты или ферменты, которые могут растворять ванадий, делая его доступным для извлечения. Для повышения эффективности извлечения ванадия была исследована оптимизация параметров биологического выщелачивания, таких как концентрация бактерий, температура и рН [19].

4. Методы переработки отработанных катализаторов для извлечения ванадия. Одним из важных применений ванадия является его использование в качестве катализатора при производстве серной кислоты. Отработанные ванадиевые катализаторы производства серной кислоты содержат значительное количество ванадия, что делает их извлечение экономически целесообразным и экологически устойчивым процессом [20].

Одним из основных методов, используемых для извлечения ванадия из отработанных катализаторов, является выщелачивание [21]. Выщелачивание (рис. 4) включает растворение ванадийсодержащего материала в подходящем растворителе с последующим отделением и очисткой ванадия.



Рисунок 4. Технологическая схема извлечения ванадия из остатков десиликатизации

Были исследованы различные выщелачивающие агенты, включая серную кислоту, соляную кислоту и щелочные растворы. Выбор выщелачивающего агента зависит от таких факторов, как природа отработанного катализатора и желаемая чистота извлеченного ванадия.

Обычно применяется сернокислотное выщелачивание из-за его совместимости с отработанными ванадиевыми катализаторами, используемыми при производстве серной кислоты. Процесс выщелачивания включает растворение отработанного катализатора в концентрированном растворе серной кислоты с последующим отделением примесей и осаждением соединений ванадия. Содержание ванадия в отработанных катализаторах может варьироваться от 5 % до 25 %, в зависимости от конкретного применения и условий эксплуатации. Эффективность выщелачивания может быть повышена за счет корректировки таких факторов, как температура, концентрация кислоты и время выщелачивания [22].

Выщелачивание соляной кислотой также изучалось в качестве альтернативного метода извлечения ванадия. Этот способ включает растворение отработанного катализатора в соляной кислоте с последующим отделением и очисткой соединений ванадия. По сравнению с сернокислотным выщелачиванием преимущество солянокислотного выщелачивания заключается в более высокой эффективности выщелачивания и меньшем содержании примесей в фильтрате. Однако это требует дополнительных этапов для удаления таких примесей, как железо и алюминий.

Методы щелочного выщелачивания, такие как выщелачивание гидроксидом натрия, были исследованы для извлечения ванадия из отработанных катализаторов. Щелочное выщелачивание обеспечивает преимущество селективного растворения ванадия при минимальном растворении примесей. Процесс выщелачивания включает растворение отработанного катализатора в щелочном растворе с последующим отделением и очисткой соединений ванадия. Однако методы щелочного выщелачивания часто требуют более высоких температур и более длительного времени выщелачивания по сравнению с методами кислотного выщелачивания [23, 24].

После выщелачивания ванадий необходимо отделить и очистить от фильтрата. Для этого используют различные методы разделения, включая экстракцию растворителем, ионный обмен, осаждение и мембранное разделение.

Заключение. В этой обзорной статье всесторонне рассмотрены различные источники, содержащие ванадий, включая отработанные ванадиевые катализаторы, остатки бокситов, нефтяные остатки, и соответствующие технологии их переработки. Результаты исследований, представленные в статье, демонстрируют потенциал этих источников в качестве жизнеспособных и устойчивых альтернатив для производства ванадия.

Отработанные ванадиевые катализаторы, которые образуются в качестве отходов различных промышленных процессов, также были признаны потенциальными источниками ванадия. Переработка этих отработанных катализаторов не только способствует извлечению ванадия, но и благоприятствует снижению загрязнения окружающей среды. Для извлечения ванадия из отработанных катализаторов использовались различные методы, такие как кислотное выщелачивание, прокаливание и экстракция растворителем, что позволило получить значительный выход ванадия.

Бокситы и нефтяные остатки стали нетрадиционными источниками ванадия. Извлечение ванадия из бокситовых остатков, отходов производства глинозема, показало себя многообещающим с помощью различных методов, таких как обжиг, выщелачивание и осаждение. Аналогичным образом, переработка нефтяных остатков, таких как нефтяной кокс и тяжелая нефтяная зола-унос, продемонстрировала потенциал извлечения ванадия с использованием таких методов, как прямое выщелачивание.

Таким образом, разведка и использование ванадийсодержащих источников, обсуждаемые в этой обзорной статье, открывают многообещающие возможности для устойчивого производства ванадия. Кроме того, использование этих источников не

только удовлетворяет растущий спрос на ванадий, но и способствует сокращению образования отходов и загрязнения окружающей среды. Отработанные катализаторы считаются наиболее предпочтительным источником для извлечения ванадия из всех рассмотренных источников. Это предпочтение обусловлено значительным содержанием ванадия в отработанных катализаторах, а также их хорошей растворимостью и пригодностью для использования в технологических процессах. Продолжение исследований и разработок в этой области, несомненно, приведет к дальнейшему прогрессу в производстве ванадия, сделав его более экономически выгодным и экологически устойчивым.

Благодарности. Данное исследование было профинансировано Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP19676107 КН МНВО РК).

References

1. Gonçalves J.M., da Silva M.I., Angnes L. and Araki K. Vanadium-containing electro and photocatalysts for the oxygen evolution reaction: a review *Journal of Materials Chemistry A.*, 2019, doi: 10.1039/c9ta10857b.
2. Zeng, X., Wang, F., Zhang, H., Cui, L., Yu, J., Xu, G. (2015). Extraction of vanadium from stone coal by roasting in a fluidized bed reactor. *Fuel*, 142, 180-188, doi:10.1016/j.fuel.2014.10.068
3. Baigenzhenov, O., Yulussov, S., Khabiyev A., Sydykanov M., Akbarov, M. (2019). Investigation of the leaching process of rare-earth metals from the black shale ores of greater Karatau. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, 310(3), 76–80. – <https://doi.org/10.31643/2019/6445.31>
4. Khabiyev, A., Baigenzhenov, O., Yulussov, S., Akbarov, M., & Sydykanov, M. (2020). Study of leaching processes of sintered black shale ore. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, 315(4), 5–10. – <https://doi.org/10.31643/2020/6445.31>
5. Tseng Yi. Sh., Singhanian R. R., Cheng A.-Ch., Chen Ch.-W., Dong Ch.-D., Patel A. K. Removal of heavy metal vanadium from aqueous solution by nanocellulose produced from *Komagataeibacter europaeus* employing pineapple waste as carbon source, *Bioresource Technology*, V. 369, 2023, 128411, ISSN 0960-8524, doi:10.1016/j.biortech.2022.128411
6. Li H., Ren Q., Tian Sh., Wang J., Zhu X., Yang T., Zhang Y., Liu J., Liu J. Estimation of vanadium removal from calcification roasting-acid leaching tailings using ultrasonic-H₂C₂O₄ synergistic technology // *Arabian Journal of Chemistry*, V. 16, I. 12, 2023, 105344, ISSN 1878-5352, doi:10.1016/j.arabjc.2023.105344
7. Wang X., Yang M., Meng Y., Gao D., Wang M., Fu Z. Cyclic metallurgical process for extracting V and Cr from vanadium slag: Part I. Separation and recovery of V from chromium-containing vanadate solution, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Volume 31, Issue 3, 2021, P. 807-816, ISSN 1003-6326, doi:10.1016/S1003-6326(21)65540-1
8. Kologrieva U., Volkov A., Krasnyanskaya I., Stulov P. and Wainstein D. Analysis of Hydrometallurgical Methods for Obtaining Vanadium Concentrates from the Waste by Chemical Production of Vanadium Pentoxide. *Materials* 2022, 15, 938. – <https://doi.org/10.3390/ma15030938>
9. Makhotkina E.S., Shubinab M.V. Ecological and Resource-Efficient Aspects of Vanadium Production and Use of Technogenic Vanadium Sources. *Solid State Phenomena Submitted: 2017-06-16* ISSN: 1662-9779, Vol. 265, pp. 994-998, doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.-265.994
10. Chen R., Feng Ch., Tan J., Zhang Ch., Yuan Sh., Liu M., Hu H., Li Q., Hu J. Stepwise separation and recovery of molybdenum, vanadium, and nickel from spent hydrogenation catalyst, *Hydrometallurgy*, Volume 213, 2022, 105910, ISSN 0304-386X, doi:10.1016/j.hydromet.2022.105910
11. Wang H., Feng Y., Li H., Li H., Wu H. Recovery of vanadium from acid leaching solutions of spent oil hydrotreating catalyst using solvent extraction with D2EHPA (P204), *Hydrometallurgy*, V. 195, 2020, 105404, ISSN 0304-386X, doi: 10.1016/j.hydromet.2020.105404
12. Yang M., Yang J. Vanadium extraction from steel slag: Generation, recycling and management, *Environmental Pollution*. – V. 343, 2024, 123126, ISSN 0269-7491, doi: 10.1016/j.envpol.2023.123126

13. Abdolhnezhad M., Lindsay M. B.J. Geochemical conditions influence vanadium, nickel, and molybdenum release from oil sands fluid petroleum coke // *Journal of Contaminant Hydrology*, V. 245, 2022, 103955, ISSN 0169-7722, doi: 10.1016/j.jconhyd.2022.103955
 14. Xiong X., Wang Z., Cheng Ch., Li M., Yun L., Liu S., Mao L. and Zhou Zh. Long-Term Observation of Mixing States and Sources of Vanadium-Containing Single Particles from 2020 to 2021 in Guangzhou, China, *Toxics* 2023, 11, 339, doi: 10.3390/toxics11040339
 15. Shafer M.M., Toner B.M., Overdier J.T., Schauer J.J., Fakra S.C., Hu Sh., Jorn D. Herner and Ayala A. Chemical Speciation of Vanadium in Particulate Matter Emitted from Diesel Vehicles and Urban Atmospheric Aerosols, *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 189-195, doi: 10.1021/es200463c
 16. Wang X., Wang H., Gao D., Chen B., Meng Y., Wang M. A clean technology to separate and recover vanadium and chromium from chromate solutions. *Hydrometallurgy*, 2018. – doi: 10.1016/j.hydromet
 17. Zhang D., Liu Y., Hu Q., Ke X., Yuan Sh., Liu Sh., Ji X., Hu J. Sustainable recovery of nickel, molybdenum, and vanadium from spent hydroprocessing catalysts by an integrated selective route // *Journal of Cleaner Production*. – V. 252, 2020, 119763, ISSN 0959-6526, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119763
 18. Yu H., Liu Ch., Liu Sh., Gu Y., Wang Sh., Yaraş A., Hu L., Zhang W., Peng M., Arslanoğlu H., Mao L. High-efficiency recycling of Mo and Ni from spent HDS catalysts: Enhanced oxidation with O₂-rich roasting and selective separation with organic acid leaching- complexation extraction // *Journal of Hazardous Materials*. – V. 464, 2024, 132982, ISSN 0304-3894, doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.132982
 19. Wu L., Dai Ch., Wang H., Wang J., Dong Y. Leaching of vanadium, potassium, and iron from spent catalyst of the manufacture of sulfuric acid // *Journal of Materials Research and Technology*, V. 11, 2021, P. 905-913, ISSN 2238-7854, doi: 1016/j.jmrt.2021.01.072
 20. Dusengemungu L., Kasali G., Gwanama C., Mubemba B. Overview of fungal bioleaching of metals, *Environmental Advances*, Volume 5, 2021, 100083, ISSN 2666-7657, doi: 10.1016/j.envadv.2021.100083
 21. Etim U.J., Bai P., Liu X., Subhan F., Ullah R., Yan Z. Vanadium and nickel deposition on FCC catalyst: Influence of residual catalyst acidity on catalytic products, *Microporous and Mesoporous Materials*, V. 273, 2019, P. 276-285, ISSN 1387-1811, doi: 10.1016/j.micromeso.2018.07.011
 22. Beriwal N., Sharma L., Verma A. Powering a vanadium redox flow battery using spent vanadium catalyst: Extraction of direct-use V(IV)/V(III) vanadium precursors // *Journal of Cleaner Production*, V. 429, 2023, 139568, ISSN 0959-6526, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.139568
 23. Xiao H., Chen L., Qin Zh., Yin R., Weng D., Wang Zh., Luo D. Separation of vanadium, tungsten and molybdenum from spent SCR catalysts solution by solvent extraction with primary amine N1923, *Waste Management*. – V. 150, 2022. – P. 301-309, ISSN 0956-053X, doi: 10.1016/j.wasman.2022.07.015
-
-



АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_114
MFTAA 44.29.01

Ж.К. Алимсеитова¹, А. Оган²

Сәтбаев университеті, г. Алматы, Қазақстан

¹E-mail: zhuldyz_al@mail.ru*

²E-mail: atkeldi@mail.ru

ЦИФРЛЫҚ КРИПТОВАЛЮТА НАРЫҒЫНЫҢ ҚЫЗМЕТТЕРІ ҮШІН АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕР

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛЯ СЕРВИСОВ РЫНКА ЦИФРОВЫХ КРИПТОВАЛЮТ

INFORMATION SECURITY ISSUES AND TECHNOLOGICAL RISKS FOR DIGITAL CRYPTOCURRENCY MARKET SERVICES

Аңдатпа. Тәуекелдерді бағалау үшін қолданылатын әдістер мен модельдерге, оның ішінде ақпараттық қауіпсіздікке, Цифрлық криптовалюта нарығының сервистеріне және тиісті биржалық алаңдарға шолу және талдау жасалды. Цифрлық криптовалюта нарығына қызығушылық салыстырмалы түрде аз уақыт ішінде тез өсетіні көрсетілген. Сонымен қатар, бүгінде көптеген мемлекеттер мен олардың қаржы ұйымдары, мысалы, банктер, несиелік және сақтандыру компаниялары өз активтерінде Цифрлық криптовалютаға ие. Цифрлық криптовалюта нарығының мұндай даму қарқыны кәсіби хакерлерден бастап, цифрлық криптовалюта нарығын қорғауда әлсіз жақтарды іздейтін әртүрлі алаяқтарға дейін әртүрлі зиянкестерді қызықтырды. Криптовалюта биржаларының қызметін қамтамасыз ететін электрондық сервистердің ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету міндетін шешудің аралас әдістерін дамытуды көздейтін бағыт перспективалы болып табылады.

Түйін сөздер: Ақпараттық қауіпсіздік, цифрлық криптовалюталар, криптовалюта биржалары, тәуекелдерді модельдеу, тәуекелдерді бағалау.

Аннотация. Выполнен обзор и анализ методов и моделей, применяемых для оценки рисков, в том числе, связанных с информационной безопасностью, сервисов рынка цифровых криптовалют и соответствующих биржевых площадок. Показано, что интерес к рынку цифровых криптовалют стремительно возрастает на протяжении относительно небольшого отрезка времени. Причем сегодня уже многие государства и их финансовые организации, например, банки, кредитные и страховые компании, имеют в своих активах цифровые криптовалюты. Такие темпы развития рынка цифровых криптовалют заинтересовали и различных злоумышленников, начиная от профессиональных хакеров и заканчивая разного рода мошенниками, ищущих слабые места в защите рынка цифровых криптовалют. Установлено, что перспективным является направление, предусматривающее развитие комбинированных методов решения задачи обеспечения информационной безопасности электронных сервисов, обеспечивающих деятельность криптовалютных бирж.

Ключевые слова: Информационная безопасность, цифровые криптовалюты, криптовалютные биржи, моделирование рисков, оценка рисков.

Abstract. A review and analysis of methods and models used to assess risks, including those related to information security, services of the digital cryptocurrency market and relevant exchange platforms has been carried out. It is shown that interest in the digital cryptocurrency market is rapidly increasing over a relatively short period of time. Moreover, today many states and their financial organizations, for example, banks, credit and insurance companies, have digital cryptocurrencies in their assets. Such a pace of development of the digital cryptocurrency market has also interested various intruders, ranging from professional hackers to various kinds of scammers looking for weaknesses in the protection of the digital cryptocurrency market. It has been established that a promising direction is the development of combined methods for solving the problem of ensuring the information security of electronic services that support the activities of cryptocurrency exchanges.

Keywords: Information security, digital cryptocurrencies, cryptocurrency exchanges, risk modeling, risk assessment.

Kipicne. Цифрлық криптовалюта нарығының (бұдан әрі – ЦКВ) даму ретроспективасын қарастыра отырып, осы нарыққа деген қызығушылық салыстырмалы түрде аз уақыт ішінде тез артып келе жатқанына тез көз жеткізуге болады. Осы уақыт аралығында ЦКП-ға тек ынтагерлер қызығушылық танытты [1, 2], содан кейін бұл нарық инвесторлардың өте кең ауқымына қызығушылық танытты [3, 4]. Сонымен қатар, бүгінде көптеген мемлекеттер мен олардың қаржы ұйымдары, мысалы, банктер, несиелік және сақтандыру компаниялары өз активтерінде ЦКВ бар [4]. Көптеген мемлекеттер мен олардың қаржы ұйымдары ЦКВ-ны толыққанды төлем құралы ретінде толық тану туралы мәселені талқылайды және сәйкесінше ЦКВ үшін толыққанды төлем жүйелерін мемлекеттер деңгейінде дамыту идеясын алға тартады. Бүгінде әлемде мамандандырылған криптовалюта биржалары белсенді жұмыс істейді. Мұндай биржалар жеке инвесторлар мен ЦКВ-ны заңды төлем құралдары ретінде танитын жеке компаниялар арасында сауда-саттықты жүргізуге ықпал етеді [5-7]. Классикалық биржалық қызмет пен ЦКВ-мен мәмілелермен айналысатын биржалар арасындағы белгілі бір ұқсастық туралы айтуға болады.

Криптовалюта биржаларында ақпараттық қауіпсіздіктің жағдайдың өзгеруі, тек жағдайды және ақпараттық қауіпсіздікті бақылаудың неғұрлым қатаң тетіктері пайда болған жағдайда ғана мүмкін болады, тиісті сауда алаңдары мен олардың электрондық сервистері пайда болған жағдайда ғана мүмкін болады. Бұл жаңа зерттеулер жүргізуді талап етеді.

Осылайша, бұл жұмыстың мақсаты – тәуекелдерді бағалау үшін қолданылатын әдістер мен модельдерге, соның ішінде ақпараттық қауіпсіздікке (АҚ), ЦКВ нарығының қызметтеріне және тиісті биржалық алаңдарға талдау жүргізу.

Әдеби шолу. Криптовалюта биржалары (бұдан әрі-КВБ) қандай да бір өнімді сатып алумен/сатумен айналысатын ұқсас биржалар сияқты аппараттық-бағдарламалық қамтамасыз етудің үлгілік жиынтығына ие. Мысалы, бұл пайдаланушыларды тіркеуге арналған бағдарламалық қабықшалар, сонымен қатар жаңалықтар арналары, чаттар, аналитика және т. б.

Крипто-валюталық тәуекелдер – бұл ЦКВ сату/ сатып алу процесінде инвесторлардың қаржылық шығындарының ықтималдығы. Технологиялық крипто-валюталық тәуекелдерді, ең алдымен, ЦКВ-мен операциялардың ақпараттық қауіпсіздігін (АҚ) қамтамасыз етумен байланысты қарастырамыз.

КВБ-ны бұзуға байланысты алғашқы фактілер алғашқы сауда алаңдары ашылған кезде тіркелді. Ең танымал бірі 2011 жылы MtGox (Жапония) биржасын бұзу болды. Хакерлік факт тіркелгенімен, тиісті қорытынды жасалмады.

2016 жылы АҚШ-тағы Bitfinex биржасы бұзылды. Бұзу Bitcoin курсының құлдырауына әкелді. Шын мәнінде, бұл сауда қызметтерін тікелей бұзу ЦКВ бағамына тікелей әсер еткен екінші жағдай. Жағдайдың ауырлығына АҚШ FBI мамандары тергеуге қосылғаны күә болды.

Қазақстанда криптовалюта саласы белсенді дамып келеді – 2021 жылы майнерлер Қытайдан белсенді кете бастады, бұл саланың ілгерілеуіне айтарлықтай әсер етті. Bitriver мәліметтері бойынша, Қазақстан криптовалюта майнингі бойынша ең ірі елдердің ондығына кіреді.

ProInvestment сарапшылары Қазақстан үшін криптовалюта биржаларын қарап, цифрлық активтерді ұлттық валюта теңгемен сатып алуға немесе сатуға мүмкіндік беретін платформалардың рейтингін жасады. Олардың пікірінше, бүгінгі таңда Қазақстан нарығында жұмыс істейтін ең қауіпсіз және сенімді биржаларға Bybit, Binance, OKX және басқалары (барлығы 15 криптобиржа) жатады.

Binance криптобиржасына жүргізілген талдау жұмыс барысында оған бірнеше шабуылдар сәтті жүргізілгенін көрсетті, олардың арасында фишингтік шабуылдар да бар. Мысалы, 2019 жылдың мамырында Binance криптовалюта биржасы шамамен 7000 BTC зардап шекті. Хакерлер Binance-ті бұзу үшін фишинг пен зиянды бағдарламаны қолдана алды. Зиянкестер 40 миллион долларлық биткоиндермен қашып кетті. Нәтижесінде Binance өзінің қауіпсіздігін арттыруға уәде берді. 2022 жылдың қазан айында Binance криптобиржасы хакерлер жалпы сомасы 570 миллион долларды құрайтын токендерді ұрлағаннан кейін блокчейн желісін уақытша тоқтатты. Оның BNB токендер тізбегімен байланысты брендмауэрге шабуыл жасалды, бұл хакерлерге токендерді желіден тыс жылжытуға мүмкіндік берді.

Blockchain-нің пайда болуымен хакерлер шабуылдар мен хакерлік техниканы жаңа бағытқа бағыттады. Мәселен, мысалы, Blockchain үшін төлем (вирусы-вымогатели) вирустары, трояндық бағдарламалар, жалған сайттарды қолдану принциптері қайта каралды.

Биржаларға, цифрлық қызметтерге және ЦКВ саудасымен айналысатын ойыншыларға бағытталған фишингтік шабуылдар әлі де өзекті болып қала береді. Фишингтік шабуылдар пайдаланушылардың жеке деректерінің бұзылуына байланысты қауіптерді жасырады. Мұндай ағып кетудің бір мысалы Leger (Франция) крипто әмияндарын қолдауға арналған аппараттық платформадан 270 000-нан астам крипто әмияндарына қатысты деректердің ағып кетуі болды [4, 8-11]. Мұндай ағып кету бір уақытта шабуылдаушыларға дивидендтер төлемеуі мүмкін, бірақ олар ақпараттың бір бөлігін хакерлер қосымша шабуылдар кезінде қолдана алатындығына ықпал етеді. Әділеттілік үшін, барлық фишингтік шабуылдар шабуылдаушы тарап үшін нәтиже бермейтінін ескеріңіз. Өйткені, пайдаланушылар жаңа сілтемелерге әлдеқайда мұқият бола бастады. Көбінесе мұндай шабуылдар салдарсыз өтеді. ЦКВ-мен байланысты қаржылық цифрлық қызметтерге (крипто биржаларына) жасалған шабуылдар әлдеқайда үлкен қауіп болып табылады. Міне, [9]-да келтірілген осындай шабуылдардың шағын тізімі.

Ең үлкен тәуекелдер 51 % шабуылмен байланысты. Шабуылдаушылар үшін мұндай шабуыл оны жүзеге асыруға өзінің қаржылық инвестицияларын жоғалту қаупімен байланысты. Шабуылдың бұл түрі шабуылдаушылар үшін ең қымбат болып табылады, өйткені шабуылдаушылар жабдықты сатып алу (жалға алу) үшін айтарлықтай шығындарға ұшырауы керек. 51 % шабуыл proof-of-Work алгоритміне сәйкес жұмыс істейтін блокчейндерге тән екенін ескеріңіз.

Bitcoin (BTC) жағдайында шабуылдаушыларға желінің қалған қуатынан асып түсетін есептеу қуатын алу мүмкін болмайтынына қарамастан, бұл кішігірім ЦКВ-ге қатысты өте жақсы жүзеге асырылады. Мәселен, мысалы, BTC-мен салыстырғанда, альткоиндер (Near, Polka dot, TXT, Dodge, Monaco, Luna және т.б.) блокчейнді қорғау үшін жеткілікті төмен хэш жылдамдығымен сипатталады. Демек, олардың желісінде 51 % шабуылдар болуы мүмкін.

1-кесте. ЦКВ-мен айналысатын криптовалюта шабуылдарының салдары

Жыл	Крипто биржасы (Страна)	Шығындар, млн. долларов США
2018	CoinCheck (Жапония)	534
2019	Coinbene (Сингапур)	105
2020	KuCoin (Қытай)	280

Жоғарыда айтылғандардың бәріне қарамастан, мұндай шабуылдар сирек емес. Мысалы, 2018 жылы осындай шабуыл тіркелді, оның барысында ЦКВ ZenCash шабуыл жасады. Шабуыл кезінде қос шығындар 550 мың АҚШ долларын, ал шығындар шамамен 33 мың АҚШ долларын құрады. Осындай шабуылдар KB Verge, Bitcoin Gold және electron EU m-де тіркелді [4].

ЦКВ нарығына көптеген ықтимал шабуылдар тек гипотетикалық түрде мүмкін, сондықтан оларды жүргізу бұзышудан үлкен ресурстарды қажет етеді. Дегенмен, DDOS және фишингтік шабуылдар сияқты дәстүрлі шабуылдар ЦКВ курстарының орнықсыздыққа әкелуі мүмкін. Бұл өз кезегінде Форексте қолданыла алады, онда қысқа позицияларды ашуға, мәмілелерді тез ашуға және тәуекелдерді хеджирлеуге болады. Шабуылдаушыларға бір тиімді шабуыл жасау жеткілікті, сондықтан ЦКВ арзандайды. Жарқын мысал - Mt.Gox, қаскүнемдер биржадан 650 мың BTC-ні абайлап алып шыққан кезде. Жоғарыда айтылғандардың барлығы ЦКВ нарығының киберқауіпсіздігін бағалаудың жаңа әдістері мен модельдерін дамыту бағытында жаңа зерттеулердің өзектілігін анықтайды, мысалы, нейрондық желілерді, ойын теориясын және бұлыңғыр логиканы қолдану негізінде.

ЦКВ нарығындағы тәуекелдерге арналған басылымдарды талдау [2, 3] мәміленің инвесторы үшін сәттілік пен кірістілік негізінен әлеуетті тәуекелдерді, соның ішінде биржалық қызметтердің ақпараттық қауіпсіздігіне байланысты түсіну мен көзқараспен анықталатынын көрсетті. ЦКВ-мен байланысты мәселелерді зерттеудің бұл аспектісі зерттеу міндеттері аясында ерекше қызығушылық тудырады. Тиісінше, қазіргі зерттеу аясында жан-жақты зерттеуге лайық.

Материалдар және зерттеу әдістері. ЦКВ нарығындағы тәуекелдердің өзіндік практикалық және теориялық маңызы бар. Тәуекелдер басқару теориясы мен тәжірибесінің маңызды құрамдас бөлігі болғандықтан.

ЦКВ нарығымен байланысты тәуекелдер, соның ішінде технологиялық тәуекелдер күрделі құбылыс. ЦКВ нарығының тәуекелдерінің негізінде көптеген сәйкес келмейтін және көбінесе қарама-қарсы нақты факторлар жатыр. Бұл ЦКВ нарығы үшін тәуекелдердің әртүрлі анықтамаларының болуын және нарықтың әр түрлі қатысушыларының позициясын анықтайды.

Жұмыста келтірілген тәуекелді түсіндіруді талдау [2] келесі сипаттамалық ерекшеліктерді анықтауға мүмкіндік берді:

- ЦКВ нарықтарына тән белгісіздіктің болуы;
- ЦКВ нарығындағы ойыншылар үшін инвестициялаудың балама нұсқаларының мүмкіндігі;
- мәміле бойынша нәтижелерді алдын ала талдау мүмкіндігі;
- мәмілелер бойынша шығындардың пайда болуының жеткілікті жоғары дәрежесі;
- жоғары пайда алу ықтималдығы;
- және т.б.

ЦКВ нарығында мәмілелерді жүзеге асыру кезінде тәуекелдерді бағалау мәселелерін қозғаған басылымдарды талдау негізінде [1, 3] ЦКВ-мен мәмілелер бойынша тәуекелдерді бағалау үшін қолданылатын жекелеген математикалық әдістер мен модельдердің артықшылықтары мен кемшіліктерін қамтитын келесі жиынтық кесте құрылды, 2-кестені қараңыз.

2-кесте. ЦКВ нарығындағы операцияларға тән тәуекелдерді бағалауға арналған әдістер мен модельдерді салыстырмалы талдау.
Автор құрастырған ([2, 3, 12-20] мәліметтері бойынша)

№	Әдіс/Модель	Артықшылықтары	Кемшіліктері
1	2	3	4
1	ЦКВ инвестициялау тәуекелдерін талдаудың статистикалық әдістері мен модельдері	1) ЦКВ нарығындағы мәміле нұсқаларын талдауға және бағалауға және бір тәсіл шегінде көптеген тәуекел факторларын ескеруге мүмкіндік береді; 2) ғылыми әдебиеттерде жақсы зерттелген және сипатталған.	1) ықтималдық сипаттамаларын пайдалану қажеттілігі; 2) ойыншы талдау объектісіне қатысты статистикалық ақпараттың жеткілікті көлеміне ие болған жағдайда ғана қолдануға болады және ақталады.
2	Шығындардың (инвестициялардың) орындылығын талдауға негізделген әдістер мен модельдер	1) осы әдіске және тиісті үлгілерге сәйкес тәуекел деңгейлерін айқындау ЦКВ-мен мәмілелер кезінде тәуекелдердің әлеуетті аймақтарын сәйкестендіруге бағдарланған; 2) ғылыми әдебиеттерде жақсы зерттелген және сипатталған.	1) тәуекел шамасы тұтас шама ретінде қабылданса, тиісінше мәміле тәуекелінің көп құрамдас бөлігі қаралмайды; 2) ЦКВ нарығында барлық тәуекел факторларын егжей-тегжейлі есепке алу бойынша мүмкіндіктер жоқ.
3	Сараптамалық бағалау әдістері	1) іске асырудың қарапайымдылығы; 2) әдістеме жақсы пысықталған және бағалауды жүргізуге арналған бағдарламалық құрал бар.	1) субъективті сипатқа ие; 2) тәуекелге сараптамалық зерттеу жүргізудің барлық кезеңдерін дайындауға және іске асыруға үлкен уақыт шығындары; 3) сарапшылар арасында коммуникацияның болмауы қиын жағдайларда сарапшылардың пікірлерін келісу кезінде қателіктерге әкелуі мүмкін.
4	Аналогтарды қолдану әдісі	1) қарапайымдылық және жылдам нәтиже; 2) прецеденттерге сүйенеді; 3) прецеденттердің көбеюі тәуекелдерді талдауға үлкен негіз береді.	1) Жаңа ЦКВ үшін аналогтарды табу және бағалау қиын; 2) Егер аналогтар болмаса, онда ЦКВ нарығында барлық тәуекел факторларын егжей-тегжейлі есепке алу мүмкіндігі жоқ.

2-кестенің жалғасы

1	2	3	4
5	ЦКВ нарығындағы тәуекелдерді бағалаудың аналитикалық әдістері	Үлкен әртүрлілік, бұл оларды тәуекелдерді бағалау үшін қолданылатын әртүрлі бағдарламалық платформалар үшін тартымды етеді.	Көптеген модельдер ЦКВ нарығында оқытылмаған ойыншылардың қабылдауы үшін жеткілікті күрделі.
5.1	Ықтималдық	1) ЦКВ нарығында сценарийлердің толық спектрін талдау мүмкін; 2) теңдестірілген тәсілдер; 3) ЦКВ нарығының элементтері арасындағы өзара тәуелділіктер айқын түрде ескеріледі; 4) белгісіздіктердің тәуекелдерді қорытынды бағалауға әсерін сандық түрде анықтауға болады.	1) тәуекелдерді талдау кезінде үлкен еңбек шығындары; 2) үлкен белгісіздік салдарынан бірқатар жағдайларда қолайлы нәтижелерді алу қиын.
5.2	Детерминистік	1) тәуекелдердің барлық аспектілері айқын түрде қаралады; 2) осы әдіс шеңберіндегі әдебиеттерде жақсы сипатталған модельдер.	1) есептеу ресурс тарына қойылатын артық талаптар; 2) нарықтағы ойыншылардың әрекеттеріне тәуелділікке байланысты кейбір мәселелер шешілмеген; 3) тәуекелдерді есептеу кезіндегі белгісіздіктер жүйелі түрде талданбайды.
5.3	Шешім ағашы	1) тәуекелдерді бағалаудың барлық бөлшектерін дәл графикалық түрде ұсыну қамтамасыз етіледі; 2) мәселені шешудің ең жақсы жолдарын анықтауға болады.	1) талдау қиын 2) үлкен ағаштар; 3) шешім ағашының диаграммасын қолдану көбінесе ЦКВ нарығындағы жағдайды тым жеңілдетуге әкеледі.
5.4	Имитациялық модельдеу	1) тәуекелдерді талдау кезінде нәтижелерді қарапайым қабылдау; 2) әдістер мен модельдерді кіріс деректерін кез келген үлестіруге бейімдеу мүмкіндігі; 3) тәуекелге әсер ететін факторлар арасындағы кез келген өзара байланыстар мен өзара іс-қимылдарды ескеру мүмкіндігі.	1) тәуекелді модельдеу үшін статистикалық деректерді жинау қиын; 2) есептеулерде пайдаланылатын айнымалыларды бөлу функцияларын таңдау кезіндегі түсініксіздік; 3) барабар модельдеу моделін жасау қиын; 4) шешімнің дәлдігі Итерация санына тура пропорционал; 5) пайда болу ықтималдығы өте жоғары немесе төмен оқиғаларды барабар модельдеу мүмкін емес.

2-кестенің соңы

1	2	3	4
5.5	Бұлыңғыр логиканы (БЛ) қолдануға негізделген тәуекелдерді бағалау	1) тәуекелдерді бағалаудың қолданыстағы әдістерінің кемшіліктері мен шектеулерін еңсереді; 2) анық емес кіріс деректерімен де, лингвистикалық критерийлермен де жұмыс істеуге болады.	1) тиістілік функцияларын таңдау және тәуекелдерді бағалау кезінде анық емес енгізу қағидаларын қалыптастыру кезіндегі субъективтілік; 2) арнайы бағдарламалық жасақтаманың қажеттілігі.

2-кестеде жүргізілген талдау көрсеткендей, тәуекелдерді бағалау жүйелері мен модельдері, соның ішінде БЛ аппаратын қолдану негізінде құрылған ЦКВ нарығы үшін логикалық және жоғары тұрақтылықпен сипатталуы мүмкін. Бұл, әсіресе, инвесторлар үшін тәуекелдерді талдау нарықтағы жағдай туралы бастапқы деректер мен білімнің жетіспеушілігі жағдайында жүзеге асырылатын ЦКВ нарығына тән жағдайлар үшін өте маңызды. Бұл жағдайда НЛ аппараты сарапшыларға ЦКВ-ға инвестициялау тәуекелдерін бағалаудың мәніне назар аударуға мүмкіндік береді. Өз кезегінде, мұндай талдау нарықтың негізгі факторлары, жеке көрсеткіштер мен факторлар арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды қарастыруды қамтиды.

Нәтижелері және оларды талқылау. Мысалы, 1-суретте БЛ математикалық аппаратын қолдануға негізделген ЦКВ биржасы қызметтерінің ақпараттық қауіпсіздігінің тәуекелдерін қарапайым талдау схемасы келтірілген.

1-суретте көрсетілген құрылым жоғары көтермелі болып табылады. Бұл құрылымның негізінде ЦКВ нарығына тән жеке тәуекелдер жатыр. Содан кейін анықталған тәуекелдер (және мұндай анықтау, мысалы, сараптамалық әдістерді қолдану арқылы алынуы мүмкін) ЦКВ саудасымен айналысатын жеке биржалар деңгейінде топтастырылады. Бұл ЦКВ-ға инвестициялауға байланысты АҚ-ның негізгі тәуекелдерін анықтауға мүмкіндік береді. Дәл осы тәуекелдерге ЦКВ нарығындағы трендтерді болжауға маманданған жеке инвесторларға да, талдаушыларға да назар аударуға болады.

1-суретте көрсетілген нарықтағы АҚ тәуекелдерін бағалаудың иерархиялық құрылымы қаржы нарықтарына тән тәуекелдердің басқа түрлерімен салыстырылуы мүмкін. Егер ЦКВ нарығындағы тәуекелдердің әрқайсысының әсерін талдау кезінде қолданылатын өлшем бірліктерін бірыңғай параметрге бейімдеу мүмкін болса, мысалы, дұрыс емес инвестициялау стратегиясын таңдағанда және АҚ тәуекелдерін ескермегенде инвесторға зиян келтіру немесе қаржы ресурстарын жоғалту ықтималдығы.

БЛ аппаратының тәуекелдерін бағалау үшін пайдаланылған жағдайда, жиынтық залалдар анық емес жиындарды анық емес сандарға түрлендіру нәтижелері негізінде болжануы немесе анықталуы мүмкін (мысалы, ойын моделін пайдалану кезінде). Бұлыңғыр логикалық модельдер АҚ-ке қауіп төнген жағдайда және хакерлер КВБ үшін қызметтерді қорғаудағы олқылықтарды пайдаланған жағдайда ЦКВ-дағы инвесторлардың жалпы шығындарын сипаттай алады. Сонымен қатар, ЦКВ-ға инвестициялауға бағытталған қаржы ресурсын жоғалтудың негізгі тәуекелін анықтаудан басқа, сіз БЛ аппаратының көмегімен белгілі бір тәуекелдің себептерін сипаттай аласыз, мысалы, 1-суретте көрсетілген тәуекелдер тобынан. Бұл ақпаратты өз тәуекелдерін азайтуға тырысатын әлеуетті инвестор басшылыққа ала алады.



1-сурет. ЦКВ-мен операцияларға тән тәуекелдерді бағалаудың құрылымдық схемасы (автор сараптамалық әдістер мен БЛ аппаратын біріктіруге негізінде әзірлеген)

КВБ-ны бұзудан басқа, зиянкестер әлеуметтік инженерия әдістерін жиі қолдана бастады. Бұл көбінесе нәтиже береді, әсіресе киберкылмыскерлерге ЦКВ нарығындағы жаңадан келген ойыншы қарсы болған кезде.

Мұндай шабуылдардан қорғану өте қиын және ең сенімді әдіс-нарықтағы ойыншылардың сауаттылығын арттыру және ЦКВ-мен операциялар жасау кезінде әдеттегі қырағылық.

КВБ-ға бағытталған шабуылдардың саны артуы мүмкін, өйткені шабуылдаушылар сәтті шабуылды жүзеге асыру барысында өте үлкен сыйақы ала алады.

Киберқауіпсіздік саласындағы жетекші компаниялар әзірге КВБ қызметіне байланысты киберқауіптердің жаңа ландшафтын қалыптастыра бастағанын ескеріңіз. Ал КВБ жасаушылар ЦКВ-пен мәмілелер бойынша жылдам пайданы артық көре отырып, ДБ АҚ-ға инвестиция салуға әлі дайын емес.

Қорытындылар. Осылайша, жұмыста осындай негізгі нәтижелер алынды:

1) тәуекелдерді бағалау үшін қолданылатын әдістер мен модельдерге, оның ішінде ЦКВ ақпараттық қауіпсіздігіне байланысты және тиісті КВБ-ға шолу және талдау жасалды;

2) бұл нарыққа деген қызығушылық салыстырмалы түрде аз уақыт ішінде тез өсетіні көрсетілген. Сонымен қатар, бүгінде көптеген мемлекеттер мен олардың қаржы ұйымдары, мысалы, банктер, несиелік және сақтандыру компаниялары өз активтерінде ЦКВ-ға ие;

3) КВБ қызметін қамтамасыз ететін электрондық сервистердің АҚ қамтамасыз ету міндетін шешудің аралас әдістерін дамытуды көздейтін бағыт перспективалы болып табылатыны анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Ertz, M., & Boily, É. The rise of the digital economy: Thoughts on blockchain technology and cryptocurrencies for the collaborative economy // *International Journal of Innovation Studies*, 2019, no. 3(4). – Pp. 84-93.
2. Bunjaku, F., Gjorgieva-Trajkovska, O., & Miteva-Kacarski, E. Cryptocurrencies—advantages and disadvantages // *Journal of Economics*, 2017. – No. 2(1). – Pp. 31-39.
3. Sapovadia, V. Legal issues in cryptocurrency // In *Handbook of Digital Currency Academic Press*. 2015. – Pp. 253-266.
4. Haynes, A., & Yeoh, P. *Cryptocurrencies and Cryptoassets: Regulatory and Legal Issues* // Taylor & Francis. 2020.
5. T. Zoumpikas, E. Houstis, and M. Vavalis, Eth analysis and predictions utilizing deep learning // *Expert Systems with Applications*, 2020. – Vol. 162. – P. 113866.
6. Mallqui, D. C., & Fernandes, R. A. Predicting the direction, maximum, minimum and closing prices of daily Bitcoin exchange rate using machine learning techniques // *Applied Soft Computing*, 2019. – No. 75. – Pp. 596-606.
7. Mannaro, K., Pinna, A., & Marchesi, M. Crypto-trading: Blockchain-oriented energy market // In *2017 AEIT International Annual Conference IEEE*. 2017, September. – Pp. 1-5.
8. Kim, C. Y., & Lee, K. Risk management to cryptocurrency exchange and investors guidelines to prevent potential threats // In *2018 international conference on platform technology and service (PlatCon) IEEE*. 2018, January. – Pp. 1-6.
9. Almaqableh, L., Reddy, K., Pereira, V., Ramiah, V., Wallace, D., & Veron, J. F. An investigative study of links between terrorist attacks and cryptocurrency markets // *Journal of Business Research*, 2022. – No. 147. – Pp. 177-188.
10. Caporale, G.M., Kang, W.Y., Spagnolo, F., & Spagnolo, N. *Cyber-attacks and cryptocurrencies* // CESifo Working Paper. 2020. – No. 8124.
11. Аксенова, Н.И., & Спиридонова, Е.А. Криптовалютный рынок: потенциал, риски и драйверы развития // *Закономерности и тенденции формирования системы финансово-кредитных отношений*, 2021. – С. 4-23.
12. Alkhalifah, A., Ng, A., Kayes, A.S. M., Chowdhury, J., Alazab, M., & Watters, P.A. A taxonomy of blockchain threats and vulnerabilities. In *Blockchain for Cybersecurity and Privacy* // CRC Press. 2020. – Pp. 3-28.
13. Alvarez-Ramirez, J., Rodriguez, E., & Ibarra-Valdez, C. Long-range correlations and asymmetry in the Bitcoin market // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018. – No. 492. – Pp. 948-955.
14. Ding, Y., & Chen, W. Probing the Mystery of Cryptocurrency Exchange: The Case Study Based on Mt. Gox // In *2022 International Conference on Service Science (ICSS) IEEE*. 2022, May. – Pp. 297-304.
15. Boireau, O. Securing the blockchain against hackers // *Network Security*, 2018. – No. 2018(1). – Pp. 8-11.
16. Hu, J., Luo, Q., & Zhang, J. The fluctuations of bitcoin price during the hacks // *International Journal of Applied Research in Management and Economics*, 2020, no. 3(1). – Pp. 10-20.
17. Astrakhantseva, I., Astrakhantsev, R., & Los, A. Cryptocurrency fraud schemes analysis // In *SHS Web of Conferences*. EDP Sciences. 2021, Vol. 106. – P. 02001.
18. Andryukhin, A.A. Phishing attacks and preventions in blockchain based projects. In *2019 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*. IEEE. 2019, March, pp. 15-19.
19. Aggarwal, S., & Kumar, N. Attacks on blockchain // In *Advances in Computers*, 2021, Vol. 121. – Pp. 399-410.
20. Mrazek, K., Holton, B., Cathcart, C., Speirer, J., Do, J., & Mohd, T. K. Risks in Blockchain—A Survey about Recent Attacks with Mitigation Methods and Solutions for Overall // In *2022 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT)*, IEEE. 2022, May. – Pp. 5-10.

References

1. Ertz, M., & Boily, É. The rise of the digital economy: Thoughts on blockchain technology and cryptocurrencies for the collaborative economy // *International Journal of Innovation Studies*, 2019, no. 3(4). – Pp. 84-93.

2. Bunjaku, F., Gjorgieva-Trajkovska, O., & Miteva-Kacarski, E. Cryptocurrencies-advantages and disadvantages // *Journal of Economics*, 2017. – No. 2(1). – Pp. 31-39.
 3. Sapovadia, V. Legal issues in cryptocurrency // In *Handbook of Digital Currency Academic Press*. 2015. – Pp. 253-266.
 4. Haynes, A., & Yeoh, P. *Cryptocurrencies and Cryptoassets: Regulatory and Legal Issues* // Taylor & Francis. 2020.
 5. T. Zoumpakas, E. Houstis, and M. Vavalis, Eth analysis and predictions utilizing deep learning // *Expert Systems with Applications*, 2020. – Vol. 162. – P. 113866.
 6. Mallqui, D. C., & Fernandes, R. A. Predicting the direction, maximum, minimum and closing prices of daily Bitcoin exchange rate using machine learning techniques // *Applied Soft Computing*, 2019. – No. 75. – Pp. 596-606.
 7. Mannaro, K., Pinna, A., & Marchesi, M. Crypto-trading: Blockchain-oriented energy market // In *2017 AEIT International Annual Conference IEEE*. 2017, September. – Pp. 1-5.
 8. Kim, C. Y., & Lee, K. Risk management to cryptocurrency exchange and investors guidelines to prevent potential threats // In *2018 international conference on platform technology and service (PlatCon) IEEE*. 2018, January. – Pp. 1-6.
 9. Almaqableh, L., Reddy, K., Pereira, V., Ramiah, V., Wallace, D., & Veron, J. F. An investigative study of links between terrorist attacks and cryptocurrency markets // *Journal of Business Research*, 2022. – No. 147. – Pp. 177-188.
 10. Caporale, G.M., Kang, W.Y., Spagnolo, F., & Spagnolo, N. *Cyber-attacks and cryptocurrencies* // CESifo Working Paper. 2020. – No. 8124.
 11. Akseonova, N.I., & Spiridonova, E.A. Kriptovalyutnyj rynek: potencial, riski i drajvery razvitiya // *Zakonomernosti i tendencii formirovaniya sistemy finansovo-kreditnyh otnoshenij*, 2021. – C. 4-23.
 12. Alkhalifah, A., Ng, A., Kayes, A.S. M., Chowdhury, J., Alazab, M., & Watters, P.A. A taxonomy of blockchain threats and vulnerabilities. In *Blockchain for Cybersecurity and Privacy* // CRC Press. 2020. – Pp. 3-28.
 13. Alvarez-Ramirez, J., Rodriguez, E., & Ibarra-Valdez, C. Long-range correlations and asymmetry in the Bitcoin market. // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018. – No. 492. – Pp. 948-955.
 14. Ding, Y., & Chen, W. Probing the Mystery of Cryptocurrency Exchange: The Case Study Based on Mt. Gox // In *2022 International Conference on Service Science (ICSS) IEEE*. 2022, May. – Pp. 297-304.
 15. Boireau, O. Securing the blockchain against hackers // *Network Security*, 2018, no. 2018(1). – Pp. 8-11.
 16. Hu, J., Luo, Q., & Zhang, J. The fluctuations of bitcoin price during the hacks // *International Journal of Applied Research in Management and Economics*, 2020, no. 3(1). – Pp. 10-20.
 17. Astrakhantseva, I., Astrakhantsev, R., & Los, A. Cryptocurrency fraud schemes analysis // In *SHS Web of Conferences*. EDP Sciences. 2021, Vol. 106. – P. 02001.
 18. Andryukhin, A.A. Phishing attacks and preventions in blockchain based projects. In *2019 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)*. IEEE. 2019, March. – Pp. 15-19.
 19. Aggarwal, S., & Kumar, N. Attacks on blockchain // In *Advances in Computers*, 2021, Vol. 121. – Pp. 399-410.
 20. Mrazek, K., Holton, B., Cathcart, C., Speirer, J., Do, J., & Mohd, T. K. Risks in Blockchain—A Survey about Recent Attacks with Mitigation Methods and Solutions for Overall // In *2022 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT)*, IEEE. 2022, May. – Pp. 5-10.
-
-

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_124
MPHTI 20.23.27

Н.Ф. Денисова¹, Е.М. Федькин², Е.Ж. Машаев³, Д.А. Спивак⁴, О.А. Петрова⁵

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

¹E-mail: NDenisova@edu.ektu.kz*

²E-mail: Evgeny.Fedkin@ektu.kz

³E-mail: YMashayev@edu.ektu.kz

⁴E-mail: DSpivak@edu.ektu.kz

⁵E-mail: OPetrova@edu.ektu.kz

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АКТИВНОСТИ ЛАВИНОСБОРОВ В ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ҚАР КӨШКІНІ БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІ ҮШІН ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ЖОБАЛАУ

DESIGNING A DATABASE FOR AN AVALANCHE ACTIVITY MONITORING SYSTEM IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION

Аннотация. Для проведения мониторинга и прогнозирования лавинной активности необходима обработка больших данных, причем формирование данных может происходить из разных источников: метеорологические данные из открытых баз данных (БД) регионального уровня – Национальной гидрометеорологической службы Казахстана, международного уровня – World Weather Information Service, данные спутников Sentinel (Европейского космического агентства), данные с оперативных журналов ТОО «Казселезащита», данные приборов учетов, установленных на лавинных участках, метаданные (фото, видео материалы и 3D-модели склонов) и другие.

Важной задачей для дальнейшего прогнозирования лавинной активности является правильное проектирование БД лавиносборов. В данном исследовании спроектирована инфологическая модель БД, что позволит в дальнейшем применять традиционные методы прогнозирования схода лавин и методов машинного обучения.

В результате нами были выявлены информационные объекты (сущности) и построена инфологическая модель БД (ER-диаграмма), на основе которых спроектирована БД для системы мониторинга и прогнозирования лавинной активности ВКО. Также определены источники данных и технологии получения данных.

Ключевые слова: лавиносбор, база данных, инфологическая модель, система мониторинга, ER-диаграмма

Аңдатпа. Көшкін белсенділігіне мониторинг жүргізу және болжау үшін көлемді мәліметтерді өңдеу қажет, бұл ретте мәліметтердің қалыптасуы әртүрлі көздерден болуы мүмкін: өңірлік деңгейдегі – Қазақстанның Ұлттық гидрометеорологиялық қызметінің ашық мәліметтер базасынан (МБ), халықаралық деңгейдегі – World Weather Information Service метеорологиялық деректері, Sentinel (Еуропалық ғарыш агенттігі) спутниктерінің деректері, «Қазселденқорғау» ЖШС жедел журналдарынан алынған мәліметтер, көшкін учаскелерінде орнатылған есепке алу приборлардан мәліметтері, метамәліметтер (фото, видео материалдар және беткейлердің 3D модельдері) және басқалары.

Қар көшкіні белсенділігін одан әрі болжаудың маңызды міндеті – қар көшкіні жинақтағыштарының дерекқорын дұрыс жобалау болып табылады. Бұл зерттеуде көшкіннің түсуін болжаудың дәстүрлі әдістерін және машиналық оқыту әдістерін одан әрі қолдануға мүмкіндік беретін МБ инфологиялық моделі жобаланды.

Нәтижесінде ақпараттық объектілер (нысандар) анықталынып және МБ инфологиялық моделі (ER - диаграмма) құрылды, олардың негізінде ШҚО көшкін белсенділігінің мониторингі және

болжау жүйесі үшін МБ әзірленді. Және де мәліметтер көздері мен мәліметтерді алу технологиялары анықталды.

Түйін сөздер: көшкін жинақтағыш, мәліметтер базасы, инфологиялық модель, мониторинг жүйесі, ER-диаграмма

Abstract. To monitor and predict avalanche activity, big data processing is necessary, and data formation can occur from different sources: meteorological data from open databases (DB) of the regional level – the National Hydrometeorological Service of Kazakhstan, international level - World Weather Information Service, Sentinel satellite data (European Space Agency), data from operational logs of LLP Kazselezashchita, data from metering devices installed on avalanche sites, metadata (photo, video materials and 3D models of slopes) and others.

An important task for further forecasting of avalanche activity is the correct design of the avalanche collection database. In this study, an infological database model has been designed, which will allow further application of traditional methods of avalanche forecasting and machine learning methods.

As a result, we identified information objects (entities) and built an infological database model (ER diagram), on the basis of which a database was designed for a system for monitoring and forecasting avalanche activity in East Kazakhstan region. Data sources and data acquisition technologies have also been identified.

Keywords: avalanche-prone area, database, infological model, monitoring system, ER-diagram

Введение. Одной из самых опасных ситуаций, которые могут происходить в горной местности в зимний период, является сход снежных лавин. Сход снежных лавин может повлечь значительный экономический ущерб и привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. В связи с этим возникает задача мониторинга и прогнозирования схода лавин.

Природа схода лавин определяется взаимосвязью между складывающимися метеорологическими условиями местности и свойствами снежного покрова на склоне. Устойчивость снежного покрова зависит от сцепления между снежными слоями. Качество сцепления может изменяться под воздействием различных факторов: температуры, ветра, влажности и др. Анализ этих зависимостей позволяет понять механизмы, приводящие к сходу снежных лавин, и на их основе повысить качество прогноза при проведении мониторинга.

Разработка системы мониторинга лавинной опасности должна основываться на сборе большого набора данных, требуемых для проведения прогнозирования схода снежных лавин. В большинстве случаев сбор данных производится ручным способом, что не позволяет собирать информацию в режиме реального времени и увеличивает вероятность ошибок при измерении. В связи с этим автоматизация сбора данных является важным этапом в создании системы мониторинга и прогнозирования лавинной опасности.

Сбор данных для систем мониторинга и прогнозирования схода снежных лавин должен осуществляться из разрозненных источников:

- сеть метеостанций, которые производят сбор данных по метеорологическим условиям в районе наблюдения [1];
- спутниковые данные (World Weather Information Service, Sentinel) [2];
- открытые источники данных, которые могут предоставлять данные посредством прикладного программного интерфейса (API) (данные Национальной гидрометеорологической службы Казахстана) [3];
- фото и видеоматериалы, полученные из различных источников (спутниковые снимки, системы фото-видеофиксации, установленные на участках схода лавин, 3D-модели с БПЛА и др.) [4-6];
- оперативные данные со специальных датчиков в местах схода лавин [7-9];
- альбомы и перечни лавиноопасных участков, составляемые профильными организациями, на которые возлагается контроль за лавиноопасной ситуацией [10].

Указанные источники данных являются основными для создания систем мониторинга и прогнозирования схода лавин. Помимо них могут использоваться и другие специфические источники, которые позволяют повысить качество мониторинга и прогнозирования лавиноопасной ситуации [1].

На сегодня существует множество методов, которые применяются для прогнозирования схода снежных лавин [1]:

- традиционные методы, которые предполагают использование алгоритмов прогнозирования лавинной активности на основе некоторой математической модели. Применение данных методов связано со сложностью их реализации, так как разрабатываемые математические модели не имеют четких математических зависимостей и для их применения требуются данные, поступающие в режиме реального времени;

- методы машинного обучения, которые строятся на основе большого набора исходных данных, собранных в рамках наблюдения за лавиносборами. Данные методы позволяют выявить новые, неявные зависимости между данными наблюдения и, как следствие, решить большой спектр нестандартных задач, которые возникают при прогнозировании лавинной активности.

Литературный обзор. Так как задача прогнозирования лавинной опасности является актуальной и очень востребованной для многих стран, то на сегодняшний день данными исследованиями и разработкой автоматизированных систем занимаются почти во всем мире. Среди разработанных систем мониторинга можно отметить созданную исследователями из Франции [11] комплексную веб-систему мониторинга лавинной опасности. Авторы рекомендуют использовать для прогноза три набора данных: хронику лавин (Enquête Permanente sur les Avalanches, EPA), карты лавин (Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche, CLPA) и подборку данных об опасностях для населенных пунктов. Данные интегрированы в общую БД, что обеспечивает полную совместимость между всеми типами записей о снежных лавинах: оцифрованные географические данные, характеристики лавин, отчеты очевидцев, фотографии, уровни опасности и риска.

Анализ лавин на основе данных дистанционного зондирования и детальной полевой съемки предлагают авторы из Китая Bian R, Huang K, Liao X, Ling S, Wen H and Wu X. Исследователи изучили центральную часть гор Шалули, провинция Сычуань, Китай [12]. Для прогноза авторы использовали две статистические модели (функцию достоверности фактических данных (EBF) и коэффициент достоверности (CF)) в сочетании с двумя моделями машинного обучения (логистическая регрессия (LR) и многослойный перцептрон (MLP)), на основе которых были созданы четыре интегрированные модели (EBF-LR, CF-LR, EBF-MLP и CF-MLP), а также традиционная модель отношения частот (FR) для оценки лавинной восприимчивости [12].

Многие исследователи используют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) со спутника Sentinel-1. Так авторы Yang J., Li C., Li L., Ding J., Zhang R., Han T., Liu Y. [13] в рамках своего исследования выполнили оценку лавинной опасности на основе анализа изображений, полученных со спутника Sentinel-1. Для прогнозирования схода лавин в горах Западного Тянь Шаня (Китай) авторами разработана математическая модель, включающая 6 индексов. В работе авторов Markus Eckerstorfer, Hannah Vickers, Eirik Malnes and Jakob Grahn представлена автоматическая система мониторинга лавин, работающая в реальном времени. Данная система обнаруживает лавиноопасность сопоставляя данные изображений Sentinel-1 за пять лет на территории в Северной Норвегии [14].

Непрерывный мониторинг снежных лавин показан в работе [15] авторов James Fox, Anna Siebenbrunner, Sandra Reitingner, David Peer, Antonio Rodriguez-Sanchez. В статье описываются методы дистанционного обнаружения лавин с уточнением данных ДЗЗ в связи с длительным интервалом их получения со спутников Sentinel-1. В этом исследо-

вании предлагается новый подход к автоматизации обнаружения лавин посредством анализа видеопотоков с веб-камер с помощью модуля глубокого обучения.

Авторы Edme P., Paitz P., Walter F., van Herwijnen A., Fichtner A. [16] для исследования возможности схода лавин предлагают использовать данные распределенного акустического зондирования на основе оптоволоконных телекоммуникационных кабелей.

Способ прогнозирования снежной лавины, основанный на применении инфразвуковых волн, приводится исследователями Marchetti E., Ripere M., Olivieri G., Kogelnig A. в работе [17]. Предлагаемая методика основана на оценке пороговых критериев источников инфразвуковых волн и определения на их основе возможных сходов лавин.

Проанализировав международные исследования, можно сделать вывод, что одной из проблем для прогнозирования схода лавин является сбор и обработка данных из широкого круга источников. То есть важной задачей является проектирование базы или хранилища данных.

Материалы и методы исследования. Важным этапом в разработке системы мониторинга лавинной опасности, является создание БД. БД является совокупностью связанных данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными. Разработка концептуальной модели БД основана на анализе предметной области, выявлении сущностей и их атрибутов.

В ходе изучения существующих на сегодняшний день лавиносборов Восточно-Казахстанской области нами были определены следующие информационные сущности: район, лавинный участок, лавиносбор, метеоданные, морфологический тип, тип экспозиции склона, тип растительного покрова, растительный покров лавиносбора, степень лавинной опасности, прибор, параметр наблюдения, данные наблюдения, профилактические спуски, самосходы.

Результаты и обсуждения. В настоящей работе рассмотрены выявленные нами информационные сущности для разработки концептуальной модели с целью мониторинга лавинной опасности. Как было указано выше, нами были выделены следующие информационные сущности:

- Район – сведения о районе, где находятся лавиноопасные участки;
- Лавинные участки – данные по лавиноопасному участку в каком-либо районе Восточно-Казахстанской области;
- Лавиносбор – описание участка горного склона и дна долины, на котором образуется, движется и останавливается снежная лавина; имеет морфометрические показатели, такие как: длина, ширина, объем и крутизна склона, пространственные характеристики (геодезические координаты и экспозиция склона), морфологический тип, описание поверхности склона и растительного покрова. Все перечисленные показатели в совокупности с метеоданными влияют на вероятность схода снежных лавин;
- Тип экспозиции склона – описание типа пространственного расположения (по отношению к сторонам света) склона горы, горного хребта или холма;
- Тип растительного покрова – информация о возможном составе и структуре растительного покрова горных склонов: растений, кустарников и деревьев;
- Растительный покров лавиносбора – информация о типе растительного покрова, который имеется на определенном лавиносборе;
- Степень лавинной опасности – информация о вероятности схода лавин и периоде повторяемости их схода в течение года. Определенному диапазону этих параметров соответствует цифра от 1 до 4, означающая степень опасности;
- Морфологический тип – данные по типам морфологии склонов;
- Метеоданные – набор метеоданных в разрезе временного промежутка и района, которые влияют на вероятность схода снежных лавин;

- Прибор – информация по прибору наблюдения, который устанавливается на определенном лавиносборе для сбора данных наблюдения за лавинной опасностью;
- Параметр наблюдения – описание параметра наблюдения, которые могут быть получены с использованием приборов;
- Данные наблюдения – информация о полученных данных с какого-либо прибора в разрезе времени и типа параметра;
- Профилактические спуски – информация о проведенных профилактических спусках лавин на лавиносборе;
- Самосходы – сведения о произошедших самопроизвольных сходах лавин в лавиносборах;
- Визуальные материалы – визуальные материалы (фото, видео, спутниковые снимки, 3D-модели и др.), используемые для анализа и моделирования лавинной опасности;
- Привязка визуальных материалов к лавиносбору – привязка визуального материала к определенным лавиносборам.

Для информационных сущностей нами был определен их атрибутивный состав. Пример перечня атрибутов сущностей приведен в табл. 1.

Таблица 1. Пример атрибутивного состав информационных сущностей

Сущность	Атрибут	Описание атрибута	Тип
Район	Идентификатор района	Идентификатор сущности	Целое
	Наименование района	Текстовое наименование района	Строка
Лавинный участок	Идентификатор лавинного участка	Идентификатор сущности	Целое
	Идентификатор района	Идентификатор района нахождения лавинного участка	Целое
	Наименование лавинного участка	Текстовое наименование лавинного участка	Строка
	Идентификатор степени лавиноопасности	Идентификатор степени лавиноопасности, который характеризует периодичность и вероятность схода лавины для данного лавинного участка	Целое
	Идентификатор лавинного участка	Идентификатор сущности	Целое
Лавиносбор	Идентификатор лавиносбора	Идентификатор сущности	Целое
	Идентификатор лавинного участка	Идентификатор лавинного участка, в состав которого входит лавиносбор	Целое
	Наименование лавиносбора	Текстовое наименование лавиносбора	Строка
	Северная широта	Координата северной широты расположения лавиносбора	Числовой
	Восточная долгота	Координата восточной долготы расположения лавиносбора	Числовой

Окончание табл. 1

Сущность	Атрибут	Описание атрибута	Тип
Лавиносбор	Высота над уровнем моря	Высота над уровнем моря в метрах, на которой расположен лавиносбор	Числовой
	Идентификатор степени	Идентификатор степени лавиноопасности, который характеризует	Целое
	Морфологический тип	Идентификатор морфологического типа для данного лавиносбора	Целое
	Тип экспозиция склона	Идентификатор типа экспозиции склона для данного лавиносбора	Целое
	Крутизна склона	Угол крутизны склона лавиносбора	Целое
	Длина лавиносбора	Длина лавиносбора в метрах	Числовой
	Ширина лавиносбора	Ширина лавиносбора в метрах	Числовой
	Длина лотка	Длина лотка лавиносбора в метрах	Числовой
	Ширина лотка (м)	Ширина лотка лавиносбора в метрах	Числовой
	Описание поверхности	Краткое описание поверхности лавиносбора	Текст

Для понимания взаимодействия между выявленными ранее информационными сущностями на рис. 1 приведена ER-диаграмма, на которой представлены выявленные нами информационные объекты и связи между ними.

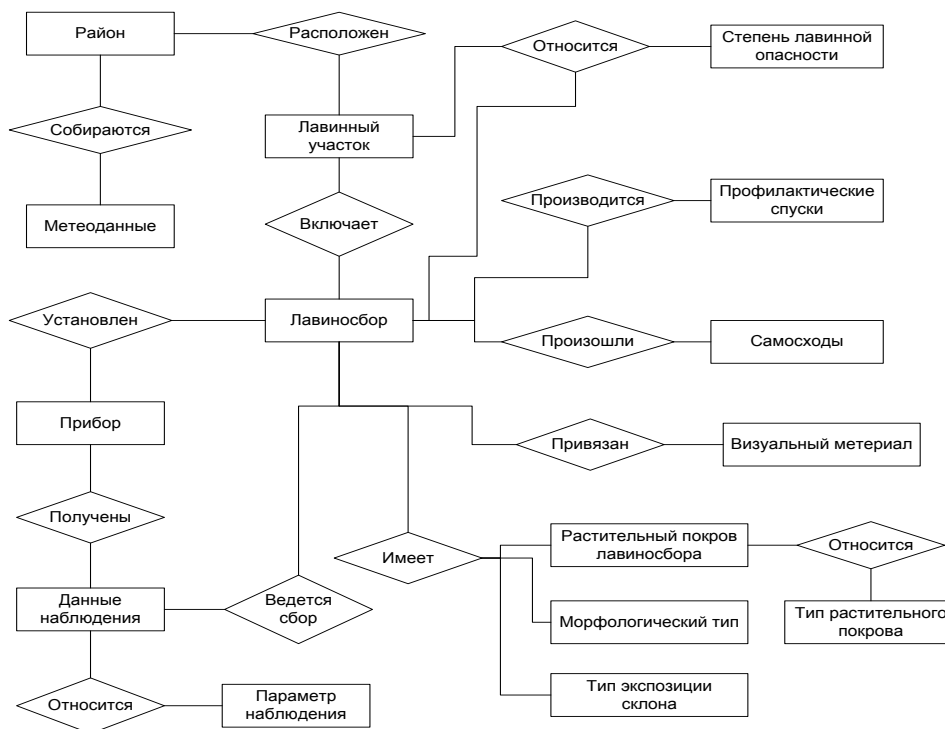


Рисунок 1. ER-диаграмма базы данных

Сбор данных для предлагаемой базы данных подразумевает их получение из различных источников. В нашем случае по источнику получения данные можно разделить на следующие виды:

- справочные данные – данные, которые представляют собой справочники по различным видам;

- учетные данные по лавиносорам – данные, которые определяют сведения по наблюдаемым в системе мониторинга и прогнозирования лавинным участкам (оперативные журналы профилактических спусков и самосходов лавин ГУ “Казселезащита”);

- данные из публичных источников – данные, получаемые из публичных источников (БД Национальной гидрометеорологической службы Казахстана и др), которые требуются для проведения прогнозирования схода лавин на наблюдаемых участках;

- данные наблюдения, получаемые с различных приборов учета (стационарные приборы, БПЛА и др.) на определенном участке лавиносора.

Распределение информационных объектов разрабатываемой БД по источникам данных для наглядности представлено на рис. 2.

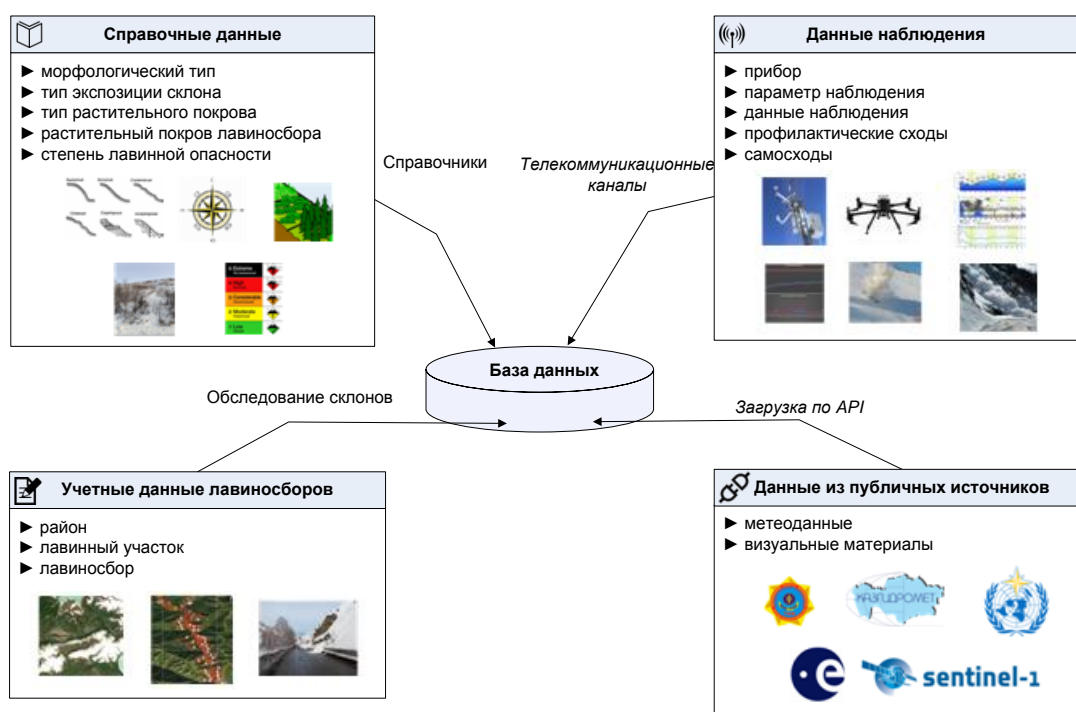


Рисунок 2. Распределение информационных объектов БД по источникам данных

Полученная в рамках данной части исследования инфологическая модель является основой для проектирования и реализации логической и физической моделей БД для информационной системы по оценке лавинной опасности. В данном исследовании в качестве системы управления БД используется Microsoft SQL Server. На рис. 3 приведена физическая модель разработанной нами БД.

Созданная в рамках данного исследования БД является основой для работы информационной системы по мониторингу, проведению анализа и прогнозированию лавинной опасности на лавинных участках Восточно-Казахстанской области.

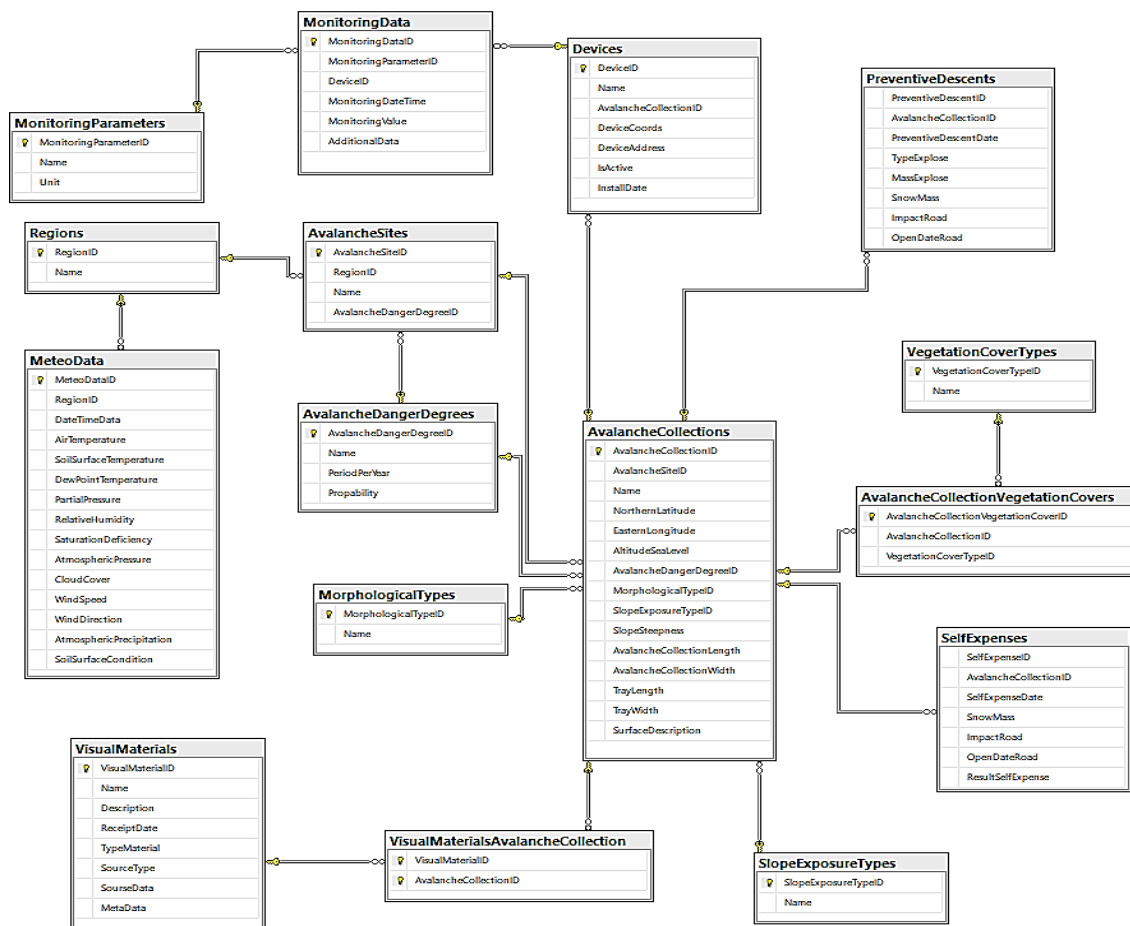


Рисунок 3. Физическая архитектура БД

Заклучение. В рамках данной статьи рассмотрены подходы, которые применяются для сбора данных, необходимых для создания систем мониторинга и прогнозирования лавинной активности. Для сбора данных могут применяться различные источники данных, такие как: сбор общедоступных данных, применение спутниковых данных, применение различных приборов сбора данных в режиме реального времени, фото- и видеоматериалы и другие источники. В рамках исследования лавинной активности Восточно-Казахстанской области были выявлены информационные объекты, которые описывают наборы данных, позволяющие проводить мониторинг и прогнозирование лавинной активности на территории области. К выявленным нами информационным объектам относятся: район, лавинный участок, лавиносбор, метеоданные, морфологический тип, тип экспозиции склона, тип растительного покрова, растительный покров лавиносбора, степень лавинной опасности, прибор, параметр наблюдения, данные наблюдения.

Для каждого информационного объекта в рамках исследования определены его атрибутивный состав и связи между ними (ER-диаграмм, рис. 1), а также определены источники данных для получения сведений, которые будут использоваться для разработанных информационных объектов.

Построенная нами инфологическая модель БД по лавиносборам позволит реализовать систему для сбора данных, необходимых для проведения мониторинга и прогнозирования лавинной опасности в Восточно-Казахстанской области.

Благодарности. Данное исследование проводилось в рамках программы ПЦФ BR21882022 «Исследование лавинной активности в Восточно-Казахстанской области для разработки систем мониторинга и научного обоснования их размещения» на 2023-2025 годы.

Список литературы

1. Пупцев Р.И. Разработка системы автоматизированного составления прогноза лавинной опасности с применением современных икт и аппарата нейрокогнитивных архитектур // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2022. – №3. – С. 244-254.
2. Xi N., Mei G. Avalanche Susceptibility Mapping by Investigating Spatiotemporal Characteristics of Snow Cover Based on Remote Sensing Imagery along the Pemo Highway-A Critical Transportation Road in Tibet, China, *Water*, 2023. no. 15. p. 2743. <https://doi.org/10.3390/w15152743>.
3. Метеорологическая база данных «Казгидромет» - URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
4. Eckerstorfer M., Vickers H., Malnes E., Grahn J. Near-Real Time Automatic Snow Avalanche Activity Monitoring System Using Sentinel-1 SAR Data in Norway, *Remote Sensing*, 2019, no. 11, p. 2863. <https://doi.org/10.3390/rs11232863>.
5. Фазылов А.Р., Гулаёзов М.Ш., Сафаров М.С., Наврузшоев Х.Д. Мониторинг лавинной опасности в бассейне реки Майхура // Известия национальной академии наук Таджикистана; отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2023. – №2(191). – С. 108-117.
6. Fox J., Siebenbrunner A., Reitinger S., Peer D., Rodriguez-Sanchez A. Deep learning for real-time avalanche detection in webcam images. *Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023*, p. 1504-1511.
7. Ruttner-Jansen P., Glaus J., Wieser A., Buhler Y. A measurement system for mapping snow distribution changes in an avalanche release zone, *Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023*, p. 1074-1081.
8. Виноградов Ю.А., Милехина А.М., Федоров А.В., Федоров И.С. О мониторинге лавинной опасности на территории Северной Осетии // *Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)". Том XI.* – Москва: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 2021. – С. 206-212.
9. Сенов Х.М. Яхутлов М.М., Болгов Ю.В. Система мониторинга очагов опасных природных явлений горных территорий // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* – 2018. – № 6-3(86). – С. 97-100.
10. Об утверждении Правил осуществления государственного учета чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 3 марта 2015 г. № 175. – Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан от 8 мая 2015 г. № 10983. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010983>
11. Bourouva-Flin E., Maldonado E., Leroy J.-B., Alouani R., Eckert N., Bonnefoy-Demongeot M., Deschatres M. A new web-based system to improve the monitoring of snow avalanche hazard in France // *Natural Hazards and Earth System Sciences.* – 2016. – no. 16. PP. 1205-1216. doi 10.5194/nhess-16-1205-2016. (in Eng)
12. Bian R, Huang K, Liao X, Ling S, Wen H, Wu X. Snow avalanche susceptibility assessment based on ensemble machine learning model in the central Shaluli Mountain Front // *Earth Sci.* – 2022. – 10:880711. doi: 10.3389/feart.2022.880711
13. Yang J., Li C., Li L., Ding J., Zhang R., Han T., Liu Y. Automatic Detection of Regional Snow Avalanches with Scattering and Interference of C-band SAR Data // *Remote Sens.* – 2020. – no. 12, 2781. <https://doi.org/10.3390/rs12172781>
14. Eckerstorfer M., Malnes E., Müller K. A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data // *Cold Regions Science and Technology* – 2017. – No. 144. – PP. 39–51. doi:10.1016/j.coldregions.2017.08 (in Eng)
15. James Fox, Anna Siebenbrunner, Sandra Reitingger, David Peer, Antonio Rodriguez-Sanchez. Deep Learning for Real-Time Avalanche Detection in Webcam Images // *Conference: ISSW 2023, - 2023.*
16. Edme P., Paitz P., Walter F., van Herwijnen A., Fichtner A. Fiber-optic detection of snow avalanches using telecommunication infrastructure. – 2023. – arXiv:2302.12649 [physics.geo-ph]. doi 10.48550/arXiv.2302.12649.

17. Marchetti E., Ripepe M., Ulivieri G., Kogelnig A. Infrasound array criteria for automatic detection and front velocity estimation of snow avalanches: towards a real-time early-warning system // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* - 2015. - no. 15. - PP. 2545-2555. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2545-2015>

References

1. Pupcev R.I. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo sostavleniya prognoza lavinnoj opasnosti, s primeneniem sovremennyh ikt i apparata nejrokognitivnyh arhitektur // *Gidrosfera. Opasnye processy i yavleniya.* – 2022. – № 3. – С. 244-254.
2. Xi N., Mei G. Avalanche Susceptibility Mapping by Investigating Spatiotemporal Characteristics of Snow Cover Based on Remote Sensing Imagery along the Pemo Highway—A Critical Transportation Road in Tibet, China, *Water*, 2023, no. 15, p. 2743. <https://doi.org/10.3390/w15152743> (in Eng.).
3. Meteorologicheskaya baza dannyh «Kazgidromet» - URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
4. Eckerstorfer M., Vickers H., Malnes E., Grahn J. Near-Real Time Automatic Snow Avalanche Activity Monitoring System Using Sentinel-1 SAR Data in Norway, *Remote Sensing*, 2019, no. 11, p. 2863. <https://doi.org/10.3390/rs11232863> (in Eng.).
5. Fazylov A.R., Gulayozov M.SH., Safarov M.S., Navruzshoev H.D. Monitoring lavinnoj opasnosti v bassejne reki majhura // *Izvestiya nacional'noj akademii nauk Tadzhikistana otdelenie fiziko-matematicheskikh, himicheskikh, geologicheskikh i tekhnicheskikh nauk.* – 2023. – № 2(191). – С. 108-117.
6. Fox J., Siebenbrunner A., Reitinger S., Peer D., Rodriguez-Sanchez A. Deep learning for real-time avalanche detection in webcam images, *Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023*, p. 1504-1511 (in Eng.).
7. Ruttner-Jansen P., Glaus J., Wieser A., Buhler Y. A measurement system for mapping snow distribution changes in an avalanche release zone, *Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023*, p. 1074-1081 (in Eng.).
8. Vinogradov YU.A., Milekhina A.M., Fedorov A.V., Fedorov I.S. O monitoringe lavinnoj opasnosti na territorii Severnoj Osetii // *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza: Kollektivnaya monografiya po materialam XI Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza (GEOKAVKAZ 2021)". Tom XI.* – Moskva: Institut istorii estestvoznaniya i tekhniki im. S.I. Vavilova RAN, 2021. – С. 206-212.
9. Senov H.M. YAhutlov M.M., Bolgov YU.V. Sistema monitoringa ochagov opasnyh prirodnyh yavlenij gornyh territorij // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2018. – № 6-3(86). – С. 97-100.
10. Ob utverzhdenii Pravil osushchestvleniya gosudarstvennogo ucheta chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera: Prikaz Ministra vnutrennih del Respubliki Kazahstan ot 3 marta 2015 goda № 175. Zaregistririvan v Ministerstve yusticii Respubliki Kazahstan ot 8 maya 2015 goda № 10983. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010983>
11. Bourvois-Flin E., Maldonado E., Leroy J.-B., Alouani R., Eckert N., Bonnefoy-Demongeot M., Deschatres M. A new web-based system to improve the monitoring of snow avalanche hazard in France // *Natural Hazards and Earth System Sciences.* – 2016. – no. 16. PP. 1205-1216. doi 10.5194/nhess-16-1205-2016.
12. Bian R, Huang K, Liao X, Ling S, Wen H, Wu X. Snow avalanche susceptibility assessment based on ensemble machine learning model in the central Shaluli Mountain Front // *Earth Sci.* – 2022. – 10:880711. doi: 10.3389/feart.2022.880711
13. Yang J., Li C., Li L., Ding J., Zhang R., Han T., Liu Y. Automatic Detection of Regional Snow Avalanches with Scattering and Interference of C-band SAR Data // *Remote Sens.* – 2020. – no. 12, 2781. <https://doi.org/10.3390/rs12172781>
14. Eckerstorfer M., Malnes E., Müller K. A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data // *Cold Regions Science and Technology* – 2017. – No. 144. – PP. 39–51. doi:10.1016/j.coldregions.2017.08 (in Eng)
15. James Fox, Anna Siebenbrunner, Sandra Reitinger, David Peer, Antonio Rodriguez-Sanchez. Deep Learning for Real-Time Avalanche Detection in Webcam Images // *Conference: ISSW 2023, - 2023.*
16. Edme P., Paitz P., Walter F., van Herwijnen A., Fichtner A. Fiber-optic detection of snow avalanches using telecommunication infrastructure. – 2023. – arXiv:2302.12649 [physics.geo-ph]. doi 10.48550/arXiv.2302.12649.
17. Marchetti E., Ripepe M., Ulivieri G., Kogelnig A. Infrasound array criteria for automatic detection and front velocity estimation of snow avalanches: towards a real-time early-warning system // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* - 2015. - no. 15. - PP. 2545–2555. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2545-2015>.

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_134
IRSTI 28.23.27

I. Karymsakova¹, N. Denisova², A. Kaliyeva¹, D. Kozhakhmetova¹, R. Bekbayeva¹

¹Shakarim University, Semey, Kazakhstan

E-mail: karymsakova.indira@mail.ru*

E-mail: aliyabekenqyzy@gmail.com

E-mail: dinarakozhakhmetova@mail.ru

E-mail: 31-roza@mail.ru

²D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: ndenisova@ektu.kz

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MODELING TRAJECTORIES FOR SPRAYING IMPLANTS

ИМПЛАНТТАРДЫ БҮРКУ ҮШІН ТРАЕКТОРИЯЛАРДЫ МОДЕЛЬДЕУДІҢ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУ

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ИМПЛАНТОВ

Abstract. The article aims to create an information system for modeling trajectories for subsequent microplasma spraying using a robotic complex. The research results proposed in the article are focused on the practical use of methods for further construction of robot movement. The proposed approach using Hermite splines of the third and fourth orders makes it possible to construct motion trajectories taking into account speed. Various trajectories of movement construction were considered. An algorithm for constructing a spline was shown. Trajectories for splines of the third and fourth orders were constructed in the Matlab environment. To construct the trajectories of the robot's movement, a fourth-order Hermite spline was chosen, which satisfies the condition of passing along the selected trajectory with certain speeds and has minimal offsets.

Keywords: Hermite spline, program trajectories, smoothness of functions, interpolation, construction of trajectories

Аңдатпа. Мақалада роботты кешеннің көмегімен кейінгі микроплазмалық бұрку үшін траекторияларды модельдеудің ақпараттық жүйесін құру мақсаты қойылған. Мақалада ұсынылған зерттеу нәтижелері Робот қозғалысын одан әрі құру әдістерін практикалық қолдануға бағытталған. Үшінші және төртінші ретті эрмит сплайндарын қолдану арқылы ұсынылған тәсіл жылдамдықты ескере отырып қозғалыс траекториясын құруға мүмкіндік береді. Қозғалыс құрылысының әртүрлі траекториялары қарастырылды. Сплайн құру алгоритмі көрсетілді. Матлаб ортасында үшінші және төртінші ретті сплайндарға арналған траекториялар салынды. Роботтың қозғалыс траекториясын құру үшін Төртінші ретті эрмит сплайн таңдалды, ол таңдалған траектория бойынша белгілі бір жылдамдықпен жүру шартын қанағаттандырады және минималды ауытқуларға ие.

Түйін сөздер: эрмит сплайн, бағдарламалық траектория, функцияның тегістігі, интерполяция, траектория құру.

Аннотация. В статье поставлена цель создания информационной системы моделирования траекторий для последующего микроплазменного напыления при помощи роботизированного комплекса. Результаты исследований, предлагаемые в статье, ориентированы на практическое использование методов для дальнейшего построения движения робота. Предлагаемый подход с использованием сплайнов Эрмита третьего и четвертого порядков позволяет построить траектории движения с учетом скорости. Были рассмотрены различные траектории построения движений. Был показан алгоритм построения сплайна. В среде Матлаб были построены траектории для сплайнов третьего и четвертого порядков. Для построения

траекторий движения робота был выбран сплайн Эрмита четвертого порядка, который удовлетворяет условию прохождения по выбранной траектории с определенными скоростями и имеет минимальные отклонения.

Ключевые слова: сплайн Эрмита, программные траектории, гладкость функций, интерполирование, построение траекторий

Introduction. The use of robots for microplasma spraying of titanium implants is one of the most important tasks. To date, it has not been possible to create a manipulator that will fully perform the functions of human limbs.

The production of endoprostheses is one of the most difficult tasks. These endoprostheses must be fully compatible with human organs. Robotic systems are used to obtain high-precision endoprostheses.

For spraying using a robotic complex, limb endoprostheses will be used: hip endoprosthesis, lower leg endoprosthesis, knee endoprosthesis, spinal implant, shoulder endoprosthesis, joint endoprosthesis.

Literature review.

Endoprostheses are products that are used to replace damaged human organs.

The existing classifications of endoprostheses have been analyzed.

In the work of Imanbayeva M.B., Zubi Yu.Kh., Izbaskanova A.S. Endoprostheses are classified according to the friction pair of the constituent elements.

In the work of Dzhakysybaev M.N., Zhumagulov M.O. endoprostheses are classified according to the design of the constituent elements.

In the work of Williams D., Roof R., endoprostheses are classified by composition and design, by the duration of functioning, by the degree of immersion in the body.

In the work of Kirpichev I.V., Aliev A.G., Kovalenko A.N., Ambrosenkov A.V. endoprostheses are classified according to the number of components.

In the work of Mironov R.A., Osmanov A.M., Ustazov K.A., Aslamkhanov S.R. endoprostheses are classified depending on the design principle.

In the work of Chirkov N.N., Nikolaev N.S., Gorbatov R.O., Klemenova I.A., Novikov A.V., Zinoviev S.V., Kazakov A.A. endoprostheses are classified according to the method of fixation, according to the design.

In the work of S. N. Nekhlopochin, A. S. Nekhlopochin, and A. I. Shvets, endoprostheses are classified according to the design of the elements.

In the work of Adamova A.A., Shvedova A.G., Chudovsky I.V. endoprostheses are classified according to their various characteristics: scope, method of suturing to organic tissues [1-3].

Materials and research methods. To develop an information system for modeling trajectories for subsequent microplasma spraying using a robotic complex, it is necessary to perform several stages: stage 1 - classification of spray objects, stage 2 - analysis of methods for mathematical modeling of the robot's trajectory, stage 3 - development of a mathematical model, stage 4 - development of architecture IS, stage 5 - development of algorithms and program code for a robot movement simulator.

Let's look at each of these steps:

Stage 1- Classification.

For the selection of endoprostheses for the possibility of spraying with the help of robots, implants must be classified. To do this, we first analyzed various classifications of endoprostheses (Table 1).

Classification is an optimization task in which it is necessary to attribute elements to different classes according to some characteristics.

Table 1. Different classifications of endoprostheses

№	Classification
1	By friction pair
2	By design
3	By composition and structure, by the time of functioning, by the degree of introduction into the body
4	By the number of components, depending on the design principle
5	By the method of fixation, by design
6	According to other characteristics: areas of use, methods of implantation to human tissues

To optimize the spraying trajectory, it is more expedient to use the parametric method for classifying endoprostheses (Table 2)

Table 2. Parametric classification method

Class	Parameter values by class (mm)										
	Length	Diameter	Width	Arc length	Clamp length	Clamp diameter	Rectangle length	Height	Proximal stem length	Distal stem length	Stem diameter
1	150-400	15-35	30-50	50-70	160-200	10-20	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
2	15-150	5-15	5-30	10-50	10-160	5-10	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
3	0-15	0-5	0-5	0-10	0-10	0-5	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10

1st class: endoprostheses that optimally match the limiting parameters of spraying;
 2nd class: endoprostheses that meet the limiting parameters of spraying;
 3rd class: endoprostheses that do not meet the limiting spraying parameters.
 The classification is shown in Figure 1.

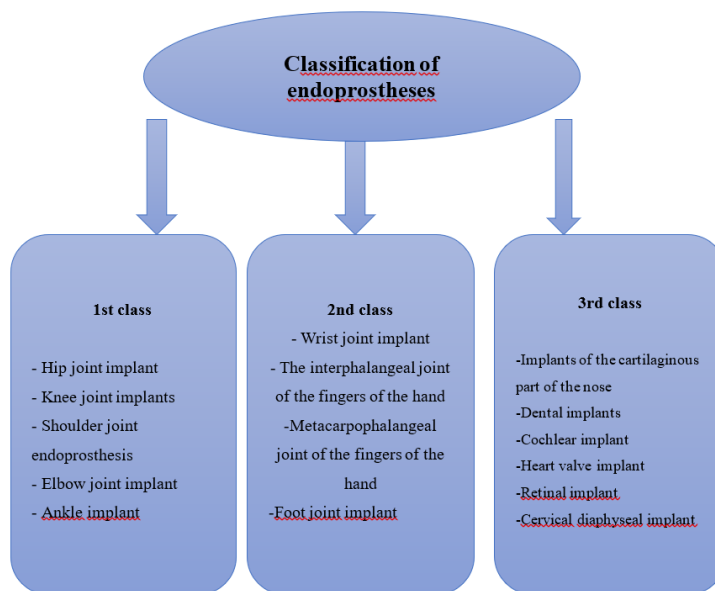


Figure 1. Classification of implants

Stage 2 – analysis of methods for mathematical modeling of the trajectory of the robot. To build a mathematical model of the robot's motion during spraying, it is necessary to choose a method for constructing the motion trajectory. For this, the existing methods were considered (Table 3).

Table 3. Methods for constructing the trajectory of movement

№	The method of constructing the trajectory of movement	Advantages	Disadvantages
1	Interpolation using polynomials	Flexible movement of the robot arm grip	The condition of continuity of the second order derivative is not fulfilled
2	The method of connected graphs	The transformation of the coordinates of the grip	The condition of continuity of the second order derivative is not fulfilled
3	Interpolation by third and fourth order polynomials	Flexible movement of the robot arm grip	
4	Interpolation using the Lagrange-Euler model	Flexible movement of the robot arm grip	The condition of continuity of the second order derivative is not fulfilled
5	Multigraph concept motion problems	Deterministic discretization of the space of angles	Irregular structure of neighboring elements of the multigraph
6	Methods of integral manifolds	Motion along an optimal trajectory	
7	Trajectory graph generation method	Flexible movement of the robot arm grip	The condition of continuity of the second order derivative is not fulfilled

The obtained analysis showed that for the formation of the trajectory of movement of manipulative robots, the conditions for the smoothness of the function and the continuity of the second derivative are important. For our classes of endoprotheses, the spline method will be used to construct the trajectory.

To simulate the trajectory of movement, it is necessary to first create a 3D model of the implant. The existing methods for creating 3D models are shown in Figure 2[4-9].

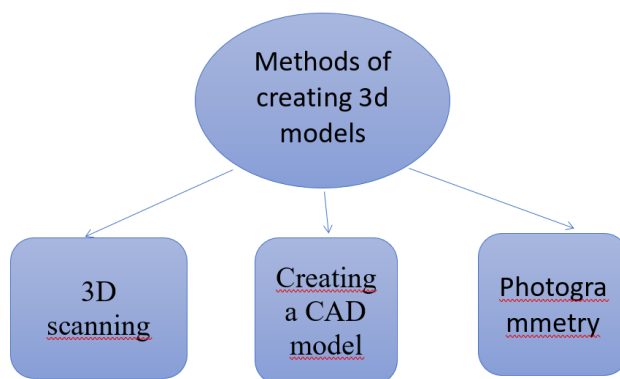


Figure 2. Methods for creating 3D models

Stage 3 – Mathematical modeling of the spraying trajectory.
Splines are used to interpolate mechanical motions

$$q_i(t) = \sum_{l=0}^3 a_i^{(l)} (t_{i+1} - t)^l \tag{1}$$

where t is the given time intervals (nodes), $q_i(t)$ is a polynomial.
Splines satisfying conditions (2) are called Hermitian

$$\begin{aligned} q_i(t_i) &= \theta_i; \quad q_i(t_{i+1}) = \theta_{i+1}; \\ \dot{q}_i(t_i) &= v_i; \quad \dot{q}_i(t_{i+1}) = v_{i+1}, \quad i = \overline{1, n-1} \end{aligned} \tag{2}$$

where $q_i(t)$ is a polynomial, $\theta(t_i) = \theta_i$ are generalized coordinates, $v_i = v(t_i)$ is the speed of passage [10, 11].

The process of spraying endoprostheses by a robot can be defined as follows (Fig. 3)

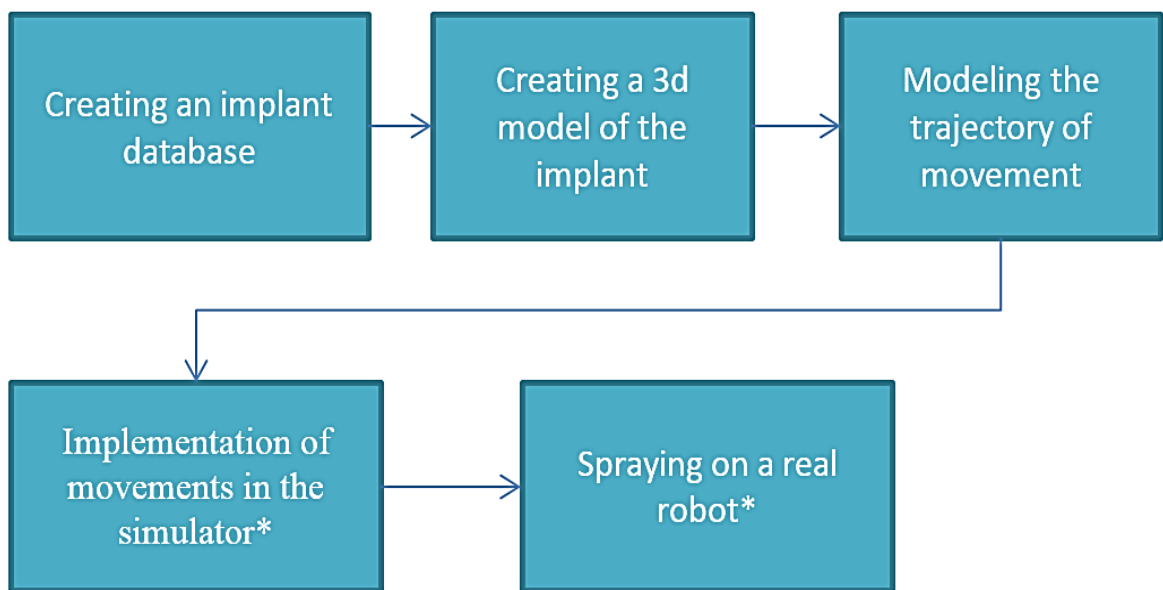


Figure 3. Spray process

- *-Robot spraying parameters
- Spray spot diameter $d=2.5$ mm
- Robot passing speed $v=10$ mm/s
- Distance to spraying object $S=150$ mm
- Robot travel time $t=15$ s
- Spray process

The endoprosthesis is installed on the arm of the robot and will be sequentially moved by the robot along the trajectory (Fig. 4).

We build a mathematical model of the robot's motion using Hermite polynomials of the third and fourth orders [12-15, 16-21].

Results and its discussion. According to the given models of the third and fourth orders, the trajectories of movement were modeled and the deviations for each model were determined (Table 4).

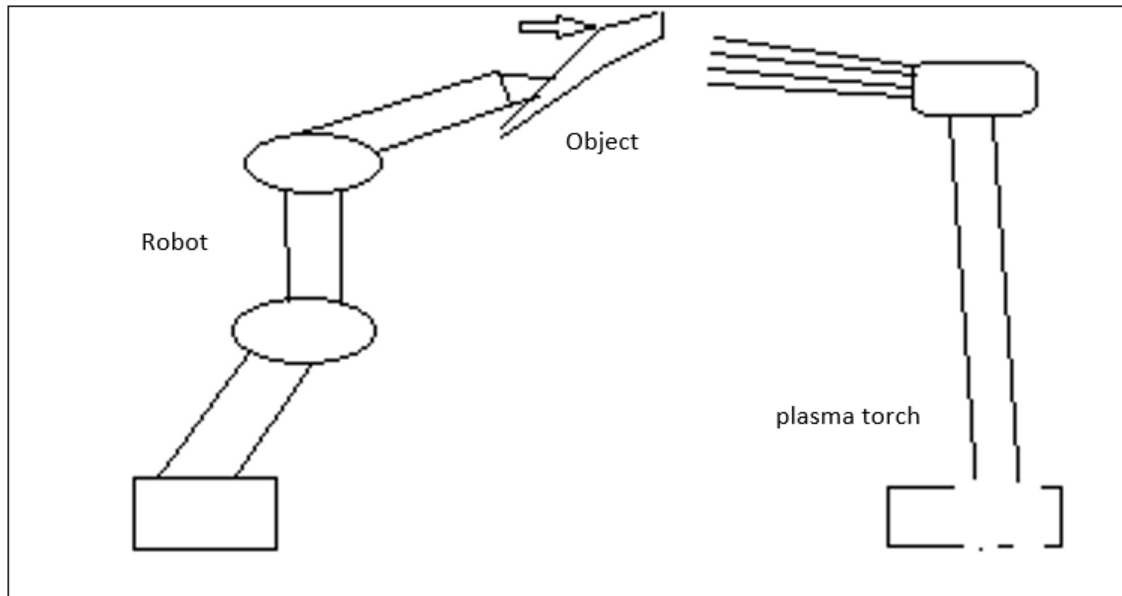


Figure 4. Scheme of spraying the implant

Table 4. Analysis of modeling errors

Class	Modeling of the spraying trajectory			
	Type	Error of 3 orders	Error of 4 orders	Output
1	Hip replacement	0,05	0,04	The approximation error when using the Hermite interpolant is 4-orders of magnitude less
	Lower leg endoprosthesis	0,047	0,038	The approximation error when using the Hermite interpolant is 4-orders of magnitude less
	Shoulder joint endoprosthesis	0,044	0,038	The approximation error when using the Hermite interpolant is 4-orders of magnitude less
2	Vertebral endoprosthesis	0,046	0,039	The approximation error when using the Hermite interpolant is 4-orders of magnitude less
	Cervical endoprosthesis	0,045	0,036	The approximation error when using the Hermite interpolant is 4-orders of magnitude less
	Finger joint replacement	0,047	0,039	The approximation error when using the Hermite interpolant is 4-orders of magnitude less

Stage 4

After building a mathematical model, it is necessary to develop an infological model, an IS architecture.

The proposed infological model of IS is shown in Figure 5:

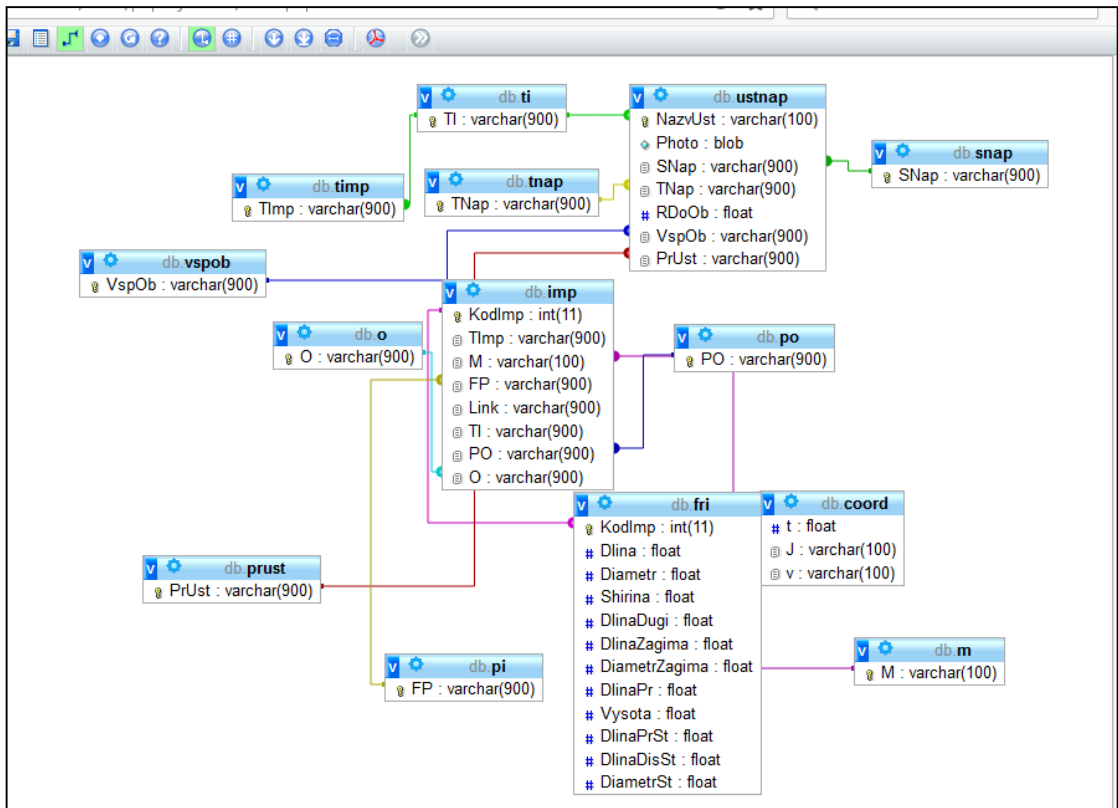


Figure 5. Infological model

The proposed IS structure is shown in Figure 6.

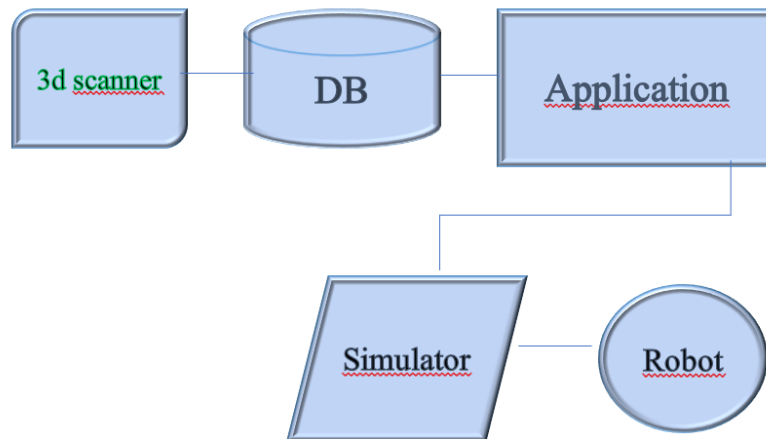


Figure 6. IS structure

Stage 5 – The algorithm for creating a program for a simulator of the movement of a robot for spraying endoprostheses by points is shown in Figure 7:

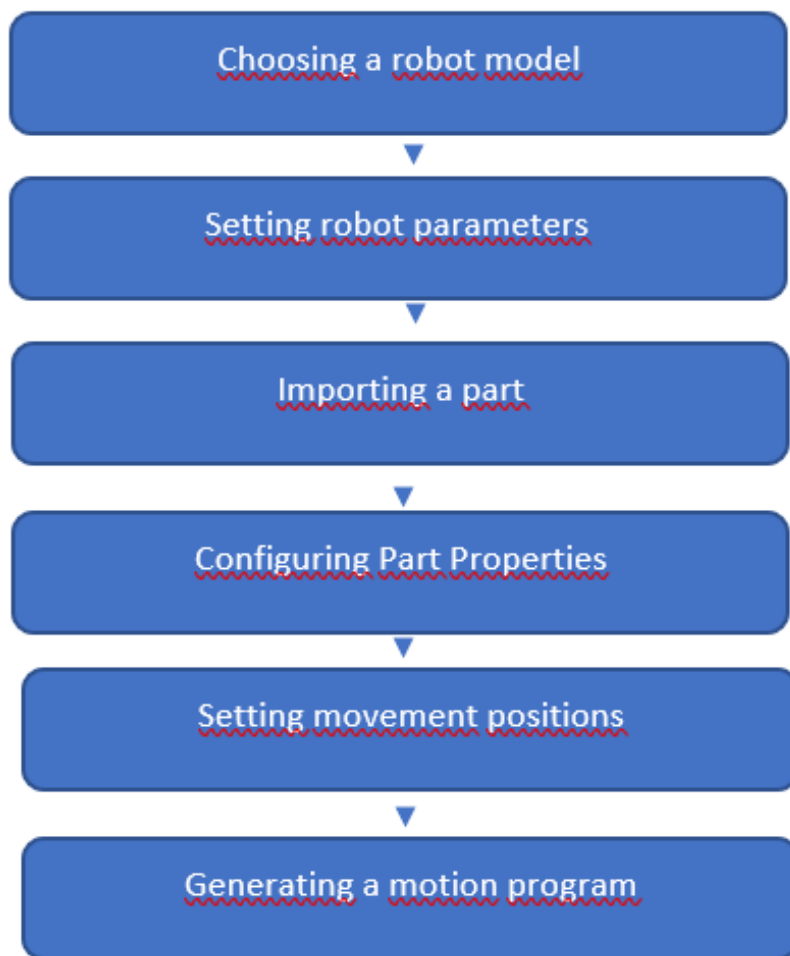


Figure 7. Algorithm for creating a simulation program

According to this algorithm, a robot motion trajectory was constructed for spraying the surface of endoprostheses of six types of selected endoprostheses from the first two classes of endoprostheses.

Conclusion. In this article, a review of the classifications of endoprostheses was carried out, the movement of the robot was modeled according to Hermite models of the third and fourth orders. An algorithm for creating the trajectory of the robot was proposed. A prototype of an information system for modeling trajectories according to a given model was proposed.

Список литературы

1. Иманбаева М.Б., Зуби Ю.Х., Избасканова А.С. Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава с керамика-керамической парой трения в отдаленном периоде наблюдения от 5 до 10 лет. Вестник КазНМУ, №2-2015
2. Джаксыбаев М.Н., Жумагулов М.О. Оперативное лечение тазобедренных и коленных суставов у пациентов страдающих сахарным диабетом, Вестник КазНМУ, № 3-1-2016.

3. Кирпичев И.В. Структура коксартроза в различных возрастных группах у больных, нуждающихся в первичном эндопротезировании тазобедренного сустава. Журнал Современные проблемы науки и образования, Москва, № 3-2015.
4. Завьялов У.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. – М., Наука, 1980.
5. Кириченко Н.Ф., Сорока Р.А., Крак Ю.В. «Манипуляционные роботы. Алгоритмическое и программное обеспечение средств управления движением», учебное пособие, Киев КГУ, 1987
6. Интерполяция. 20.08.2020. URL: <https://refdb.ru/look/1629442-pall.html>
7. Золотых Н.Ю. Matlab в научных исследованиях. Нижегородск, 2004
8. Методы интерполяции в Матлаб. 15.05.2020. URL: <http://geum.ru/next/art-295114.php>
9. Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
10. Karymsakova I.B., Denissova N.F., Kumargazhanova S.K, Krak lu. V. Robotic plasma spraying system for implants of complex structure: methods and solutions, International Journal of Computing, 19(2) 2020, 1-2
11. Карымсакова И.Б., Денисова Н.Ф., Крак Ю.В. Усовершенствование методов построения систем создания имплантов с использованием современных производственных решений // Международная научная конференция «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMC1'2017)». 22–26 мая 2017. Материалы международной научной конференции. – Запорожье, Украина. Херсон: Издательство ПП Вишемирский В.С., 2017. – С. 69-70.
12. Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
13. Решение математических задач в системе компьютерной математики в пакете Matlab. 04.11.2022. . URL: <https://sites.google.com/site/vpaketematlab/3-realizacia-cislennyh-metodov/03-3-realizacia-splajnov-v-matlab>
14. Сплайны. 04.11.2022. . URL:<https://ozlib.com/823878/informatika/splajny>
15. Эрмитовая многоинтервальная интерполяция MatLab. 04.11.2022. URL: <https://radiomaster.ru/cad/matlab/glava17/index36.php>
16. Zhu S.L., et al., Effect of porous NiTi alloy on bone formation: A comparative investigation with bulk NiTi alloy for 15 weeks in vivo. Materials Science & Engineering C, 2008. 28(8): p. 1271-1275.
17. Lee B.H., et al., Effect of surface structure on biomechanical properties and osseointegration. Materials Science & Engineering C, 2008. 28(8): p. 1448-1461
18. Borisov Yu., Kisliitsa A., Voynarovich S. “Microplasma wire spraying”// Proceedings of the Int. Thermal Spray Conference and Exposition ITSC 2004 “Thermal Spray Solutions Advances in Technology and Application” Osaka Japan – 2004. – p. 657 – 661.
19. Alontseva D., Borisov Yu., Voinarovych S., Kyslytsia O. Development of technology of microplasma spraying for the application of biocompatible coatings in the manufacture of medical implants Przegląd Elektrotechniczny 7 (2018) p. 94–97
20. Alontseva D. Introduion to Coating Design and Processing. ASM Handbook, Volume 5A, Thermal Spray Technology. R.C. Tucker, Jr., editor, 2013
21. Alontseva D., Krasavin A., Kolesnikova T., Russakova A. Modeling of Processes Taking Place during Powder Coating Treatment by an Electron Beam or a Plasma Jet// Acta Physica Polonica A Vol. 125, No. 6, 2014. – P. 1275-1279.

References

1. Imanbayeva M.B., Zubi U.H., Izbaskanova A.S. Totalnoe endoprotezirovanie tazobedrennogo sustava s keramika-keramicheskoi paroi trenia v otdalennom periode nablydenya ot 5 do 10 let. Vestnik KazNMU, № 2-2015.

2. Dzhaksybayev M.N., Zhumagulov M.O. Operativnot=e lechenie tazobedrennyh I kolennyh sustavov u pacientov stradayuchih saharnym diabetom, Vestnik KazNMU, № 3-2016.
 3. Kirpichov I.V. Structura koksartroza v razlichnyh vozrastnyh gruppah u bolnyh, nuzhdayuchihsya v pervichnom endoprotezirovanii tazobedrennogo sustava. Zhurnal Sovremennye problem nauki I obrazovanya, Moskva, № 3-2015.
 4. Zav'yalov U.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L. Metody splajn- funkcij. – M., Nauka, 1980.
 5. Kirichenko N.F., Soroka R.A., Krak YU.V. «Manipulyacionnye roboty. Algoritmicheskoe i programmnoe obespechenie sredstv upravleniya dvizheniem», uchebnoe posobie, Kiev KGU, 1987
 6. Interpolyaciya. 20.08.2020. URL: <https://refdb.ru/look/1629442-pall.html>
 7. Zolotyh N.YU. Matlab v nauchnyh issledovaniyah. Nizhegorodsk, 2004
 8. Metody interpolyacii v Matlab. 15.05.2020. URL: <http://geum.ru/next/art-295114.php>
 9. Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P. 44-52.
 10. Karymsakova I.B., Denissova N.F., Kumargazhanova S.K., Krak Iu. V. Robotic plasma spraying system for implants of complex structure: methods and solutions, International Journal of Computing, 19(2) 2020, 1-2
 11. Karymsakova I.B., Denissova N.F., Krak YU.V. Uovershenstvovanie metodov postroeniya sistem sozdaniya implantov s ispol'zovaniem sovremennyh proizvodstvennyh reshenij // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Intel'ktual'nye sistemy prinyatiya reshenij i problemy vychislitel'nogo intellekta (ISDMCI'2017)». 22–26 maya 2017. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Zaliznyj port. Ukraina. Herson: Izdatel'stvo PPVishemirs'kij V.S., 2017. – S. 69-70.
 12. Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P. 44-52.
 13. Reshenie matematicheskikh zadach v sisteme komp'yuternoj matematiki v pakete Matlab. 04.11.2022. URL: <https://sites.google.com/site/vpaketematlab/3-realizacia-cislennyh-metodov/03-3-realizacia-splajnov-v-matlab>
 14. Splajny. 04.11.2022. URL:<https://ozlib.com/823878/informatika/splajny>
 15. Ermitovaya mnogointerval'naya interpolyaciya MatLab. 04.11.2022. URL: <https://radiomaster.ru/cad/matlab/glava17/index36.php>
 16. Zhu S.L., et al., Effect of porous NiTi alloy on bone formation: A comparative investigation with bulk NiTi alloy for 15 weeks in vivo. Materials Science & Engineering C, 2008. 28(8): – P. 1271-1275.
 17. Lee B.H., et al., Effect of surface structure on biomechanical properties and ossteointegration. Materials Science & Engineering C, 2008. 28(8): P. 1448-1461.
 18. Borisov Yu., Kislitsa A., Voynarovich S. “Microplasma wire spraying”// Proceedings of the Int. Thermal Spray Conference and Exposition ITSC 2004 “Thermal Spray Solutions Advances in Technology and Application” Osaka Japan – 2004. – P. 657-661.
 19. Alontseva D., Borisov Yu., Voinarovych S., Kyslytsia O. Development of technology of microplasma spraying for the application of biocompatible coatings in the manufacture of medical implants Przegląd Elektrotechniczny 7 (2018). – P. 94–97.
 20. Alontseva D. Introduiuon to Coating Design and Processing. ASM Handbook, Volume 5A, Thermal Spray Technology. R.C. Tucker, Jr., editor, 2013
 21. Alontseva D., Krasavin A., Kolesnikova T., Russakova A. Modeling of Processes Taking Place during Powder Coating Treatment by an Electron Beam or a Plasma Jet // Acta Physica Polonica A Vol. 125, No. 6, 2014. – P. 1275-1279.
-
-

МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_144
MFTAA 81.93.29

Д.Д. Қиноят¹, Р.У. Мукашева²

¹«Сарапшы Плюс» коллекторлық агенттігі, Алматы қ, Қазақстан
E-mail: kdinayadi@gmail.com

²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан
E-mail: mukashevaru@mail.ru*

**BLOCKCHAIN ТЕХНОЛОГИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТІ
ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛІН ӨЗІРЛЕУ**

**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN**

**DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODEL FOR ENSURING INFORMATION SECURITY
BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGY**

Аңдатпа. Цифрлық технологиялар мен ақпараттық қатерлер дәуірінде деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету басым мәселе болып табылады. Бұл жұмыста қауіпсіз қаржылық операцияларды қамтамасыз ету және деректермен алмасу мәселесін шешетін транзакцияларды қауіпсіз орындауға мүмкіндік беретін блокчейн технологиясына негізделген инновациялық компьютерлік модель ұсынылған. Blockchain технологиясын және SHA-256 алгоритмін қолдана отырып, модель ақпараттың тұтастығы мен өзгермеуіне кепілдік береді, бұл ақпаратты манипуляциялар мен өзгерістерден қорғайды. Өзірленген бағдарлама мәтіндік ақпараттың хэш мәндерін сенімді есептеу үшін SHA-256 алгоритмін қолданады. Сонымен қатар, жұмыста блокчейн технологиясын практикалық түрде қолдану мысалдары келтірілген, соның ішінде Metamask кибер-әмиянын ашу және Goerli тесттік желісінде шынайы транзакцияларды жасау қарастырылған. Бұл модельді нақты сценарийлерде қалай тиімді қолдануға болатындығын көрсетеді. Зерттеу нәтижелері ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етудегі блокчейн технологиясының болашағы мен тиімділігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етудегі блокчейн технологиясының болашағы мен тиімділігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: транзакция; блокчейн; крипто-әмиян; Metamask; тесттік желі; Goerli; Ethereum; Эфириум; майнер.

Аннотация. В эпоху цифровых технологий и информационных угроз обеспечение безопасности данных является приоритетным вопросом. В данной работе представлена инновационная компьютерная модель, основанная на технологии блокчейн, которая позволяет безопасно совершать транзакции, что решает проблему обеспечения безопасных финансовых операций и обмена данными. Благодаря использованию технологии блокчейн и алгоритма SHA-256, модель гарантирует целостность и неподменность данных, что защищает информацию от манипуляций и изменений. Разработанная программа использует алгоритм SHA-256 для надежного вычисления хэш-значений текстовой информации. Кроме того, в работе представлены примеры практического применения блокчейн-технологии, включая открытие киберкошелька Metamask и проведение реальных транзакций на тестовой сети Goerli. Это демонстрирует, как модель может быть эффективно применена в реальных сценариях. Результаты исследования позволяют сделать вывод о перспективности и эффективности технологии блокчейн в обеспечении информационной безопасности.

Ключевые слова: транзакция; блокчейн; крипто-кошелек; Metamask; тестовая сеть; Goerli; Ethereum; Эфириум; майнер.

Abstract. *In the era of digital technologies and information threats, ensuring data security is a priority issue. This paper presents an innovative computer model based on blockchain technology, which allows you to safely make transactions, which solves the problem of ensuring secure financial transactions and data exchange. Thanks to the use of blockchain technology and the SHA-256 algorithm, the model guarantees the integrity and non-substitution of data, which protects information from manipulation and changes. The developed program uses the SHA-256 algorithm for reliable calculation of hash values of textual information. In addition, the paper presents examples of the practical application of blockchain technology, including the opening of the Metamask cyber wallet and conducting real transactions on the Goerli test network. This demonstrates how the model can be effectively applied in real-world scenarios. The results of the study allow us to conclude that blockchain technology is promising and effective in ensuring information security.*

Keywords: *transaction; blockchain; crypto wallet; Metamask; test network; Goerli; Ethereum; Ethereum; miner.*

Kіpіcne. Деректер экономикада, әлеуметтік өзара әрекеттесуде және техникалық инновацияларда шешуші рөл атқаратын қазіргі цифрлық технологиялар әлемінде ақпараттың сенімді қорғалуын қамтамасыз ету барған сайын басым міндетке айналуға. Ақпараттық қауіпсіздікке деген қызығушылықтың артуы деректердің құпиялылығын, тұтастығын және сәйкессіздігін қамтамасыз ете алатын инновациялық тәсілдерді үнемі іздеуге әкеледі. Бұл тұрғыда, блокчейн технологиясы транзакция қауіпсіздігі мен деректерді сақтаудың ең перспективалы шешімдерінің бірі ретінде ерекшеленеді.

Бастапқыда криптовалюталардың негізі ретінде құрылған Блокчейн орталықтан-дырылмаған қаржылық операцияларға арналған инфрақұрылымнан әлдеқайда көп болды. Оның блокчейнге негізделген бірегей құрылымы жоғары сенімділік пен мөлдірлікті қамтамасыз етеді. Әрбір транзакция расталады және блокчейнде сақталады, бұл деректерді манипуляциялау және бұрмалау мүмкіндігін жояды. Алайда, blockchain қосымшаларында қауіпсіздікті жүзеге асыру тек осы технологияның негіздерін түсінуді ғана емес, сонымен қатар қосымша қорғаныс қабатын қамтамасыз ете алатын инновациялық әдістерді әзірлеуді қажет етеді.

Бұл зерттеудің мақсаты транзакциялар кезінде ақпараттың сенімді қорғалуын қамтамасыз ету үшін блокчейн технологиясына негізгі ірге тасы болып табылатын хэштеу операциясын жүзеге асыратын компьютерлік модельді әзірлеу және талдау, сондай-ақ goerli сынақ желісінің мысалында блокчейн технологиясының практикалық қолданылуын зерттеу болып табылады.

Зерттеудің міндеттеріне компьютерлік модельді әзірлеу, SHA және MD5 алгоритмін қарастыру, Metamask кибер-әмиянын және Goerli сынақ желісін пайдалана отырып, транзакциялардың шынайы мәнінде қалай жүзеге асатынын зерттеу, нәтижелерді талдау және ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етудегі блокчейн технологиясының тиімділігін бағалау кіреді.

Зерттеу нысаны: блокчейн технологиясы және оны деректер қауіпсіздігі мен транзакцияларды жүзеге асыруда қолдану.

Зерттеу пәні: блокчейн технологиясына негізделген компьютерлік модель, сонымен қатар Goerli сынақ желісінің мысалында осы модельдің практикалық қолданылуын талдау.

Бұл тақырыптың өзектілігі блокчейн технологиясына деген қызығушылықтың артуына, оны әртүрлі салаларда қолдануға, сондай-ақ цифрлық қауіптердің қарқынды дамуына байланысты. Бұл зерттеудің практикалық маңызы бар және ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің тиімді әдістерін дамытуға, сондай-ақ осы салада блокчейннің түсінігі мен әлеуетін ілгерілетуге ықпал етуі мүмкін.

Әдеби шолу. Мақалада [1] Blockchain технологиясы негізінде Бішкек қаласының Ішкі істер бас басқармасының экстремизмге және заңсыз көші-қонға қарсы іс-қимыл қызметінің есепті тұлғаларының деректерін сақтау және өңдеу үшін таратылған құжат айналымы жүйесін әзірлеу нәтижелері келтірілген. Мақалада [2] жүргізілген зерттеу веб-қосымшалардағы деректердің қауіпсіздігі мен сенімділігін арттырудағы блокчейн технологиясының рөліне бағытталған. Жұмыста блокчейнді қолданатын онлайн оқыту платформаларындағы деректердің қауіпсіздігін жақсарту жолдары қарастырылады, блокчейн пайдаланушылардың авторизациясына шабуылдарды қалай болдырмайды, сонымен қатар онлайн курстық платформаларға арналған блокчейн транзакциясының моделі ұсынылған мәселелер талқыланады. Мақала авторлары [3] спутниктік ресурстардың шектеулі болуына байланысты спутниктік байланыс жүйелерінің осалдығы мәселелерін қарастырады және байланыс қауіпсіздігін жақсарту үшін архитектуралық шешім ұсынады. Бұл схема спутниктер мен жердегі жабдықты біріктіреді, деректерді тіркеу және аутентификация үшін блокчейнді пайдаланады және эксперименттік модельдеу көрсеткендей, деректерді қорғауды айтарлықтай жақсартады. Кітаптың авторы [4] Bitcoin және Blockchain технологиясына егжей-тегжейлі кіріспе береді, сонымен қатар blockchain қауіпсіздігінің негізі болып табылатын криптографияның негіздерін сипаттайды. Жұмыста [5] блокчейннің негізгі тұжырымдамалары мен оның әртүрлі салаларда, соның ішінде киберқауіпсіздік саласында қолданылуы туралы қол жетімді сипаттама берілген. Кітапта [6] блокчейннің экономика мен қоғамның әртүрлі секторларына, соның ішінде ақпараттық қауіпсіздік саласына енгізген өзгертулерінің әлеуеті талқыланады. Кітап авторы [7] блокчейнді әртүрлі салаларда, соның ішінде деректердің қауіпсіздігінде блокчейнді практикалық қолданудың нақты мысалдарына назар аударады. Жұмыста [8] блокчейн технологиясының негізгі аспектілеріне, соның ішінде қауіпсіздікке қысқаша, бірақ ақпараттық шолу жасалынған. Кітап [9] блокчейн қауіпсіздігі мәселелерін қарастырады және әртүрлі қауіптер мен шабуыл сценарийлерін, сондай-ақ қорғаныс әдістері мен құралдарын талқылайды.

Мақалада [10] автор блокчейн технологиясына негізделген жеке деректерді өңдеудің инновациялық тәсілін сипаттайды. Бұл тәсіл деректерді өңдеудің қауіпсіздігі мен тиімділігін қамтамасыз етуге бағытталған бірқатар негізгі аспектілерді қамтиды. Мақаланың авторы [11] негізделген қауіпсіздік әдістерін сипаттау және салыстыру, Bitcoin және Ethereum-да қолданылатын блоктарды бірнеше рет растау, сондай-ақ желінің таралуы, әртүрлі блок өлшемдері, блоктарды құру аралықтары, тарату механизмі сияқты нақты әлемдегі шектеулерді ескере отырып, майнерлердің жұмыстарына байланысты оңтайлы стратегиялық ақпарат береді.

Біздің жұмысымызда деректерді хэштеуді SHA және MD5 алгоритмдері арқылы жүзеге асыратын компьютерлік модель, хештеу және транзакциялар алгоритмдері, сондай-ақ goerli сынақ желісі арқылы блокчейндегі транзакцияларды зерттеу қарастырылады.

Материалдар және зерттеу әдістері. Жұмысты орындау барысында келесі теориялық материалдар мен әдістер қолданылды: криптография негіздері, транзакция деректерін талдау, блокчейн технологиясы, Goerli сынақ желісі, Metamask киберқошелегі, SHA-256, SHA-512 алгоритмі, статистикалық әдістер, транзакция деректерін қорғау әдістері мен құралдары, сынақ желісіндегі транзакцияларды талдау әдістері.

Жұмыс аясында қолданылған бағдарламалар және бағдарламалау тілдері: Microsoft Visual Studio, Windows PowerShell, MetaMask, C#.

Нәтижелері және оларды талқылау. Бұл бөлімде хэштеу арқылы деректерді қорғау, блокчейндегі транзакцияларды тесттік желісінің мысалында зерттеу, хэштеуді жүзеге асыратын компьютерлік модель құру сұрақтарын қарастырамыз.

Хэштеу арқылы деректерді қорғау: SHA және MD5 негізіндегі хэштерді есептеудің бағдарламалық моделі. Хэш – ақпаратты қорғау үшін қажетті шифрлау талаптарына жауап беретін функция. Хэш функциясы еркін ұзындықтағы кірістер мәнді хэш коды немесе хэш мәні деп аталатын тұрақты ұзындықтағы шығыс мәніне түрлендіреді. Хэш функцияларының негізгі қасиеттерінің бірі – оның бірегейлігі: әртүрлі хэш мәндері әртүрлі кіріс мәндеріне сәйкес келуі керек. Хэш функциялары деректердің тұтастығын тексеру, аутентификация және деректерді іздеу үшін ақпараттық қауіпсіздікте кеңінен қолданылады. Олар сондай-ақ ақпаратты тиімді сақтау және іздеу үшін хэш кестелері сияқты деректер құрылымдарында қолданылады [12].

Хэш функциялары қазіргі криптографияда маңызды рөл атқарады. Олар әртүрлі мақсаттарда қолданылады, соның ішінде деректердің тұтастығын тексеру, цифрлық қолтаңбалар, құпия сөздерді сақтау және кілттерді шығару. Сонымен қатар, хэш функциялары бір бағытта тез есептелетіндей етіп жасалған, бірақ керісінше есептеу мүмкін емес, бұл оларға сүйенетін криптографиялық схемалардың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді [13].

Бірдей деректер әрқашан бірдей хэшелген мәнді береді. Блокта жазылған ақпараттың бір символы ғана өзгерсе, онда хэш сомасы түбегейлі өзгеріске ұшырайды.

Блокчейн жүйесінде әрбір блокта өзіне дейінгі блокта жазылған ақпараттың хешінің бір бөлігі сақталынады, сол себепті де блоктар бір-бірімен әрдайым тығыз байланыста болады.

Хэштеу алгоритмі төмендегі 1-суреттегідей жүзеге асырылады, яғни бастапқы мәтінге арнайы хэштеу функциясы қолданылады, кейіннен белгілі бір бекітілген ұзындықтағы хэшелген мәтін алынады [14].

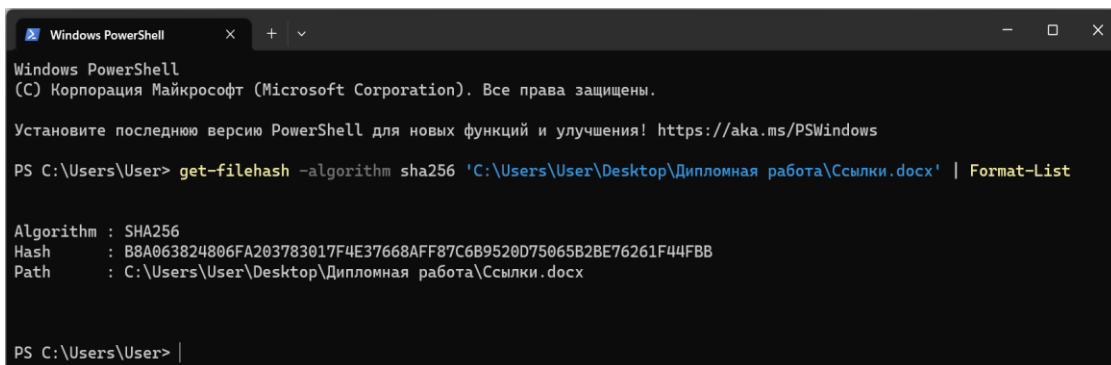
Құжаттарды басқару үшін деректерді аутентификациялауға арнайы хэштеу алгоритмдері қолданылады. Яғни, бүкіл құжат хэшелінеді. Осы ретте хэш – мақұлдау мөрі сынды жұмыс жасайтын болады. Құжатты алушы да деректерді хэштеп, оны түпнұсқамен салыстыра алады. Егер де, хештің екі нұсқасы да бірдей болса, онда деректер шынайы болып тұжырымдалады. Ал керісінше жағдай орын алса, онда құжат өзгеріске ұшырады деген сөз.



1-сурет. Хэштеу алгоритмі

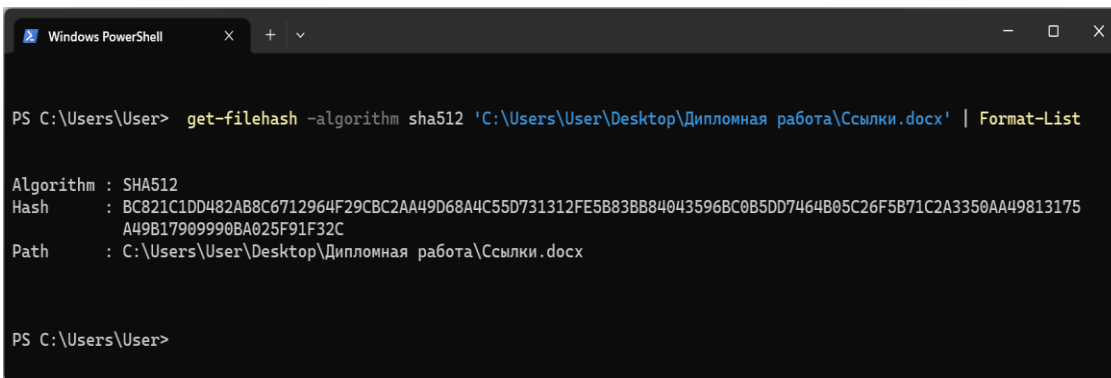
Құжатты хэштеуді Windows операциялық жүйесінде Windows PowerShell бағдарламасы арқылы жүзеге асыруға болады. Бұл қосымша арнайы командаларды қолдана отырып, компьютер жадында орыналасқан кез-келген файлды SHA-256 және SHA-512 хэштеу алгоритмдеріне түрлендіруге мүмкіндік береді.

Керекті файлдың SHA-256 хэш мәнін есептеу үшін келесі команданы қолдану керек: `get-filehash -algorithm sha256 'filename' | Format-List` [15].



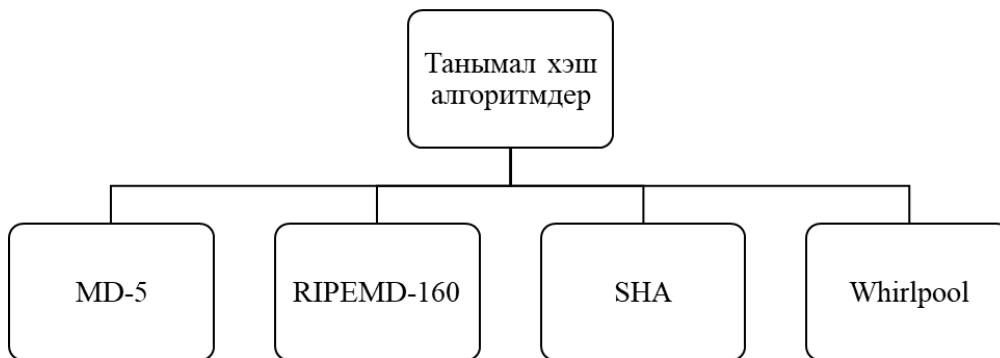
2-сурет. Файлдың SHA-256 хэш мәнін есептеу

Керекті файлдың SHA-512 хэш мәнін есептеу үшін келесі команданы қолдану керек: `get-filehash -algorithm sha512 'filename' | Format-List` [15].



3-сурет. Файлдың SHA-512 хэш мәнін есептеу

Керекті команданы жазғаннан кейін бағдарлама алгоритм (Algorithm), құжаттың хэші (Hash) және файлдың орналасқан жері (Path) сынды деректерді көрсетеді. Төмендегі 1-сызбада ең танымал деген хэш алгоритмдер көрсетілген.



1-Сызба. Танымал хэш алгоритмдері

MD5 (HMAC) хештеу алгоритмі – кеңінен мақұлданған алғашқы алгоритмдердің бірі болып табылады, 1991 жылы жасалған және сол кезде таңқаларлықтай қауіпсіз деп саналған болатын, сол уақыттан бері тіпті ондаған жылдар өтсе де, әлі де танымал алгоритмдердің бірі болып есептелінеді.

Бағдарламаны жасау үшін C# объектіге бағытталған бағдарламалау тілі және Microsoft Visual Studio 2013 интеграцияланған бағдарламалау ортасы пайдаланылды.

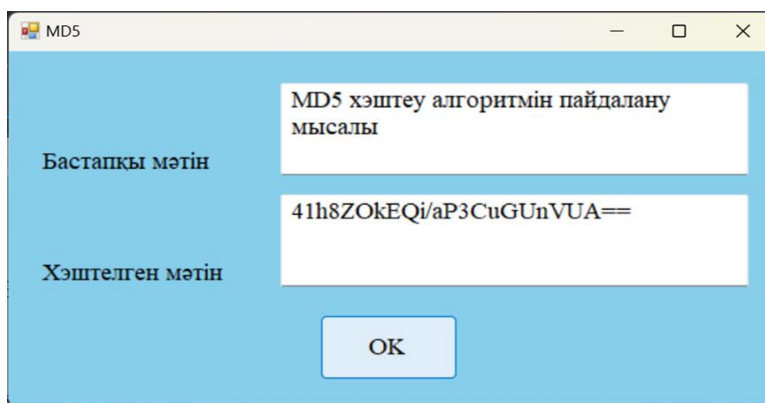
4-суретте MD5 хештеу алгоритмінің бағдарламалық бейнесі көрсетілген, бұл терезеден бастапқы мәтінді және бағдарлама есептен шығарған хештелген мәтінге байқауға болады.

Келесі танымал хештеу алгоритмі бұл – SHA криптографиялық хэш функциялары тобы.

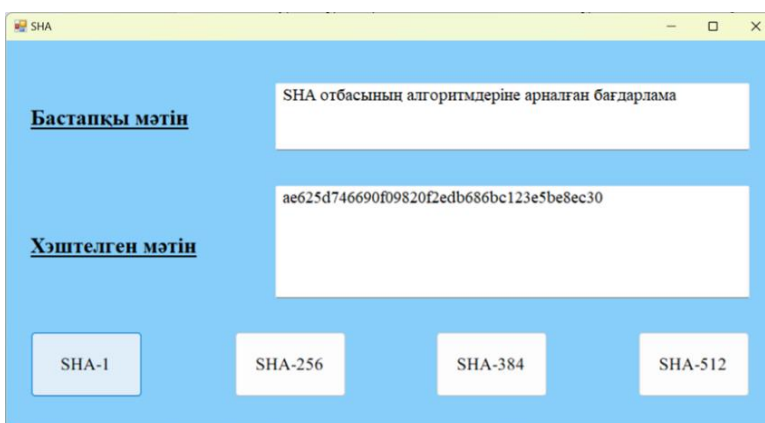
Төмендегі 5-суретте C# объектіге бағытталған бағдарламалау тілінің арнайы кітапханасын қолдана отырып жасалынған қосымша терезесі бейнеленген. Бұл бағдарлама енгізілген бастапқы мәтінді SHA отбасының 4 түрлі алгоритмдерін пайдалана отырып, хештеуге қабілетті.

SHA топтағы ең көп қолданылатын алгоритмдердің бірі SHA-1 болып табылады.

SHA-1 айнымалы ұзындықты енгізуді қабылдайды және 160 бит тұрақты ұзындық хэш мәнін жасайды. Алгоритмде соқтығысуға төзімділік және бір бағыттылық қасиеттері бар, бұл оны әртүрлі қолданбаларда деректер тұтастығын тексеру және қауіпсіздік үшін пайдалы етеді [16].



4-сурет. MD5 алгоритмінің бағдарламалық көрінісі



5-сурет. SHA-1 алгоритмінің бағдарламалық көрінісі

Блокчейндегі транзакцияларды тесттік желісінің мысалында зерттеу. Блокчейн – белгілі бір ережелерге сәйкес құрылған деректерді ұйымдастыру жүйесі, егер де ағылшын тілінен сөзбе-сөз, тура мағынада аударса, онда «блоктар тізбегі» деген мағына береді.

Блокчейн жүйесінде әрбір транзакция жүйе мүшелерінің көпшілігінің консенсусы арқылы тексеріледі. Бір рет енгізілгеннен кейін ақпаратты ешқашан өшіруге болмайды. Блокчейнде әрбір жасалған транзакция туралы нақты және тексерілетін жазба бар.

Транзакция деп қарапайым сөзбен бір шоттан екінші шотқа ақша аударудан тұратын операцияны атайды. Бұл криптовалюталарға негізделген блокчейн технологиясының негізгі құрылыс материалы. Әрбір транзакцияға меншік құқығын тексеру және транзакцияның тұтастығын қамтамасыз ету үшін жіберуші криптографиялық түрде қол қояды.

Крипто-әмияндар сіздің жеке кілттеріңізді – криптовалюталарыңызға кіруге мүмкіндік беретін құпия сөздерді – қауіпсіз және қол жетімді етіп сақтайды, бұл сізге Bitcoin және Ethereum сияқты криптовалюталарды жіберуге және алуға мүмкіндік береді [17].

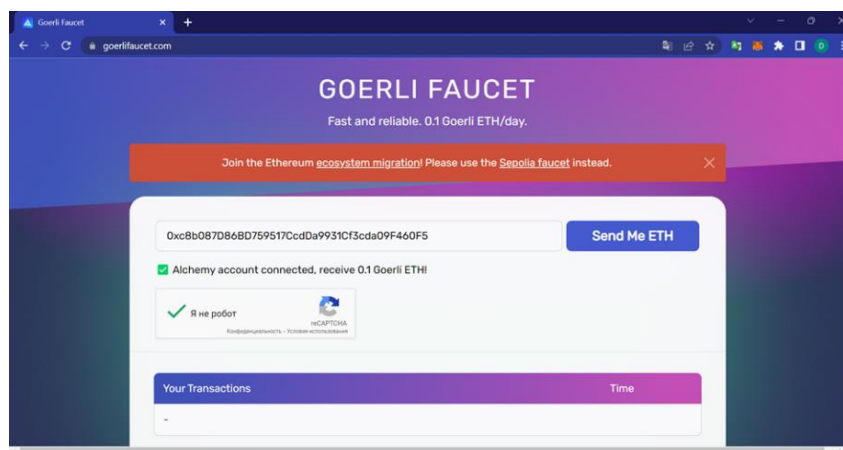
Нақты қолма-қол ақшаны сақтай алатын кәдімгі әмияннан айырмашылығы, крипто әмияндар қолданушының криптовалюталарын техникалық түрде емес, блокчейн желісінде сақтайды, дегенмен де активтерге тек жеке кілт арқылы ғана қол жеткізуге болады. Қолданушының кілттері оның сандық ақшаларына меншік құқығын растай отырып, транзакциялар жасауға да мүмкіндік береді. Егер де пайдаланушы жеке кілттерін жоғалтқан, немесе ұмытқан жағдай орын алса, онда активтеріне қайтадан қол жеткізуі екі талай. Сондықтан да, криптовалютаны жоғалтып алмас үшін крипто әмиянның қауіпсіздігін қамтамасыз ету немесе сенімді әмиян түрін пайдалану керек, мысалы – Metamask [18].

MetaMask – бұл Ethereum блокчейнімен өзара әрекеттесу үшін қолданылатын криптовалюталық бағдарламалық әмиян, әлемдегі ең көп сұранысқа ие криптовалюта әмияндарының бірі.

Шынайы транзакцияның қалай жүргізілетінін білу мақсатында Metamask крипто-әмияндағы екі аккаунт қолданылды. Айта кететін жайт, транзакциялар жасау үшін шынайы “Ethereum Mainnet” желісін емес, “Goerli” деп аталатын тесттік желіні пайдаланылды.

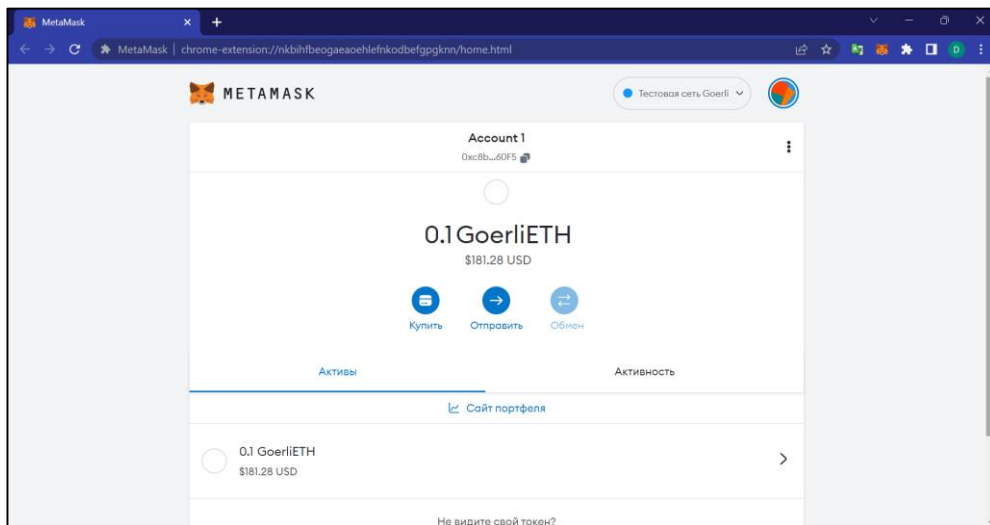
Тесттік желілер – бұл Эфириум желісіне ұқсайтын және Эфириум сияқты жұмыс жасайтын желілер, алайда олар шынайы ақшамен жұмыс жасамайды және көбінесе бағдарламашылардың өздерінің қосымшаларын тексерулері үшін қолданылады.

“Goerli” тесттік желісінде жұмыс жасау үшін “GoerliETH”, яғни “Goerli эфирлары” қажет болады, ал бұны алу үшін goerlifaucet.com деп аталатын сайтқа кіру керек.



7-сурет. Goerli Faucet сайтының көрінісі

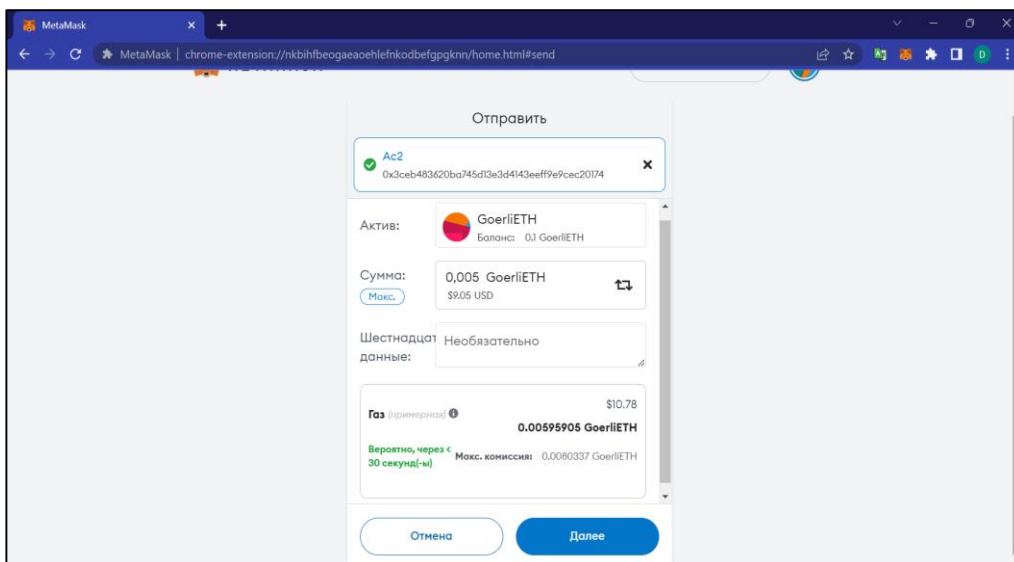
Арнайы шарттарын орындап, “Send Me ETH” батырмасын басса, бірер секундтардан кейін крипто-әмиянға сайтта көрсетілгендей мөлшердегі “GoerliETH” келіп түседі.



8-сурет. Крипто-әмиян

Енді шынайы транзакцияларды да жүргізе берсе болады. Ол үшін «отправить» батырмасын басып, төмендегі 9-суретте көрсетілгендей жіберетін сумма енгізіледі. Бұл жерде айта кететін жайт – газ бағасын да есептеу керек.

Газ – бұл майнерлерге (валидаторларға) транзакцияны блокқа қосу үшін қанша эфир төлеу керектігін анықтайтын блокчейн желісіндегі жұмыс өлшемі. Газ транзакциялар үшін "отын" ретінде қызмет етеді. Блокчейн бір уақытта тонналаған аударымдарды жүзеге асырады. Газ бағасы оны берілген уақыт аралығында қаншалықты көп қолданушылар пайдаланатынына байланысты өзгеріп тұрады.



9-сурет. Транзакция жасау

Блокчейннің ең негізгі қасиеттерінің бірі бұл – ашықтық, биткойн немесе эфириум секілді криптовалюта желілерін алып қарасақ, олардың арнайы сайтына кіру арқылы кез келген транзакция жайлы мәліметтерді оңай білуге болады.

Transaction Hash	Method	Block	Age	From	To	Value	Txn Fee
0x527bf2e31703d91da...	Transfer	8767179	12 days 19 hrs ago	0x51C200...8f891ABE	0xc8b087...09F460F5	0.02 ETH	0.01343694
0x051cae6bce86613e...	Transfer	8761393	13 days 20 hrs ago	0xC9af69...50265e73	0xc8b087...09F460F5	0.02 ETH	0.00860941
0x69ceb0c6a2152166...	Transfer	8749385	15 days 22 hrs ago	0x7A21FE...6a8aEe40	0xc8b087...09F460F5	0.02 ETH	0.00669399
0x802e6c4df66db25e0...	Transfer	8743691	16 days 23 hrs ago	0x030b1C...EC3C67c4	0xc8b087...09F460F5	0.1 ETH	0.01008859
0xe6a79e6af02984d2d...	0x60806040	8743310	17 days 1 hr ago	0xc8b087...09F460F5	Contract Creation	0 ETH	0.05331744
0x3c7c20e41857b7d...	Transfer	8738697	17 days 20 hrs ago	0xc8b087...09F460F5	0x3CEb48...CEc20174	0.005 ETH	0.00537053
0xb95dd700a0f9c9ce3...	Transfer	8737915	17 days 23 hrs ago	0xCf48EE...73dFCD14	0xc8b087...09F460F5	0.1 ETH	0.02446205

10-сурет. Транзакциялар тарихы

Қолданушыға транзакциялар тарихы жазылған сайттың көмегімен белгілі бір крипто-әмиян арқылы жасалынған барлық транзакциялар жайлы әртүрлі деректерді білуге болады:

- Transaction Hash – жасалынған транзакцияның хеші;
- Method – аударым жасалынған әдіс түрі;
- Block – блок номері;
- Age – транзакцияның жасы, дәлірек айтсам, аударымның қанша уақыт бұрын жасалынғанын көрсетеді;
- From – қандай адрестен аударым жасалынды; бұл жерде айта кететін жайт – “From” және “To” екі кестенің отасында орналасқан сары және жасыл түсті белгілер аударымның жасалынған бағытын көрсетеді, яғни, “IN” – әмиянға жасалынған (кірген) транзакцияны көрсетсе, “OUT” – әмияннан жасалынған (шыққан), яғни қолданушының басқа адреске жіберген аударымын білдіреді;
- To – қандай адреске транзакция жасалынды;
- Value – көлем, қанша эфир жіберілді, соны көрсетеді;
- Txn Fee – криптовалюта транзакцияның жүзеге асырылуы үшін жасалатын міндетті төлемнің түрі, ол крипто-транзакцияларды орындау кезінде аударымдарды өңдеу мақсатында пайдаланушылардан комиссия ретінде алынады.

Транзакциялардың жұмыс жасау алгоритмі мына әрекеттерді құрайды:

- транзакциялар іске асу үшін, алгоритм бойынша, ең алдымен пайдаланушы көрсеткен деректер құрылымы хабар тарату үшін P2P желілеріне, яғни блокчейннің орталықтандырылмаған желілеріне жіберіледі;
- кейіннен ол деректер міндетті түрде арнайы тексерістен өту керек, егер де тексеріс кезінде қандай да бір бұзушылықтар байқалынса, онда транзакция жасалынбай қалады;
- келесі кезекте желідегі басқа да тексерістен өткен транзакциялардың барлығы бірігіп, жаңа блокты құрайды;

– блок құрылымы – валидациядан, яғни өзге бір тексерістен өтеді. Блоктың валидациясы – блок құрылымының дұрыстығын, оны құру уақытын, оның алдыңғы блокпен үйлесімділігін, сонымен қатар транзакциялық қолтаңбаларды және транзакциялардың блокчейн деректеріне сәйкестігін тексеру;

– тексеріс аяқталғаннан кейін, егер де блок валидациядан сәтті өтсе, онда блоктар тізбегіне келесі жаңа блок ретінде қосылады, ал керісінше жағдайда блок жай ғана жарамсыз деп танылады. Жаңа блок жарамсыз деп табылса, онда блокты барлық түйіндер бірден қабылдамай қояды, және де, нәтижесінде блок жойылады, ал желі түйіндері транзакция деректерін өңдеуді жалғастырады немесе жаңа блоктың хэш-пазлын аяқтайды. Жарамсыз блокты жіберген түйін марапатталмайды.

Қорытынды. Жұмыс барысында ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету мақсатында блокчейн технологиясына негізделген компьютерлік модель жасалынды. Бұл модель транзакцияларды жүзеге асыруға және деректерді блокчейнде сақтауға мүмкіндік бере отырып, ақпаратты қорғаудың жоғары деңгейіне кепілдік береді. Сонымен қатар, жұмыс аясында SHA және MD5 алгоритмдерін қолдана отырып, енгізілген мәліметтің хэш мәндерін есептеу бағдарламасы жасалынды, және де файлдардың хэш мәндерін есептеу жолы көрсетілді. Бұл хэштеу алгоритмдері ақпараттық қауіпсіздік саласында кеңінен қолданылатын және кеңінен танылған құралдар болып табылады. SHA алгоритмін әзірленген блокчейн моделіне енгізу жүйенің қауіпсіздігін толықтырады және деректердің тұтастығын растайды.

Сондай-ақ, жұмыста блокчейннің құрылымын, блоктардың негізгі элементтерін, блокчейннің әртүрлі салаларда қолданылуын және оның биткойн және эфириум сынды криптовалюталармен байланысын қарастыратын блокчейн технологиясына кең теориялық шолу берілген. Сонымен қатар, Metamask кибер-әмиянын ашу процесі және goeГІ тесттік желісінде шынайы транзакциялардың нақты қалай жүзеге асырылатыны көрсетілген. Бұл блокчейнмен және криптовалюталармен жұмыс істеудің нақты қадамдарымен және процестерімен танысуға мүмкіндік бере отырып, әзірленген модельді тереңірек түсінуге және оны практикалық қолдануға ықпал етеді.

Зерттеудің нәтижелері мен қорытындылары академиялық және кәсіби қауымдастық үшін маңызды үлес болып табылады және оларды одан әрі қолдану біздің барған сайын цифрлық және байланысқан әлемімізде қауіпсіздікті жақсартуға көмектеседі.

Әдебиеттер тізімі

1. Исроилов, С.Г., & Верзунов, С.Н. (2021). Разработка защищенной системы электронного документооборота на основе блокчейн-технологии. Проблемы автоматки и управления, (2), 61-76. извлечено от <http://pau.imash.kg/index.php/pau/article/view/204>
2. Aliya, B., Olga, U., Yenlik, B., & Sogukpinar, I. (2023). Ensuring Information Security of Web Resources Based on Blockchain Technologies. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 14(6).
3. Li, C., Sun, X., & Zhang, Z. (2021). Effective methods and performance analysis of a satellite network security mechanism based on blockchain technology. IEEE Access, 9, 113558-113565.
4. Antonopoulos A.M. Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies. – " O'Reilly Media, Inc.", 2017. – 109 pp.
5. Kube N. Daniel Drescher: Blockchain basics: a non-technical introduction in 25 steps: Apress, 2017, 255 pp, ISBN: 978-1-4842-2603-2. – 2018.
6. Comert O. Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies Is Changing the World. – 2020.
7. Bahga A., Madiseti V. Blockchain applications: a hands-on approach. – Vpt, 2017.
8. "Blockchain Basics: A Primer for Professionals" by Consensus
9. Jacki Foseid. Blockchain Security: A Comprehensive Guide for Beginners to Advanced

10. Козин И.С. Метод обеспечения безопасной обработки персональных данных на основе применения технологии блокчейн // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 5. С. 892 – 900 doi: ISSN: 2226-1494
11. Gervais A., Karame O., Wust K., Glykantzis V., Ritzdorf H., Capkun S. On the Security and Performance of Proof of Work Blockchains (URL: https://ethz.ch/content/dam/ethz/specialinterest/infk/inst-infsec/system-security-group-dam/research/publications/pub2016/ccs16_gervais.pdf)
12. Cormen, Thomas H., et al. Introduction to Algorithms. MIT Press, 2009.
13. Schneier, Bruce. Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C. John Wiley & Sons, 1996.
14. URL: <https://www.okta.com/identity-101/hashing-algorithms/>
15. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109483101/how-do-you-determine-the-sha-256-or-sha-512-checksum-of-a-file-?dti=0&lc=en-AE>
16. Douglas Stinson, Rafael Osso. Cryptography: Theory and Practice. CRC Press, 2005
17. Antonopoulos, Andreas M. Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies. O'Reilly Media, 2014.
18. URL: <https://www.coinbase.com/ru/learn/crypto-basics/what-is-a-crypto-wallet>

References

1. Isroilov, S.G., & Verzunov, S.N. (2021). Razrabotka zashchishchennoj sistemy ehlektronnogo dokumentooborota na osnove blokchejn-tehnologii. Problemy avtomatiki i upravleniya, (2), 61-76. izvlecheno ot <http://pau.imash.kg/index.php/pau/article/view/204>
 2. Aliya, B., Olga, U., Yenlik, B., & Sogukpinar, I. (2023). Ensuring Information Security of Web Resources Based on Blockchain Technologies. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 14(6).
 3. Li, C., Sun, X., & Zhang, Z. (2021). Effective methods and performance analysis of a satellite network security mechanism based on blockchain technology. IEEE Access, 9, 113558-113565.
 4. Antonopoulos A.M. Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies. – " O'Reilly Media, Inc.", 2017. – 109 rp.
 5. Kube N. Daniel Drescher: Blockchain basics: a non-technical introduction in 25 steps: Apress, 2017, 255 pp, ISBN: 978-1-4842-2603-2. – 2018.
 6. Comert O. Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies Is Changing the World. – 2020.
 7. Bahga A., Madiseti V. Blockchain applications: a hands-on approach. – Vpt, 2017.
 8. "Blockchain Basics: A Primer for Professionals" by Consensus
 9. Jacki Foseid. Blockchain Security: A Comprehensive Guide for Beginners to Advanced
 10. Kozin I.S. Metod obespecheniya bezopasnoj obrabotki personal'nykh dannykh na osnove primeneniya tekhnologii blokchejn // Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki. 2019. – T. 19. – № 5. – S. 892-900. doi: ISSN: 2226-1494
 11. Gervais A., Karame O., Wust K., Glykantzis V., Ritzdorf H., Capkun S. On the Security and Performance of Proof of Work Blockchains (URL: https://ethz.ch/content/dam/ethz/specialinterest/infk/inst-infsec/system-security-group-dam/research/publications/pub2016/ccs16_gervais.pdf)
 12. Cormen, Thomas H., et al. Introduction to Algorithms. MIT Press, 2009.
 13. Schneier, Bruce. Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C. John Wiley & Sons, 1996.
 14. URL: <https://www.okta.com/identity-101/hashing-algorithms/>
 15. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109483101/how-do-you-determine-the-sha-256-or-sha-512-checksum-of-a-file-?dti=0&lc=en-AE>
 16. Douglas Stinson, Rafael Osso. Cryptography: Theory and Practice. CRC Press, 2005
 17. Antonopoulos, Andreas M. Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies. O'Reilly Media, 2014.
 18. URL: <https://www.coinbase.com/ru/learn/crypto-basics/what-is-a-crypto-wallet>
-
-

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
ARTIFICIAL INTELLIGENCE

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_155
IRSTI 68.01.29

V.I. Medennikov

Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia
E-mail: dommed@mail.ru*

SOCIAL IMPLICATIONS OF IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE RUSSIAN AGRICULTURE

РЕСЕЙ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ЕНГІЗУДІҢ ӘЛЕУМЕТТІК САЛДАРЫ

СОЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РОССИЙСКОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Abstract. The purpose of the study is to analyze the necessary conditions for the successful application of artificial intelligence in the digitalization of agriculture. On the example of the list of the most significant developments of artificial intelligence offered by the market in the industry, these conditions and the problems of their successful application are analyzed, since the intensity and coverage of the directions of development of technologies and methods of artificial intelligence turned out to be so great that the introduction of these technologies can radically change not only the economic, but also the social situation. The most important resource for these applications is data, so much attention is paid to the formation of a structured space for them. It is shown that Russian agriculture is not ready for a full-scale digital transformation due to the lack of necessary conditions for the introduction of innovations. For example, 90% of all data at Russian enterprises is recorded on paper or entered manually into Excel, it is impossible to use them for artificial intelligence technologies. It is shown that the solution to this problem can be the formation of a single digital platform for managing the economy, consisting of two specialized subplatforms: an aggregator subplatform for collecting and accumulating primary information and an applied subplatform for production management tasks. At the same time, the widespread introduction of a single digital control platform in any production leads to a more efficient system for applying artificial intelligence technologies. It is shown that the applications of these technologies must undergo integration transformations into the standards of the proposed unified digital platform for agricultural management, obtained by mathematical modeling. The used original model for the formation of a digital platform for agricultural management is based on the experience of informatization of agro-industrial enterprises of the Kuban with the introduction of artificial intelligence elements in the cultivation of tomatoes and sugar beets. This digital control platform will become an integrator of scientific and industrial information systems. And artificial intelligence technologies in this case will determine the structure of IT specialists, restructure education at universities, significantly increase the efficiency of digitalization of agriculture, and lead to a significant reduction in environmental hazards throughout the agro-industrial complex.

Keywords: Artificial intelligence; digital economy; agriculture; human capital, mathematical modeling.

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – ауыл шаруашылығын цифрландыруда жасанды интеллектті сәтті қолдану үшін қажетті жағдайларға талдау жасау. Салада нарық ұсынатын жасанды интеллекттің ең маңызды әзірлемелерінің мысалында осы жағдайлар мен оларды сәтті қолдану мәселелері талданады, өйткені жасанды интеллекттің технологиялары мен әдістерін дамыту бағыттарының қарқындылығы мен қамтылуында интеллекттің рөлі соншалықты үлкен болып шықты, бұл технологияларды енгізу экономикалық жағдайды ғана емес, әлеуметтік жағдайды да түбегейлі өзгерте алады. Бұл қосымшалар үшін ең маңызды ресурс - бұл деректер, сондықтан олар үшін құрылымдық кеңістікті қалыптастыруға көп көңіл бөлінеді. Ресейлік ауыл шаруашылығы инновацияларды енгізу үшін қажетті жағдайлардың болмауына байланысты толық ауқымды цифрлық трансформацияға дайын емес екендігі көрсетілген. Мысалы, ресейлік кәсіпорындардағы барлық деректердің 90 %-ы қағазға жазылады немесе Excel-ге қолмен енгізі-

леді, оларды жасанды интеллект технологиялары үшін пайдалану мүмкін емес. Бұл мәселенің шешімі екі мамандандырылған қосалқы платформадан тұратын экономиканы басқарудың бірыңғай цифрлық платформасын қалыптастыру болуы мүмкін екендігі көрсетілген: бастапқы ақпаратты жинауға және жинақтауға арналған агрегаторлық қосалқы платформа және өндірісті басқару міндеттері үшін қолданбалы қосалқы платформа. Сонымен қатар, кез келген өндірісте бірыңғай цифрлық басқару платформасын кеңінен енгізу жасанды интеллект технологияларын қолданудың тиімді жүйесіне әкеледі. Бұл технологиялардың қосымшалары математикалық модельдеу арқылы алынған ауыл шаруашылығын басқарудың бірыңғай цифрлық платформасының стандарттарына интеграциялық түрлендірулерден өтуі керек екендігі көрсетілген. Ауыл шаруашылығын басқарудың цифрлық платформасын қалыптастырудың пайдаланылған түпнұсқа моделі қызанақ пен қант қызылшасын өсіру кезінде жасанды интеллект элементтерін енгізе отырып, Кубаньнің агроөнеркәсіптік кәсіпорындарын ақпараттандыру тәжірибесіне негізделген. Бұл цифрлық басқару платформасы ғылыми және өндірістік ақпараттық жүйелердің интеграторы болады. Бұл жағдайда жасанды интеллект технологиялары АТ мамандарының құрылымын анықтайды, университеттерде білім беруді қалпына келтіреді, ауыл шаруашылығын цифрландырудың тиімділігін едәуір арттырады және барлық агроөнеркәсіптік кешендерде экологиялық қауіптің айтарлықтай төмендеуіне әкеледі.

Түйін сөздер. Жасанды интеллект; цифрлық экономика; ауыл шаруашылығы; адами капитал, математикалық модельдеу.

Аннотация. Цель исследования – проанализировать необходимые условия для успешного применения искусственного интеллекта при цифровизации сельского хозяйства. На примере перечня наиболее значимых разработок искусственного интеллекта, предлагаемых рынком в отрасли, анализируются эти условия и проблемы их успешного применения, поскольку интенсивность и охват направлений развития технологий и методов искусственного интеллекта интеллект оказался настолько велик, что внедрение этих технологий может радикально изменить не только экономическую, но и социальную ситуацию. Важнейшим ресурсом для этих приложений являются данные, поэтому формированию структурированного пространства для них уделяется большое внимание. Показано, что российское сельское хозяйство не готово к полномасштабной цифровой трансформации из-за отсутствия необходимых условий для внедрения инноваций. Например, 90 % всех данных на российских предприятиях записываются на бумаге или вводятся вручную в Excel, использовать их для технологий искусственного интеллекта невозможно. Показано, что решением данной проблемы может стать формирование единой цифровой платформы управления экономикой, состоящей из двух специализированных субплатформ: агрегаторной субплатформы для сбора и накопления первичной информации и прикладной субплатформы для задач управления производством. При этом повсеместное внедрение единой цифровой платформы управления на любом производстве приводит к более эффективной системе применения технологий искусственного интеллекта. Показано, что приложения этих технологий должны пройти интеграционные преобразования в стандарты предлагаемой единой цифровой платформы управления сельским хозяйством, полученные путем математического моделирования. Используемая оригинальная модель формирования цифровой платформы управления сельским хозяйством основана на опыте информатизации агропромышленных предприятий Кубани с внедрением элементов искусственного интеллекта при выращивании томатов и сахарной свеклы. Эта цифровая платформа управления станет интегратором научных и промышленных информационных систем. А технологии искусственного интеллекта в этом случае определяют структуру ИТ-специалистов, перестроят образование в университетах, существенно повысят эффективность цифровизации сельского хозяйства и приведут к существенному снижению экологической опасности во всем агропромышленном комплексе.

Ключевые слова. Искусственный интеллект; цифровая экономика; сельское хозяйство; человеческий капитал, математическое моделирование

Introduction. Amid the ongoing digital transformation (DT), the world has recently seen a significant increase in the scientific and practical interest in the problems of human capital (HC). This interest is due to the understanding of its key role in the social and economic life and the society development with a drastic change in the technological patterns at all hierarchical levels: national, sectorial, regional, corporate, and individual.

However, digital economy (DE) requires pivotal modernization of production processes, personnel retraining, from workers to top managers, transition to modern management methods

corresponding to new opportunities of information and communications technology (ICT). Such an economy needs highly qualified specialists who have necessary competencies and are able to invest their HC in the production and to develop themselves.

HC being realized as a key factor in the development of modern society has predictably set the task of assessing its transformation depending on the economy digitalization. Such an assessment, if based on a scientific integral approach, on sufficient and reliable information, allows for selecting the most effective ways to use this capital and the entire DE.

Serious research in the field was described in the paper by [1], which shows that the company's ICT economic efficiency hinges not only on investments in ICT, but on the so-called complementary changes driven by DT. According to the authors, complementary assets are those assets that should be developed together. Only well-coordinated changes in all production factors enable company to gain maximum profit. Later, this hypothesis was proved by other authors [2]. Thus, it was concluded that investment in ICT is more efficient with investment in other complementary assets: human and organizational capitals in certain proportions.

Therefore, this paper considers the dynamics of social transformation of human resources in the field of applying of artificial intelligence (AI) methods, the technology of which drastically influences the process of complementary changes in economy, as exemplified by the Russian agro-industrial complex (AIC).

Materials and methods of research. A huge attention gained by the DE program, that was adopted in 2017 in Russia, resembles the similar interest that arose during the approval of the Integrated Scientific and Engineering Program (ISEP) in 1985 by member countries of the Council for Mutual Economic Assistance (CMEA), a subprogram of which was electronification, namely, that of agriculture. Just as now, the national government have high hopes for electronification. By the moment of adopting the ISEP, the greatest problem in our country was its ineffective agriculture; therefore, considering electronification as one of the growth drivers, they established the Research Institute for Cybernetics in AIC (VNIIC) with a strong team of informatization experts (about 50 graduates of the Moscow Institute of Physics and Technology) engaged. VNIIC became the head organization in the task of "Electronification of Agriculture" in the CMEA.

In view of the expected growing numbers of personal computers, VNIIC faced an important scientific and engineering challenge: selecting an informatization strategy for the coming decades. For this purpose, the corresponding concept was developed. The concept involved informatization of the sector in the following closely interconnected areas: informatization of production (informatization of technological and managerial processes), education, social sphere in rural areas, and agricultural science. At the same time, informatization, like mechanization, chemicalization, etc., should become an integral part of agricultural production systems and, like other industries, should have its own scientific support, technical base, organizational infrastructure, and staff.

As a resource-saving strategy, VNIIC chose the path of comprehensive informatization of reference facilities in the Kuban and the Stavropol Territory with the development of standard information systems (IS) modules to be further replicated throughout the country. Such an approach would make it possible to transfer the existing spontaneous process of informatization into the monitored and regulated mode, to involve many farms on a single methodological basis, with uniform requirements for the composition of the hardware and software used, as well as for personnel. The experience of individual subsystems introduced into about 1,000 farms has proven this approach to be correct.

However, the informatization of technological processes was faced precisely with the limitations of complementary interdependencies of various assets. Thus, a farm head rejected the proposal to introduce unmanned technology using expert systems, being the prototype of modern

AI methods, for cultivation of sugar beet using precision seed drills, combine harvesters, new varieties of seeds placed in a shell of chemical plant protection products against diseases and pests, to be paid out of public funds, claiming that he had employed 700 women to thin and weed crops, so, with DT introduced, these workers would have no job to do. On the other hand, they could introduce this scheme for growing tomatoes in a farm covering 200 hectares. However, there were problems here, too. One of them was that the tomato farming technology presupposed their simultaneous ripening followed by harvesting using an appropriate combine harvester, unlike their manual harvesting as they ripen throughout the season. With simultaneous harvesting, neither the retail chain nor the processing factories were able to accept all the harvested products at the same time. Another problem was the lack of the necessary data for the reliable operation of the expert system and the ontological incompatibility and inconsistency of existing systems. Introducing a microclimate control system in a large pig farm could not be completed due to the need to reconstruct the premises, which required significant investment.

To develop standard IS modules and to solve the problem of ontological incompatibility of data circulating at reference facilities, a technology for the synthesis of optimal IS at farms was developed on the basis of the corresponding mathematical model [3]. Its deployment improved the IS quality and reliability, reduced their implementation cost, in particular, due to uniform training of specialists for their deployment. Based on calculation, ontological (conceptual) and logical models of technological databases (digital standards) were obtained and developed in 19 types of farms existing at reference facilities, that were common for all of them. In addition, for the same farms, management tasks were identified through ontological modeling with uniform agreed algorithms. These developments were implemented by a creative team from various leading sectorial research institutions and VNIIC on a single methodological basis.

The further development of the digitalization of agriculture has confirmed the correctness of this approach. The area of the most significant application of DE in agriculture is precision farming (PF), currently booming. It involves integrating the new agricultural technology and high-precision positioning based on remote sensing of the Earth (RSE), as well as differentiated, highly effective, and environmentally friendly agritech measures in the fields based on detailed information on the chemical and physical parameters of each land plot. Intensive research is underway around the world to improve this technology [4-13]. PF requires integrating a huge amount of information, which can only be processed by AI technology that requires a sufficient amount of structured and reliable data. Thus, among the AI-related problems, the lack of structured and reliable data was put in the first place by experts in this area [14].

Since almost all known technologies of precise farming cannot go without the use of AI applications, we will mention the most significant ones offered by the AI development market [15].

1. Machine learning in field monitoring. Taranis, an Israeli startup, provides accurate information on the state of plants, based on the readings of field sensors, weather stations, and aerial photography, which allows for timely identification of such negative factors as diseases and pests, nutrient deficiencies, followed by developing the recommendations for on-the-spot intervention.

The Watson Decision Platform for Agriculture by IBM provides advice concerning the doses, type of pesticides, and the optimal timing of their application in case of corn lesions risks, based on Earth remote sensing data (HD-NDVI index). Farmers get yield forecasts, etc.

Health Change Maps and Notifications, an AI platform, be Farmers Edge promptly informs the farmer on the efficiency of the equipment, the condition of plants, the appearance of pests or diseases, the lack of nutrients, etc.

The Field Manager mobile app from Bayer gives the user information on possible risks of crops and recommendations on how to prevent them based on the processing of Earth remote sensing data and a large amount of other data from the database.

The Hummingbird Technologies platform provides farmers with information on the current state and volume of plant mass, the presence of weeds, nitrogen deficiency in plants, etc. — not only based on the Earth remote sensing data but also due to the use of ground-based monitoring tools and UAV images.

2. AI technologies for weeding. Nowadays, the use of AI for weed and pest control experiences active development. Thus, Bayer and Bosh are developing a Smart Spraying technology, which will recognize a weed and determine the type and required amount of pesticide. The Weed Killer by EcoRobotix is capable of moving through the field independently, recognizing detected weeds, and applying treatment thereto. It is claimed that the technology will yield a 20-fold reduction in the use of herbicides. WeedSeeker, an autonomous system, by Trimble performs spot spraying of weeds. The system identifies weeds by using LEDs that scan the surface in the red and infrared range. The reflected light is analyzed automatically, and when a plant is detected, a signal is sent to the nozzle to trigger it exactly above the weed.

3. AI technologies for identifying plant diseases. AI is currently helping farmers to choose treatment methods with the calculation of economic indicators after identifying a plant disease. The process is based on photos of the affected part of the plant. A similar mobile app Plantix by Peat – Plantix – provides farmers with the ability to identify over 60 plant diseases. The app contains an extensive database of images with identification by plant varieties, types of bacteria, diseases, etc. Scouting, an application by Bayer-BASF, also helps to diagnose diseases, developmental disorders, and the degree of nitrogen availability for plants – through photo processing.

4. AI technologies in the digitalization of cattle breeding. Foreign experience in cattle breeding digitalization shows that almost all process operations are suitable for digital transformation using AI. Here are the main directions of this transformation.

– Improving the quality of animal housing conditions through smart control systems for light conditions, microclimate, feeding, and manure removal, since the comfort of animals affects their productivity.

– Breed selection. Selection will allow for accurate breeding according to the specified requirements and properties (lack of genetic predisposition to certain diseases, meat and dairy qualities, growth and maturation rate). Currently, great hopes are placed on AI methods, for example, on the development of methods for analyzing genomic information to assess the breeding value of an animal at an early age. Currently, research is being conducted on selecting the sex of the animal, milk productivity, and the thickness of a steak cut.

– Analysis of milk quality; diagnosis and prevention of animal diseases; compliance with sanitary and hygienic standards.

Results and discussion. The informatization experience at reference facilities made it possible to identify the following four evolutionary stages in the IS development, each of which was marked by significant transformation of data and software storage, transfer, processing, and integration methods. At the first IS development stage, almost all application software was usually developed by corporate specialists. It was focused either on the needs of a specific farm or those of a narrow group of similar farms, which required significant costs to support it. It was a traditional, the so-called task-oriented approach. At the second stage, with ICT improvement resulting in software standardization, cooperation, integration and lower cost, the functional capacities of systems were expanded. This process allowed to optimize managerial functions and information processing methods. The third stage was associated with the emergence of local area networks (LAN) and data base management system (DBMS). At this stage, placed at virtual computer nodes in a LAN, both software and data were physically and logically separated from specific computing facilities. The fourth IS evolution stage was about the digital era. Meanwhile, starting from the second stage, there was an economic expediency in replicating ISs to a certain group of farms; that is, the IS design space of each farm should be subjected to an important IS

designing procedure – ontological modeling, in other words, the process of integrating heterogeneous data and knowledge of specialists from various businesses. As a result, international management standards – MRPII, ERP, CSRP – were developed to serve as a mere methodology for managing finance, material flows, production, projects, service, quality, and staff.

Introducing standards for information resources (IRs) was not that urgent, because, on the one hand, ISs could be comprehensively tailored to specific farms and, on the other hand, they were replicated to relatively homogeneous farms. However, standardization was necessary in the transition to the fourth IS evolution stage, when the Internet emerged, enabling an unlimited number of users to access various ISs. At the same time, it was possible to integrate various ISs and IRs not only in individual companies, but also across industries, countries, and across the world community. Under these conditions, accounting and monitoring of the maximum possible number of agricultural processes becomes the priority in developing a digitalization strategy for the largest agro-industrial firms worldwide. For instance, while in 2014, 190,000 measurements were made at smart farms to inform farmers, the number of measurements will grow to 4.1 million per day by 2050. It is almost impossible to independently navigate this information flow [15], and AI technology should help there, since one of the tasks of AI is generalizing, analyzing, processing data from various monitoring tools, and giving recommendations based on the same.

Since the transition to each next stage was accompanied by the growing number and complexity of automated tasks, there should be a change in both the organizational structure of IS development, implementation, and operation, the system for retraining AI app specialists and users and other DE tasks, as well as a change in the nomenclature of IT specialties, which needs subsequent restructuring of university education.

In this regard, it is of interest to consider a change in the composition of executors responsible for implementing ISs. At the second stage, due to the insolubility of the problem of ontological incompatibility of data and an increase in the number of automated tasks, software customization units were added to standard solutions for the needs of an individual user. Due to this fact, company managers, based on business considerations and the prospects of the new area, started sending their children to study at ICT departments to further develop and deploy software in their companies, which later made it difficult to switch to boxed solutions. At the third stage, boxed solutions became widespread, which, nevertheless, required competent implementation specialists due to the lack of standards for IRs and management functions. According to IC managers, about 300,000 programmers are employed for implementing their accounting automation systems, which is due to the need to customize the software for a specific user. As a result, the accounting and reporting system in our country is unmanageable and expensive, which significantly increases the cost of accounting in Russia and, consequently, reduces business profitability. These trends are confirmed by the results of monitoring the informatization of 300 best agro-industrial businesses [16]: at the time of the study, mainly accounting software was being implemented; even these solutions were developed by several companies (23% by own efforts, 16% by IC, 45% by a regional organization, 6% by a federal organization, 6% by an individual, 3% by a tax service); this software is informationally, ontologically, and ergonomically incompatible. Therefore, a task-oriented, original approach to the design and development of IS still prevails in Russia today. Although, before the DE era, it was still possible to put up with such a situation due to the low penetration of informatization into the business management system, haphazard implementation of ICT in the era of total economy digitalization will lead to huge expenses. Thus, following this approach, with the number of problems solved in crop production estimated as 150, the number of various process operations in the industry estimated as 20, the number of regions estimated as 80, and the number of crops estimated as 20, we get potentially 4,800,000 different versions of ISs. However, as stated above, most of the farms

today still use solutions independently developed within a company; however, the lack of qualified specialists in data science and in the development and implementation of AI in rural areas leads to a shift in demand towards boxed solutions.

Since the transition to each next stage was accompanied by the growing number and complexity of automated tasks, there should be a change in both the organizational structure of IS development, implementation, and operation, the system for retraining AI app specialists and users and other DE tasks, as well as a change in the nomenclature of IT specialties, which needs subsequent restructuring of university education.

In view of the above, the optimal IS synthesis model mentioned above was modified into a model for creating a digital platform (DP) to manage the AIC economy [17]. A digital platform is understood as a set of ordered digital data based on ontological modelling; mathematical algorithms, methods and models, software, and hardware tools for collecting, storing, processing and transmitting data and knowledge, optimally integrated into a single information and control system designed to manage the target subject area with the organization of rational digital interaction of stakeholders.

In this section, we present an abbreviated version of the core of the model so as not to go into the details of cluster analysis, semantic adjacency matrices, and the theory of automatic classification, which are required for the correct determination of optimum DP in the future. A digital platform is understood as a set of ordered digital data based on ontological modelling; mathematical algorithms, methods and models, software, and hardware tools for collecting, storing, processing and transmitting data and knowledge, optimally integrated into a single information and control system designed to manage the target subject area with the organization of rational digital interaction of stakeholders.

By the structure of a control system, we mean the organizational set of its interrelated elements that determine their place both in a purely physical and technological sense (the level and specific location of an element in space and the technological scheme of decision-making and information processing). The design of digital platforms' structure is understood as building relationships between the elements of the management structure under the specified performance criteria as a whole.

We consider a system consisting of a set of control nodes j (for example, a ministry, regional agricultural bodies, enterprises, departments), a set of tasks K associated with processing data located in data centres, situational centres, data clusters L , communication types R . The control process is assumed periodically with a period of T . All operations of calculations, data transmission, etc. averaged over time. We will assume that any task can be solved at any node, including breaking along these nodes. To solve the problems, some generalized technical means are used. The set of formalized model's parameters includes:

k – task number, $k \in K$;

l – group information item number, $l \in L$;

j – control unit number, $j \in J$;

f_{klj}^e – average characteristics (amount of information; time, frequency requirements, etc.)

for the information of the l -th group, necessary for the task k , arising in the node j , $e \in E$;

$x_{jk} = 1$, if the task k is solved at node j , 0 – otherwise;

$\alpha_{klj} = 1$, if the l -th group arises at the j -th node for the task k , 0 – otherwise;

$y_{l_1 j_2 r} = 1$, if information from the l -th group is transmitted from the j_1 -th node to the j_2 -th by the r -th means of communication;

d_{mjk} – necessary resources of the m -th type to solve the task k at the j -th node;

M_m – m -th equipment resources;
 $s_{lj_1j_2r} = 1$, if the r -th link type is used to transfer the l -th group from the j_1 -th to the j_2 -th node;
 G_r^e – communication characteristics; c_j^1 – the cost of a piece of equipment in the j -th node;
 $c_{j_1j_2r}^2$ – the cost of the r -th means of communication when transferring information from j_1 to j_2 ; $c_{j_1j_2r}^3$ – the cost of transferring a unit of information from j_1 to j_2 ;
 c_{mjk}^4 – the cost of the m -th resource for solving the task k in the j -th node; c_k^5 – generalized cost of the k -th task; c^0 – funds allocated for the development of a digital platform.

Restrictions on the placement of tasks by nodes and technical means:

$$\sum_j x_{jk} \geq 1, \quad k \in K^3 \in K, \quad (1)$$

that is, the k -th task must be solved at least in one node;

$$x_{jk} \geq 1, \quad j \in J_1, \quad k \in K^4 \in K, \quad (2)$$

i.e., some task from the set K must be solved at some nodes $j \in J_1$.

The conditions for transferring information from node j_1 to node j_2 are as follow:

$$\sum_r y_{lj_1j_2r} = \sum_k a_{klj_1} x_{j_2k}, \quad j_1 \neq j_2. \quad (3)$$

Information is transferred from the node j_1 to the node j_2 when it occurs at the node j_1 and is used at the node j_2 for task k .

Equipment load limitations:

$$\sum_{jk} d_{mjk} x_{jk} \leq M_m. \quad (4)$$

Restrictions on communication channels:

$$\sum_{l,k} y_{lj_1j_2r} f_{klj_2}^e \leq G_r^e s_{j_1j_2r}. \quad (5)$$

Financial restrictions on investments:

$$\sum_{j,k} c_j^1 x_{jk} + \sum_{j_1, j_2, r} c_{j_1j_2r}^2 s_{j_1j_2r} + \sum_{j,k} c_k^5 x_{jk} \leq c^0. \quad (6)$$

Efficiency criterion:

$$\sum_{j,k} c_j^1 x_{jk} + \sum_{j_1, j_2, r} c_{j_1j_2r}^2 s_{j_1j_2r} + \sum_{j_1, j_2, r} c_{j_1j_2r}^3 f_{klj_2}^e y_{lj_1j_2r} + \sum_{m, j, k} c_{mjk}^4 d_{mjk} x_{jk} + \sum c_k^5 x_{jk} \rightarrow \min$$

The model made it possible to scale up the ontological and logical models of technological databases, as well as unified management tasks developed for reference facilities, to the entire AIC. In addition, this model allowed to develop another digital standard. It is an IR axis standard with far-reaching implications for the effective development of AI technology. All primary accounting information can be generated in a general form (standard): operation type, operation object, location, the person who conducted the operation, date, time interval, means of production involved, volume of operation, type of resource consumed, amount of resource consumed, operation quality.

Another important result of the synthesis of the optimal DP in AIC is a scientifically based calculation of the need for specialists necessary for DE. Let us describe the main groups of these specialists. Firstly, they include ontologists. Secondly, specialists in creating databases. Thirdly, specialists in the development of large IS architecture. Fourthly, programmers who are able to develop such ISs with various information processing modes. Fifthly, information security specialists. And, of course, the largest group is IS implementation and support specialists.

Based on the mathematical model and the available experience in implementing individual ISs in one thousand farms, let us present some data on specialists necessary for the development of DP for AIC management. In crop production, an ontological model was developed by a creative team of 10 people from various industry research institutes and VNIIC. The database project, architecture, and software were developed by a laboratory of 15 people. A similar work in animal husbandry was done by 10 specialists. The rest of the industries were computerized by a team of 12 people. The need for specialists in information security is estimated as three people. To deploy ISs, implementation centers were created in each region, similar to the once existing machine and tractor fleets. Currently, there are about 1,800 such regions in Russia. To update information support and train specialists, at least two IT specialists per farm are needed at the first stage. According to the 2016 agricultural census, there were 36,048 agricultural businesses in Russia. Let us assume that farmers and other small businesses will be served by regional implementation centers; then these centers need about 10 IS implementation and support specialists. Therefore, assuming that all businesses will use ISs (although this is far from reality), the need for specialists is as follows: 50 developers, 90,000 IS implementation and support specialists (about 18,000 people in regional implementation centers and about 72,000 people at farms).

As you can see, in our country, the concept of a single DP of economic management AIC, where AI technologies would work most effectively, was tested both theoretically and experimentally. However, the Ministry of Agriculture is in no hurry to develop this approach. Small farmers, who are the overwhelming majority in the market, lack financial resources, strategically minded specialists, and effective cases of a systematic approach. It is difficult for them to predict the trends of the digital transformation integration processes in the economy, since they are limited to only a small part of the global production chain. Therefore, they mainly use a task-oriented original approach to the design and development of digitalization systems, where the maximum possible digital transformation of the industry will not exceed 17%, according to mathematical modeling [18].

At the same time, in the agriculture of developed countries [19], two specialized similar platforms are gradually emerging: agrarian data aggregator platforms, otherwise, platforms for primary data collection and accumulation (IR in our understanding) and applied platforms (applications). These DPs are being gradually integrated with intensive mutual data exchange through the development of appropriate cloud platforms and services, because only this type of cloud technology makes them available to businesses of all sizes, not just for some of the largest farms.

J'son & Partners Consulting also believes that using the technology of two types of the above cloud platforms in the value added chain of agricultural products (wholesalers, logistics, retail chains) will enable transition to direct sales, where the farmer monitors the end consumer, the size and structure of the consumer's demand, and through the use of mathematical models, AI in particular, the farmer produces exactly those products that the consumer needs at the right time, whereas the product delivery is managed by the automatic exchange of information between participants in the supply chain through a cloud service with the minimum use of warehouse and logistics infrastructure of wholesale intermediaries. Such digitalization will make it possible to exclude the numerous unnecessary intermediaries from the chain, who now account for up to 80% of the value in the retail price of goods.

Conclusions. The paper shows that the main problem, without taking into account the economic and political, successful application of AI technologies and methods is the formation of a single digital platform for managing the economy, consisting of two specialized subplatforms: a subplatform-aggregator for collecting and accumulating primary information and an applied subplatform for production management tasks. In this case, the transition of any production to it allows you to move to a new type of production enterprises: from the quality control phase after the production phase to the principle of current control of all production

operations, which should affect the entire economic and social system in the country. In addition, such a digital economic management platform will free up a large number of IT specialists from financial and accounting departments with their reorientation to the introduction of new digital technologies in the form of mathematical models, AI and will give an additional impetus to accelerating the digitalization of Russia.

Acknowledgements. This work was supported by a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, internal number 00600/2020/51896, Agreement dated 21.04.2022 No. 075-15-2022-319.

References

1. Milgrom, P., Roberts, J. The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy and Organization // American Economic Review, 1990. – Vol. 80(3).
 2. Brynjolfsson, E, Hitt, L., Yang, S. (2002). Intangible Assets: Computers and Organizational Capital // Brookings Papers on Economic Activity. 2002. – Vol. 2. – No.1.
 3. Medennikov V. Theoretical aspects of the synthesis of structures of computer control of agricultural production // Agricultural science, 1993. – N 2.8.
 4. Y. Huang, Z. Chen, T. Yu, X. Huang, X. Gu. Agricultural remote sensing big data: Management and applications, Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(9). – Pp. 1915-1931.
 5. M.S. Boori, K. Choudhary, A.V. Kupriyanov. Crop growth monitoring through Sentinel and Landsat data based NDVI time-series. Computer Optics, 2020, 44(3). – Pp. 409-419.
 6. V.I. Budzko, V.I. Medennikov. Mathematical model for optimizing the structure of crop rotations based on a unified digital platform for managing agricultural production, High Availability Systems, 2022. – Vol. 18. – No. 4. – Pp. 5-15.
 7. A. Kumar, K.C. O. Reddy, G.P. Masilamani, P. Satish, Y. Turkar, P. Sandeep. Integrated drought monitoring index: A tool to monitor agricultural drought by using time-series datasets of space-based Earth observation satellites, Advances in Space Research, 2021, 67(1). – Pp. 298-315.
 8. T. Javed, Y. Li, S. Rashid, F. Li, Q. Hu, H. Feng, X. Chen, S. Ahmad, F. Liu, B. Pulatov. Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data, Science of the Total Environment 759, 143530, 2021.
 9. B. Černilová, J. Kuře, M. Linda, R. Chotěborský. Tracing of the rapeseed movement by using the contrast point tracking method for DEM model verification, Agronomy Research, 2022, 20(3). – Pp. 519-530.
 10. R. Kāgo, P. Vellak, H. Ehrpais, M. Noorma, J. Ol. Assessment of power characteristics of unmanned tractor for operations on peat fields, Agronomy Research, 2020, 20(2), pp. 261–274.
 11. Vecchio Y., De Rosa M., Adinolfi F., Bartoli L., Masi M. Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. Land Use Policy. – 2020. – Vol. 94.
 12. Kannan B., Rajasekar M., Jayalakshmi K., Thiyagarajan G., Selvakumar S., Rajendran V. Protected cultivation and precision farming technologies. India. TNAU. – 2019.
 13. Raikov A. Cognitive semantics of artificial intelligence: a new perspective. Springer Singapore, Topics: Computational Intelligence XVII. DOI: 10.1007/978-981-33-6750-0.
 14. Galust'yan A. Five problems that artificial intelligence cannot yet solve. Retrieved 2023 from <https://rb.ru/opinion/problemy-ii/>.
 15. Artificial intelligence in agriculture. Retrieved 2023 from <https://agropravda.com/news/novye-technologii/11301-iskusstvennyj-intellekt-v-selskom-hozjajstve>.
 16. Gorbachev, M., Medennikov, V., Mikulets, Y., Tukhina, N. Development of informatization of the agro-industrial complex on the basis of its monitoring // Vestnik MGEI, 2017, no 3.
 17. V. Medennikov, A. Raikov. Formation of the Digital Platform for Precision Farming with Mathematical Modeling. CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2790, pp. 114-126.
 18. Kulba V., Medennikov V. A model of the Russia's agriculture readiness for digital transformation. IEEE Xplore Digital Library. 2020.
 19. J'son & Partners Consulting. Analysis of the market of cloud IoT platforms and applications for digital agriculture in the world and prospects in Russia. Retrieved 2023 from https://json.tv/en/ict_telecom_analytics_view/analysis-of-the-market-of-cloud-iot-platforms-and-applications-for-digital-agriculture-in-the-world-and-prospects-in-russia.
-
-

АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_165
MPHTI 20.53.19

Ш.Ж. Мусиралиева¹, Г.Б. Байспай², Е. Абайұлы³, Р.К. Оспанов⁴, Д.Ж. Агабеков⁵

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

¹E-mail: mussiraliyevash@gmail.com

²E-mail: gulshat.bgb2@gmail.com*

³E-mail: erulan_97@mail.ru

⁴E-mail: ospanov.ruslan.k@gmail.com

⁵E-mail: daagabekov@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ
ВИЗУАЛИЗАЦИИ СВЯЗЕЙ ВОВЛЕЧЕННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

ҚАТЫСУШЫ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРДЫҢ БАЙЛАНЫСТАРЫН
ГРАФИКАЛЫҚ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ АЛГОРИТМІ МЕН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ
ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІ ӨЗІРЛЕУ

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM AND SOFTWARE FOR GRAPHIC
VISUALIZATION OF RELATIONSHIPS OF INVOLVED USERS

Аннотация. В последние годы наблюдается всплеск исследовательского интереса к выявлению преступников через аккаунты в социальных сетях и анализу визуализации связей вовлеченных пользователей, поскольку преступники активно используют социальные сети, а количество призывов к экстремизму через социальные сети растет каждый год. В данной работе рассматривается актуальная проблема использования методов анализа социальных сетей и идентификации на основе общедоступных данных профилей пользователей. Рассматривается разработка алгоритма и программного обеспечение графической визуализации связей вовлеченных пользователей для выявления узлов распространения криминальной информации в социальных сетях. Представлен обзор существующих решений и подходов, а также предложен собственный алгоритм графической визуализации. Результаты эксперимента показывают высокую точность определения вовлеченных пользователей.

Ключевые слова: визуализация; вовлеченные пользователи; алгоритм графической визуализации; анализ социальных сетей; связи вовлеченных пользователей.

Аңдатпа. Соңғы жылдары қылмыскерлерді әлеуметтік желідегі аккаунттар арқылы анықтауға және оған қатысы бар пайдаланушылардың байланысының визуализациясын талдауды зерттеуге қызығушылық арта түсуде, өйткені қылмыскерлер әлеуметтік желілерді белсенді пайдаланады, ал әлеуметтік желілер арқылы экстремизмге шақырулар саны жыл сайын артып келеді. Бұл мақалада жалпыға қолжетімді пайдаланушы профилі деректеріне негізделген әлеуметтік желіні талдау және сәйкестендіру әдістерін пайдаланудың өзекті мәселесі қарастырылды. Әлеуметтік желілерде қылмыстық ақпаратты тарату түйіндерін анықтау үшін негізгі пайдаланушылардың байланыстарын графикалық визуализациялау алгоритмі мен бағдарламалық қамтамасыз етуді өзірлеу қарастырылды. Мақалада қолда бар шешімдер мен тәсілдерге шолу жасалды, сонымен қатар авторлар өзінің графикалық визуализация алгоритмін ұсынды. Эксперимент нәтижелері негізгі пайдаланушыларды анықтаудың жоғары дәлдігін көрсетті.

Түйін сөздер: визуализация; негізгі пайдаланушылар; графикалық визуализация алгоритмі; әлеуметтік желілерді талдау; негізгі пайдаланушылардың байланыстары.

Abstract. In recent years, there has been a surge in research interest in identifying criminals through social media accounts and analyzing the visualization of the connections of involved users, as criminals actively use social networks, and the number of calls for extremism through social networks is growing every year. This paper deals with the actual problem of using social network analysis and identification methods based on publicly available user profile data. The development of an algorithm and software for graphical

visualization of the connections of involved users to identify nodes for the dissemination of criminal information in social networks is considered. It provides an overview of existing solutions and approaches, and also proposes its own graphical visualization algorithm. The results of the experiment show a high accuracy in determining the involved users.

Keywords: *visualization; involved users; graphic visualization algorithm; social network analysis; connections of involved users.*

Введение. В современном мире социальные сети являются одним из основных способов общения, основной сферой самовыражения. Социальные сети обеспечивают немедленную и глобальную обратную связь по любому сообщению в виде комментариев, которые формируют общественное мнение о высказанных взглядах. Воздействие сообщения в Интернете зачастую создается потоком комментариев, которые можно использовать для различных целей: получения информации, времяпрепровождения, знакомств, поиска сообществ со схожими интересами, распространения политических идей и даже продвижения радикального контента и экстремистских идеологий, привлечения новых последователей. Молодежь занимается преступной деятельностью, а в результате вовлечения молодежи в различные суицидальные сообщества фиксируется множество случаев самоубийств. Существует множество сообществ, привлекающих молодежь к экстремистским и террористическим движениям. Подобная пропаганда вызывает большой интерес не только в научном сообществе, но и в органах национальной безопасности, поскольку все это наносит вред как гражданам, так и обществу.

В этой статье показано, как взаимодействие между пользователями определяет функции сообщества и как каждое сообщество создает свою уникальную структуру. В последние годы графы играют важную роль в аналитике больших данных и социальных сетей. Обнаружение сообществ широко используется для получения групп узлов, которые тесно взаимодействуют и тесно связаны друг с другом, что помогает получить положительные результаты анализа социальных сетей. Например, если узлы в сети представляют профили пользователей в социальной сети, а ребра представляют взаимодействие между этими узлами, то сообщество узлов – это группа пользователей, которые тесно связаны между собой и имеют некоторые схожие характеристики [1].

В статье представлен обзор метода анализа социальных сетей и методов определения влияния пользователей социальных сетей. Разработана методика поиска влиятельных пользователей, разработано программное обеспечение для сбора и анализа данных социальных сетей. Созданы пользовательские графы для постов в группах, графы для комментариев под постами. Разработанные методы были апробированы на готовых наборах данных, а также на собственных собранных данных из социальных сетей. Полученные результаты подтверждают корректность работы устройства и достоверность результатов средним значением 91 %.

Литературный обзор. Проблема визуализации и анализа данных является крайне важной в наше время перенасыщения информацией. Важно уметь пользоваться и автоматическими средствами анализа, и инструментами визуализации для ручного анализа информации. В нашем случае требуется уметь находить наиболее влиятельных людей в группах с заведомо экстремистскими текстами.

В бесчисленных ландшафтах онлайн-социальных сетей (OSN) и их последующем влиянии на социальные конструкции исследователи глубоко углубились в анализ закономерностей [2], структур [3] и поведенческой динамики [4], присущих этим цифровым платформам. Предпринята попытка представить синтез соответствующих работ, которые проложили путь в области анализа OSN, киберкриминологии, выявления влияния и распространения информации в цифровых сферах, обеспечивая контекстуальную основу, на которой строятся текущие исследования.

Для анализа и моделирования сетей применялся метод анализа социальных сетей (АСС). АСС – это инструмент количественного анализа социальных сетей, используемый для выявления и понимания взаимоотношений между пользователями. Метод визуально отображает данные, поэтому исследователи мира могут видеть поведенческие взаимосвязи на микроуровне и закономерности на сетевом уровне [5]. Метод АСС может использовать такие данные, как свидетельство сотрудничества, социальные сети, например, лайки и репосты и т.д. На данный момент этот метод используется в разных целях, например, организационные процессы, маркетинг, кража личностей и разные виды кибератак [6].

Авторы разработали различные методы интеллектуального анализа данных и текстового поиска для анализа ссылок, контент анализа, анализа веб-метрик, сентимент анализа, анализа авторства и видеонализа. Они разработали специализированные методы для разметки и сбора мультимедийных файлов, контента веб-сайтов и форумов и различные методы SNA для изучения взаимосвязи веб-сайтов и форумов. Авторы разработали несколько методов кластеризации для визуализации их связей [7].

В работе [8] авторы представляют метод составления короткого списка влиятельных членов преступных организаций и определения их важных каналов связи. По мнению авторов, чаще всего под арест попадают мелкие преступники, а преступники более высокого ранга избегают наказания. Авторы предлагают новую систему судебно-медицинской экспертизы под названием ИССС, которая помогает выявить влиятельных преступников при помощи короткого списка каналов связи. Авторы используют термин «критический канал связи» для обозначения части «важного канала связи», которая имеет высокую и стабильную скорость потока информации относительно других путей в сети. Они вычислили χ^2 (Chi Squared), Betweenness centrality с помощью своего алгоритма. Алгоритмы были оценены с использованием трех реальных наборов данных: набора данных Caviag, набора данных электронной почты Enron и набора данных 9/11 Кребса. Авторы преобразовали каждый набор данных в сеть, отражающую попытки связи между лицами, обвиняемыми в инцидентах, сравнили влиятельные узлы, возвращаемые каждой системой, с соответствующими узлами, возвращаемыми стандартными метриками Betweenness, Closeness, Out Degree, In Degree centrality, и вычислили значения отзыва (Recalls), точности (Precisions) и F (F-value) для каждой системы в отношении каждой метрики централизации сети и каждой метрики качества.

В работе [9] авторы обсудили возможность обнаружения влиятельных узлов в неявных социальных сетях с использованием многозадачных моделей гауссовской копулы. Многие существующие методы основываются на предположении, что структура сети полностью известна априори. Однако во многих приложениях сетевая структура недоступна для объяснения лежащего в основе феномена распространения информации. Чтобы решить проблему анализа распространения информации при неполном знании сетевой структуры, авторы разработали многозадачную модель линейного влияния низкого ранга. Используя взаимосвязи между заражениями, их подход может одновременно прогнозировать объем (прогнозирование временных рядов) для каждого заражения (или темы) и автоматически определять наиболее влиятельные узлы для каждого заражения.

В статьях [10, 11] авторы исследуют выявление ключевых игроков в онлайн-группах активистов в социальной сети Facebook. Они используют методы анализа социальных сетей, чтобы понять динамику взаимодействия между пользователями в группе активистов на базе Facebook. Авторы использовали метрики АСС, такие как Network Diameter, Network Density, Centrality, Average Degree.

В исследовании [12], авторы написали про обнаружение джихадизма в социальных сетях с использованием методов больших данных, поддерживаемых графами и нечеткой кластеризацией. Исследование, представленное в этой статье, сосредоточено на анализе

сообщений Twitter с целью выявления лидеров, организующих террористические сети, и их последователей. В исследовании данные собраны через Twitter API. Предлагается архитектура больших данных для анализа сообщений в реальном времени с целью классификации пользователей по различным параметрам, таким как уровень активности, способность влиять на других пользователей и содержание их сообщений. Графики использовались для анализа того, как сообщения распространяются по сети, и это включает изучение подписчиков на основе ретвитов и общего воздействия на других пользователей.

Материалы и методы исследования. Для разработки алгоритма и ПО графической визуализации связей вовлеченных пользователей социальной сети в первую очередь требуется определиться с выбором сообществ. Информации и контингент данных групп используются при создании визуализации. Чтобы сделать хорошую и анализируемую визуализацию, которая показывает связи вовлеченных пользователей, стояла задача выбрать тот тип социальной сети, которая активно используется среди казахоязычной аудитории. В результате анализа была выбрана социальная сеть ВКонтакте. Датасет активистов состоит из религиозных постов групп социальной сети ВКонтакте. Следующим шагом является составление списков групп. Для работы были выбраны те группы, которые были под запретом на территории Республики Казахстан. В результате поиска были выявлены 76 групп, распространение которых запрещено на территории Республики Казахстан.

Этапы визуализации. Первый этап визуализации – в качестве графов было получено пересечение пользователей по идентификатору в разных сообществах для получения общих аудиторий между группами. Здесь применялась библиотека matplotlib.

1 шаг. Принцип построения графа. Здесь авторы работали с библиотекой NetworkX. Данная библиотека хорошо подходит для визуализации и анализа графов.

2 шаг. Визуализация постов в группе (количество лайков, количество репостов, количество комментариев). На вход подается словарь, где ключом является идентификатор поста, публикации, а значением – количество лайков, репостов, комментариев. В данном случае вершинами являются посты в группе. Весами является количество лайков, репостов, комментариев. Весами для ребер является количество комментирующих и их пересечение по идентификатору. Это будет означать, что у людей, лайкнувших и прокомментировавших один и тот же пост, пересекаются интересы.

Для реализации алгоритма были рассмотрены методы VK API. В первом этапе была получена данная визуализация. Авторы получили пересечение пользователей по идентификатору в разных сообществах для получения общих аудиторий между группами. Для тестирования разработанных алгоритмов были выбраны открытые группы в случайном порядке (рис. 1).

Далее, изучив данные задачи, были сделаны следующие работы: визуализация связей между группами, связей между пользователями групп, связей между постами групп и визуализация связей групп, постов и пользователей в виде дерева.

Связь между группами осуществляется следующим образом: для всех групп получают пользователи, подписанные на эту группу; количество таких пользователей является весом вершины (группы), количество общих между группами пользователей является весом ребра между вершинами (группами).

Связь между пользователями групп осуществляется следующим образом: получают все посты из всех групп; для каждого поста получают комментировавшие пользователи; количество таких комментариев от каждого пользователя является весом вершины (пользователя), комментарий и ответ на этот комментарий образуют связь, таким образом, количество таких ответов между пользователями является весом ребра между вершинами (пользователями).

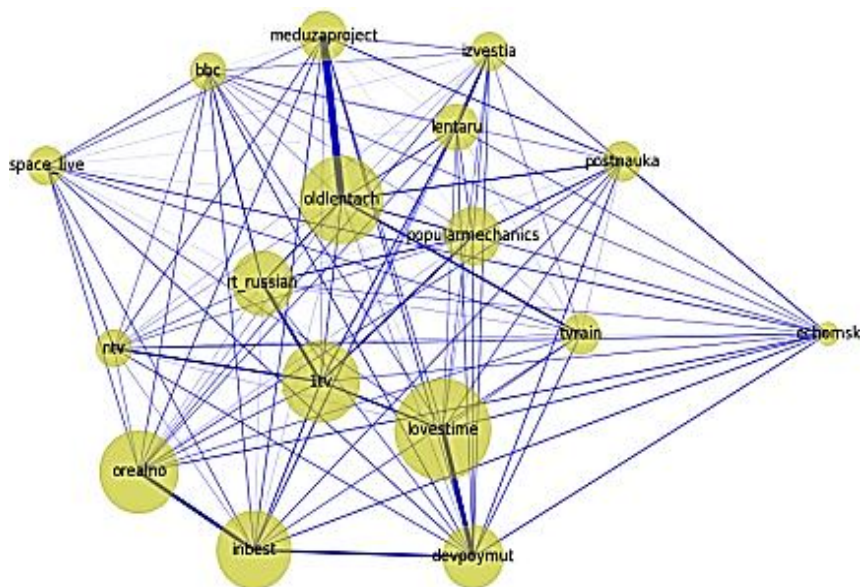


Рисунок 1. Визуализация пересечения аудитории пользователей между группами

Связь между постами осуществляется следующим образом: для каждой группы достаются посты в определенном временном промежутке; в качестве весов выбираются лайки или комментарии; количество лайков или комментариев является весом вершины (поста), количество лайков или комментариев от одного пользователя на обоих постах является весом ребра между вершинами (постами). В дереве корнем является группа, дети которой являются постами, дети которых являются пользователями. Для пользователей можно получить информацию по имени, фамилии и аватару.

Результаты и их обсуждения. Модуль ПО графической визуализации связей вовлеченных пользователей. Для анализа и визуализации данных существует огромное множество методов, однако было решено выбрать анализ и визуализацию данных, используя графы и алгоритмы на графах. В нашем случае визуализация и анализ данных состоит из 4 частей: сбор данных, составление графа из данных, анализ графа и визуализация графа. Таким образом, авторами проводились визуализация и анализ данных постов групп сети ВКонтакте. При этом составлены были два различных графа.

Построение графа пользователей на основе постов в группах. Сбор данных. При вводе списка групп через запятую и указании временного отрезка, в котором содержатся нужные посты из этих групп, можно получить граф пользователей. Здесь при сборе данных собирались посты указанных групп в определенном временном промежутке, а также информация о пользователях, оставивших комментарии. В частности, для каждой группы в списке запускался метод `get_posts_if_reply`, который состоит из следующих этапов:

1. Получение всех постов группы методом `get_posts`. Метод `get_posts` заключается в том, чтобы с помощью алгоритма бинарного поиска найти в списке постов, отсортированных по убыванию даты публикации, пост, начиная с которого нужные посты встречаются подряд. Таким образом мы обеспечиваем лучшую производительность, чем при простом получении всех постов, начиная с последнего. В среднем алгоритм потратит на нахождение нужного поста $\log_2 n$ времени, где n – количество всех постов группы.

2. Для каждого поста, после получения всех постов, получаются все его комментарии методом `get_post_weights_if_reply` (рис. 2). Для каждого комментария также получаются его подкомментарии (т.е. ветки комментариев). Код `get_posts_if_reply` приведен ниже:

```
def get_post_weights_if_reply(self, postId, groupId):
    weightsList = []
    i = 0
    while True:
        addedToWeights = self.vk_api.wall.getComments(owner_id=-groupId, post_id=postId,
count=100, offset=i * 100, v=5.92)['items']
        weightsList = weightsList + addedToWeights
        if len(addedToWeights) < 100:
            break
        i += 1
    comments = {}
    for comment in weightsList:
        nested_comments = self.get_thread(comment, postId, groupId)
        for key in nested_comments:
            if key in comments:
                comments[key] += nested_comments[key]
            else:
                comments[key] = nested_comments[key]
    return comments

def get_posts_if_reply(self, group, start_date, end_date):
    posts = self.get_posts(group, start_date, end_date, "")
    group = self.vk_api.groups.getById(group_ids=group, v=5.92)
    for i in range(len(posts)):
        try:
            weight = self.get_post_weights_if_reply(postId=posts[i]['id'], groupId=group[0]['id'])
        except:
            weight = {}
        posts[i]['comments'] = weight
    return posts

def get_post_weights_if_reply(self, postId, groupId):
    weightsList = []
    i = 0
    while True:
        addedToWeights = self.vk_api.wall.getComments(owner_id=-groupId, post_id=postId,
count=100, offset=i * 100, v=5.92)['items']
        weightsList = weightsList + addedToWeights
        if len(addedToWeights) < 100:
            break
        i += 1
    comments = {}
    for comment in weightsList:
        nested_comments = self.get_thread(comment, postId, groupId)
        for key in nested_comments:
            if key in comments:
                comments[key] += nested_comments[key]
            else:
                comments[key] = nested_comments[key]
    return comments

def get_posts_if_reply(self, group, start_date, end_date):
    posts = self.get_posts(group, start_date, end_date, "")
    group = self.vk_api.groups.getById(group_ids=group, v=5.92)
    for i in range(len(posts)):
        try:
            weight = self.get_post_weights_if_reply(postId=posts[i]['id'], groupId=group[0]['id'])
```

```
except:
    weight = {}
    posts[i]['comments'] = weight
return posts
```

Затем на основе этих данных строится граф. Планируется использование базы данных, чтобы запрос визуализации графа не занимал много времени при повторном вызове.

Составление графа на основе комментариев под постами. Здесь пользователь является вершиной, а суммарное количество комментариев под постами – его весом. Весом ребер между вершинами является количество взаимодействий пользователей в комментариях (т.е. количество ответов одного пользователя другому или участие пользователя в ветке комментариев другого пользователя). Соответственно, если пользователи между собой не взаимодействовали, то ребра не будет. Код составления графа приведен ниже:

```
def make_graph_users_json(self, posts):
    users_dict = users_dict_from_posts(posts)
    graph = {"nodes": [], "links": []}
    users = self.parser.get_users_by_ids(list(users_dict.keys()))
    for user_id, user in users_dict.items():
        cnt = user['count']
        my_user = None
        for usr in users:
            if usr['id'] == user_id:
                my_user = usr
        if my_user is not None:
            txt = my_user['first_name'] + ' ' + my_user['last_name']
            url = 'https://vk.com/' + my_user['domain']
            graph['nodes'].append(
                {"id": user_id, "title": txt, "url": url, "size": cnt, "group": random.randint(1,10)})
            for link_id, link_cnt in user['links'].items():
                graph['links'].append({"source": user_id, "target": link_id, "size": link_cnt})
    return graph
```

Для анализа графа граф был построен с помощью библиотеки NetworkX. При анализе графа были посчитаны различные свойства графа, такие как: Degree Centrality, Closeness Centrality, Betweenness Centrality, Chi Squared, количество вершин, количество ребер и плотность графа, которые можно увидеть снизу от самого графа. Большинство свойств можно получить из библиотеки NetworkX, но получение Chi Squared было реализовано вручную с помощью следующего алгоритма:

- для каждой вершины находятся все пути от соседей этой вершины до нахождения аттрактора, при этом на каждом шаге при выборе следующей вершины в пути выбирается вершина с наибольшим значением betweenness centrality;

- для каждой вершины находится максимальное значение на каждом уровне путей (под уровнем пути подразумевается глубина пути, т.е. сама вершина имеет уровень 0, а сосед имеет уровень 1);

- для каждого пути находится его betweenness centrality, который является суммой betweenness centrality его вершин;

- для каждого пути находится его локальный Chi Squared;

- суммируется Chi Squared всех путей, и сумма присваивается вершине.

На основе этих свойств графа можно находить наиболее влиятельные вершины графа, например, выбрав пользователей с наибольшим значением Chi Squared, Closeness Centrality, Betweenness Centrality. Код нахождения свойств графа приведен ниже:

```
def fill_json_with_data(self, json_of_graph, graph):
    betweenness centrality, closeness centrality, chi_squared, significant_paths =
    data_from_graph(graph)
    json_of_graph["chi_squared"] = list({k: [get_user_name(self.parser.get_users_by_ids([k])),
    v] for k, v in
        sorted(chi_squared.items(), key=lambda item: item[1],
reverse=True)[:40]}.items())
    json_of_graph["degree centrality"] = list({k:
[get_user_name(self.parser.get_users_by_ids([k])), v] for k, v in
sorted(nx.degree centrality(graph).items(), key=lambda item: item[1],
reverse=True)[:40]}.items())
    json_of_graph["closeness centrality"] = list(
{k: [get_user_name(self.parser.get_users_by_ids([k])), v] for k, v in
sorted(closeness centrality.items(),
key=lambda item: item[1],
reverse=True)[:40]}.items())
    json_of_graph["betweenness centrality"] = list(
{k: [get_user_name(self.parser.get_users_by_ids([k])), v] for k, v in
sorted(betweenness centrality.items(),
key=lambda
item: item[1],
reverse=True)[:40]}.items())
    json_of_graph["number_of_nodes"] = graph.number_of_nodes()
    json_of_graph["number_of_edges"] = graph.number_of_edges()
    json_of_graph["density"] = nx.density(graph)
```

Для проверки работоспособности метода авторы работали с разными датасетами, такими как Krebs’s 9/11 dataset, Caviar dataset и How ISIS Uses Twitter [13-15].

Наиболее влиятельные узлы в наборе данных Caviar [14] были обозначены как узлы N1, N12 и N3. За торговлю гашишем отвечал член банды в лице Node N1. Член банды в лице N12 отвечал за торговлю кокаином. Член банды, представленный узлом N3, был посредником между N1 и N12, а также между ними и лицами, не занимающимися торговлей. Поэтому пути, исходящие от узлов N1, N12 и N3, мы рассматривали как критичные для наземных сетей каналы связи (табл. 1).

Таблица 1. Проверка эффективности метода с помощью набора данных Caviar

Chi squared		Betweenness centrality		Closeness centrality	Number of neighbours	
10,78	1	0,63	1	0,67	1	60
10,23	12	0,29	3	0,53	12	28
8,16	87	0,11	12	0,52	3	27
7,61	76	0,11	76	0,50	87	16
7,01	3	0,10	41	0,48	76	15
6,21	37	0,07	87	0,48	37	11
5,79	41	0,06	89	0,47	41	11

При проверке эффективности метода на датасетах Caviar и How ISIS Uses Twitter результаты оказались с точностью 91 %. При тестировании метода на наборе данных Кребса о событиях 11 сентября показатель Хи-квадрат лидера заговора Мохамеда Атты составил 1,194, что является средним показателем. Авторы хотят повысить точность данных при работе с этим методом и на данный момент продолжают свои исследования.

Алгоритм визуализации графа. Сам граф был визуализирован так называемым силовым алгоритмом визуализации графа, который обеспечивает более плотное расположение связанных вершин. При этом вершины графа можно тянуть и перемещать, рассматривая индивидуальные нужные вершины. На вершинах пишется имя пользователя, указанное в социальной сети ВКонтакте. При наведении на вершину можно увидеть ссылку на личную страницу данного пользователя. Визуализация была выполнена в формате веб-приложения. Веб-приложение использует html, css и javascript для отрисовки графа. Для визуализации была использована библиотека d3.js. В качестве формата отображения графа был выбран svg, так как он позволяет приближать и отдалять изображение во сколько угодно раз, при этом не теряя в качестве. При использовании метода графической визуализации и в идентификации вовлеченных пользователей авторы исследовали труды ученых [16-18].

В качестве бэкенда веб-приложения используется фреймворк Django на языке Python. На html-странице был размещен элемент svg, в котором затем отрисовывался граф с помощью скрипта javascript с использованием d3.js. Еще на этапе формирования html-страницы Django передает необходимые данные, которые авторы сформировали после получения данных. Далее подбирались различные параметры, такие как цвет, сила притяжения силового алгоритма, начальная дистанция вершин графа друг от друга, центр графа в элементе svg (рис. 2).

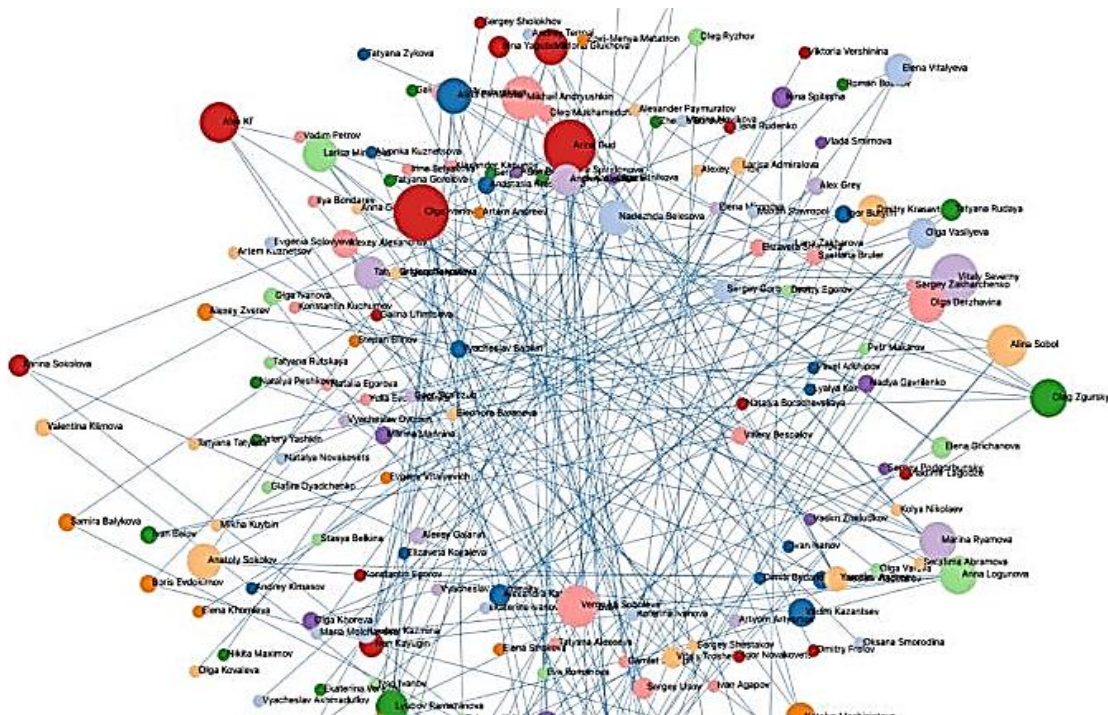


Рисунок 2. Визуализация графа пользователей

Граф постов. Сбор данных. При вводе списка групп через запятую и указании временного отрезка, в котором содержатся нужные посты из этих групп, можно получить граф постов. Здесь при сборе данных собирались посты указанных групп в определенном временном промежутке, а также информация о пользователях, оставивших комментарии или лайки. В частности, для каждой группы в списке запускался метод `get_posts`, который состоит из следующих этапов:

– Получение всех постов группы. Метод `get_posts` заключается в том, чтобы с помощью алгоритма бинарного поиска найти в списке постов, отсортированных по убыванию даты публикации, пост, начиная с которого нужные посты встречаются подряд. Таким образом обеспечиваем лучшую производительность, чем при простом получении всех постов, начиная с последнего. В среднем алгоритм потратит на нахождение нужного поста $\log_2 n$ времени, где n - количество всех постов группы;

– После получения всех постов, для каждого поста получаются все его комментарии или лайки методом `get_post_weights`. Затем на основе этих данных строится граф. Планируется использование базы данных для того, чтобы запрос визуализации графа не занимал много времени при повторном вызове;

– Составление графа из данных. Пост здесь является вершиной, а суммарное количество комментариев или лайков под ним – его весом. Весом ребер между вершинами является количество одинаковых пользователей у постов, которые лайкнули запись или оставили комментарий. Соответственно, если общих пользователей у постов нет, то ребра не будет. Код составления графа приведен ниже:

```
def make_graph_users_json(self, posts):
    users_dict = users_dict_from_posts(posts)
    graph = {"nodes": [], "links": []}
    users = self.parser.get_users_by_ids(list(users_dict.keys()))
    for user_id, user in users_dict.items():
        cnt = user['count']
        my_user = None
        for usr in users:
            if usr['id'] == user_id:
                my_user = usr
        txt = my_user['first_name'] + ' ' + my_user['last_name']
        url = 'https://vk.com/' + my_user['domain']
        graph['nodes'].append(
            {"id": user_id, "title": txt, "url": url, "size": cnt, "group": random.randint(1, 10)})
        for link_id, link_cnt in user['links'].items():
            graph['links'].append({"source": user_id, "target": link_id, "size": link_cnt})
    return graph
```

Анализ графа. Для анализа граф был построен граф с помощью библиотеки NetworkX. При анализе графа были посчитаны различные его свойства, такие как: Degree Centrality, Closeness Centrality, Betweenness Centrality, количество вершин, количество ребер и плотность графа, которые можно увидеть справа от самого графа. На этом графе не находится Chi Squared. Здесь не нужно находить самых влиятельных пользователей, требуется лишь вывести дополнительную полезную информацию пользователю.

Затем нам нужно создать несколько элементов `<g>` внутри элемента `svg`. Эти элементы и будут обозначать будущие вершины и ребра графа. Для того, чтобы разграничить вершины и ребра друг от друга, нужно пометить их классами `nodes` и `links` соответственно. Затем каждый элемент заполняется соответствующими ему данными и можно задать для элементов дополнительные параметры. Например, в качестве дополнительных параметров авторы задали радиус вершин графа или толщину ребер графа (рис. 3).

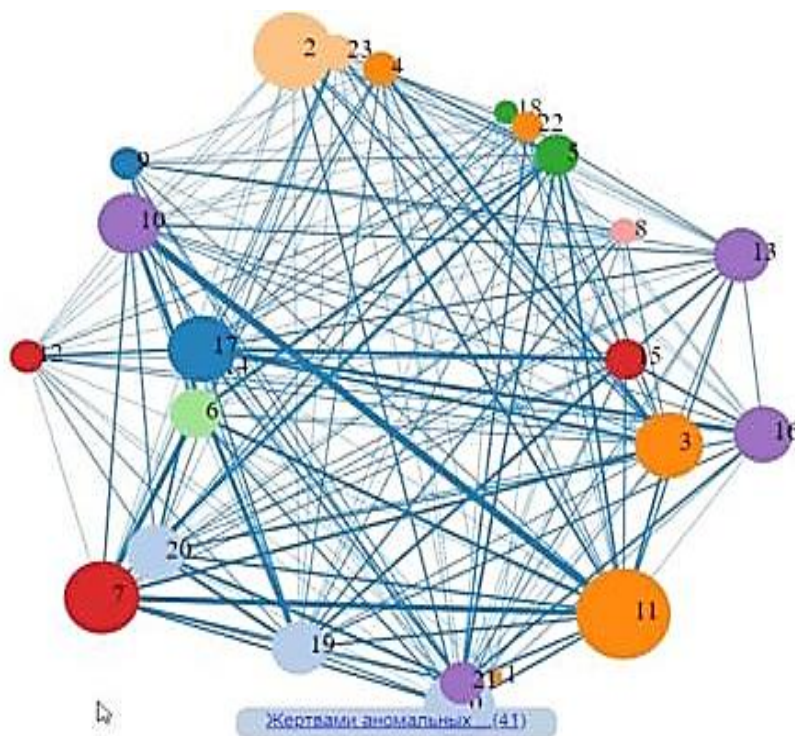


Рисунок 3. Визуализация графа постов

Дерево постов и пользователей. Сбор данных. При вводе группы и указании временного отрезка, в котором содержатся нужные посты этой группы, можно получить дерево постов пользователей. Здесь при сборе данных собирались посты указанной группы в определенном временном промежутке, а также информация о пользователях, оставивших комментарии или лайки. В частности, для группы запускался метод `get_posts`, который состоит из следующих этапов:

1. Получение всех постов группы. Метод `get_posts` заключается в том, чтобы с помощью алгоритма бинарного поиска найти в списке постов, отсортированных по убыванию даты публикации, пост, начиная с которого нужные посты встречаются подряд. Таким образом мы обеспечиваем лучшую производительность, чем при простом получении всех постов, начиная с последнего. В среднем алгоритм потратит на нахождение нужного поста $\log_2 n$ времени, где n - количество всех постов группы.

2. Получение для каждого поста всех его комментариев или лайков методом `get_post_weights`.

3. Построение дерева на основе полученных данных.

Визуализация данных в виде дерева связей. Для того, чтобы можно было в удобном виде смотреть связи между постами и пользователями, не заходя в социальную сеть ВКонтакте, была реализована визуализация дерева, в котором корнем является группа, а ее детьми являются посты. При этом листьями дерева являются пользователи, оставившие комментарии под соответствующими постами. Для пользователей можно получить информацию по имени, фамилии и аватару. При желании можно перейти к дереву, построенному в обратную сторону. То есть теперь корнем является пользователь, детьми пользователя являются группы, под постами которых пользователь оставил комментарии, а листьями являются посты, к которым пользователь оставил комментарии.

Техническая реализация визуализации в виде дерева. Само дерево было визуализировано в виде кластерной дендрограммы. Визуализация была выполнена в формате веб-приложения. Веб-приложение использует html, css и javascript для отрисовки графа. На html-странице был размещен элемент svg, в котором затем отрисовывался граф с помощью скрипта javascript с использованием d3.js. Еще на этапе формирования html-страницы Django передает необходимые данные, которые мы сформировали после получения данных. Далее подбираем различные параметры, такие как ширина и высота дерева. Затем, используя метод stratify библиотеки d3.js, создаем дендрограмму из наших данных. Требуется создать несколько элементов <g> внутри элемента svg. Эти элементы и будут обозначать будущие вершины и ребра дендрограммы. Для того, чтобы разграничить вершины и ребра друг от друга, нам нужно пометить их классами nodes и links соответственно. Также для дендрограммы был использован элемент <g> с классом additionalParentLink, который добавляет ребра для детей других вершин в дендрограмме, так как может быть ситуация, что один пользователь оставил комментарий на многих постах. Затем каждый элемент заполняется соответствующими ему данными и можно задать для элементов дополнительные параметры. Например, можно задать радиус вершин графа или толщину ребер графа.

Также был реализован функционал получения информации о пользователе, который отображен в дереве. Таким образом, можно достаточно легко проанализировать, под какими постами оставил комментарии или лайки конкретный пользователь, и затем получить по нему минимальную информацию. После чего при необходимости можно перейти к пользователю в профиль. На скриншотах можно увидеть, что если выбрана группа НТВ, то будут выбраны все посты в этой группе в определенном промежутке времени. На этом скриншоте выбран период с 20 февраля 2021 года до 20 марта 2021 года. Все эти посты ветвятся от самой группы НТВ, а от постов ветвятся пользователи, которые оставили комментарии под этим постом. Для удобства просмотра пользователи не повторяются, для этого нужно было провести дополнительные ребра от постов к пользователям (рис. 4-6).

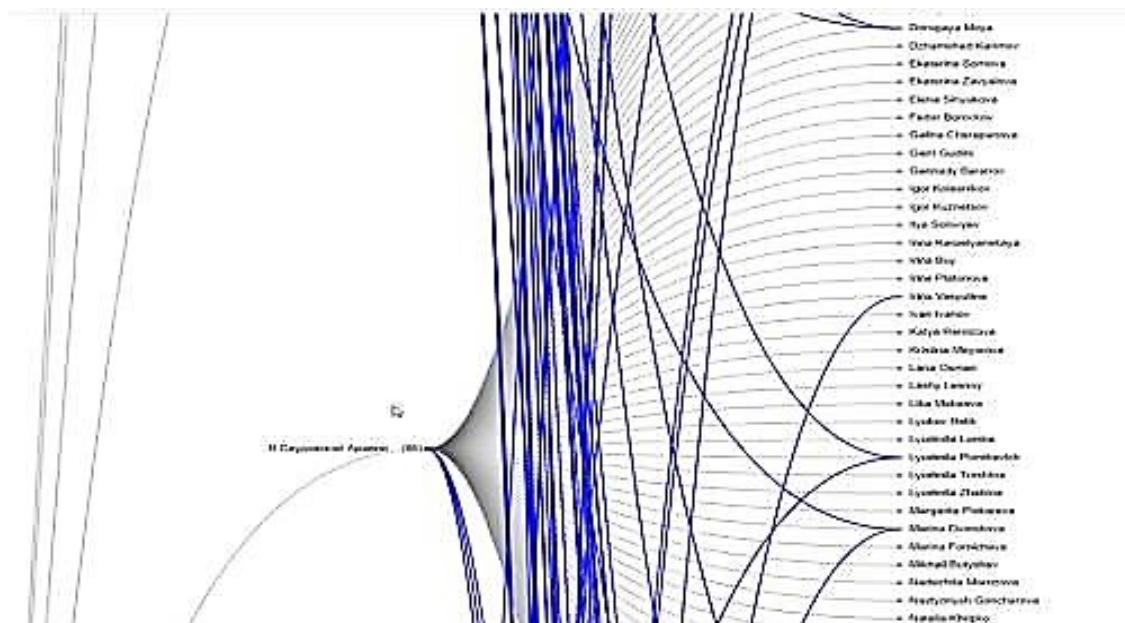


Рисунок 4. Визуализация дерева (пост)

Благодарность. Данное исследование проведено в рамках проекта «Мультиклассификация идеологических направлений киберэкстремизма на казахском языке методами искусственного интеллекта», финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP19676342, руководитель проекта Мусиралиева Ш.Ж.).

References

1. Last, M. Online Propaganda Detection. In *Machine Learning for Data Science Handbook: Data Mining and Knowledge Discovery Handbook* (pp. 703-719). Cham: Springer International Publishing, 2023. – doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-24628-9_31.
 2. Kumar, P., & Sinha, A. (2021). Information diffusion modeling and analysis for socially interacting networks. *Social Network Analysis and Mining*, 11, 1-18. – doi: <https://doi.org/10.1007/s13278-020-00719-7>.
 3. Shahid, W., Li, Y., Staples, D., Amin, G., Hakak, S., & Ghorbani, A. (2022). Are you a cyborg, bot or human? – a survey on detecting fake news spreaders. *IEEE Access*, 10, 27069-27083. – doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3157724>.
 4. Sonjaya, S., Yudapratama, A., Aji, A. P., Muhandi, I., & Simbolon, W. B. (2023). Law Enforcement against the Spread of Fake News on Social Media In Relation To Law Number 19 of 2016 Concerning Information and Electronic Transactions. *History of Medicine*, 9(1), 1297-1307. – doi: <https://doi.org/10.33258/polit.v2i1.627>.
 5. Garcia, L., & Rodriguez, S. (2020). Centrality Measures in Network Analysis: A Comparative Review // *Journal of Network Science*, 35(3), 256-278.
 6. Saber, Ali & Hamid, Noor. (2023). Complex networks analysis: centrality measures // *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 29. 1642. 10.11591/ijeecs.v29.i3. – Pp. 1642-1647.
 7. Chen Hsinchun. *Dark Web Exploring and Data Mining the Dark Side of the Web*. // Springer-Verlag New York. – 2012. – Vol. 30. – Pp. 286-296.
 8. Taha K., Yoo P.D. Shortlisting the influential members of criminal organizations and identifying their important communication channels // *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. – 2019. – Vol. 14. No. 8. – Pp. 1988-1999.
 9. Qunwei L., Kailkhura B., Thiagarajan J., Zhang Zh., Varshney P.K. Influential Node Detection in Implicit Social Networks using Multi-task Gaussian Copula Models // *Journal of Machine Learning Research*. – 2016. – No. 55. – Pp. 27-37.
 10. Kirichenko L., Radivilova T., Carlsson A. Detecting cyber threats through social network analysis: short survey // *SocioEconomic Challenges*. – 2017. – Vol. 1. P.20-34.
 11. Nouh M., Nurse J. Identifying Key-Players in Online Activist Groups on Facebook Social Network // *IEEE Computer Society*. – 2015. – Pp. 969-978.
 12. Sánchez-Rebollo C., Puente A.C., Palacios R., Piriz C., Fuentes B., Juan P., Jarauta J. Detection of Jihadism in Social Networks Using Big Data Techniques Supported by Graphs and Fuzzy Clustering // *Complexity*. – 2019. – Pp. 1-13.
 13. Krebs's 9/11 dataset. – URL: <https://sites.google.com/site/ucinetsoftware/datasets/covert-networks/911hijackers> (дата доступа:12.12.2022).
 14. Caviar dataset. – URL: <https://sites.google.com/site/ucinetsoftware/datasets/covert-networks/caviar> (дата доступа:12.12.2022).
 15. How ISIS Uses Twitter dataset. – URL: <https://www.kaggle.com/fifthtribe/how-isis-uses-twitter> (дата доступа:12.12.2022).
 16. Taha K., “Disjoint community detection in networks based on the relative association of members”. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2018. – Pp. 1-15.
 17. Sánchez-Rebollo C., Puente A.C., Palacios R., Piriz C., Fuentes B., Juan P., Jarauta J., “Detection of Jihadism in social networks using Big Data Techniques supported by Graphs and Fuzzy Clustering”. *Complexity*, 2019. – Pp. 1-13.
 18. Kukkala V., Iyengar S.R.S., “Identifying influential spreaders in a social network (While Preserving Privacy)”. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*, 2020. – Pp. 537-557.
-
-

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_179
MPHTI 28.23.33

**Ш.Ж. Сеилов¹, Д.С. Абильдинов¹, М.У. Байдельдинов¹, А.А. Нуржаубаев¹,
А.А. Конырханова¹, Б.Ш. Журсинбек², Е.Ш. Журсинбек²**

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

E-mail: seilov1961@gmail.com

E-mail: abildinov_ds_1@enu.kz*

E-mail: baideldinov_mu@enu.kz

E-mail: nurzhaubayev.akniet@gmail.com

E-mail: erkeshank@mail.ru

²Казахская академия инфокоммуникаций, г. Астана, Казахстан

E-mail: zhursinbek99@gmail.com

E-mail: zhursinbek@gmail.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ В КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ОБОНЯНИЯ

ЖАСАНДЫ ИІС СЕЗУ ЖҮЙЕСІН ҚОЛДАНУЫМЕН БАҚЫЛАНАТЫН ОРТАДА КӨКӨНІСТЕР МЕН ЖЕМІСТЕРДІ САҚТАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR STORING VEGETABLES AND FRUIT IN A CONTROLLED ENVIRONMENT USING ARTIFICIAL OLFACTION SYSTEM

Аннотация. В данном исследовании рассматривается усовершенствование технологий хранения овощей и фруктов с помощью применения искусственного обоняния с целью улучшения практик хранения в Казахстане и за его пределами. Используя искусственный интеллект и электронный нос, наше исследование подчеркивает потенциал интеллектуальных систем хранения для значительного сокращения срока годности сельскохозяйственной продукции. Первоначальные эксперименты с прототипами электронных носов показали высокую точность в обнаружении стадий порчи картофеля, что указывает на перспективный путь интеграции в интеллектуальные системы хранения. В статье предлагается разработка компактных, интеллектуальных систем мониторинга, использующих искусственное обоняние для динамического контроля окружающей среды. Такие компактные решения для хранения особенно выгодны для малых ферм, требуя меньших инвестиций при одновременном повышении безопасности продукции, сокращении потерь и увеличении эффективности в цепочке холодного хранения. Внедрение централизованной сети интеллектуальных единиц хранения решает критическую нехватку современных систем хранения, поддерживает продовольственную безопасность и усиливает поддержку мелких фермеров за счет снижения инвестиционных и операционных расходов, а также облегчения географической доступности.

Ключевые слова: умное сельское хозяйство, холодильное хранение, искусственный интеллект, системы холодовой цепи, хранилище с контролируемой атмосферой, электронный нос, газоаналитическая система.

Аңдатпа. Бұл зерттеу Қазақстанда және одан тыс жерлерде сақтау тәжірибелерінде серпіліс жасау мақсатында жасанды иіс сезу қолдануымен көкөніс пен жеміс сақтау технологияларын жетілдіруді зерттейді. Жасанды интеллект және электронды мұрындарды пайдалана отырып, біздің зерттеу ауыл шаруашылық өнімдерінің жарамдылық мерзімін едәуір ұзарту және шығындарды азайту үшін ақылды сақтау жүйелерінің әлеуетін көрсетеді. Электронды мұрын прототиптерімен жүргізілген алғашқы тәжірибелер картоптың бұзылу кезеңдерін анықтауда жоғары дәлдік көрсетті, бұл ақылды сақтау жүйелеріне интеграциялаудың перспективті бағытын көрсетеді. Бұл мақалада жасанды иіс сезуді пайдалана отырып, динамикалық қоршаған орта бақылауын жүзеге асыратын компактты, ақылды бақылау жүйелерінің өзіндік ұсынылады.

Мұндай компактты сақтау шешімдері шағын фермалар үшін ерекше тиімді, олар аз инвестиция талап етеді және өнім қауіпсіздігін арттыра отырып, шығындарды азайтады және суық сақтау тізбегіндегі тиімділікті жақсартады. Ақылды сақтау бірліктерінің орталықтандырылған желісін енгізу заманауи сақтау жүйелерінің айқын тапшылығын шешеді, азық-түлік қауіпсіздігін қолдайды және инвестициялық және операциялық шығындарды азайту арқылы, сондай-ақ географиялық қол жетімділікті жеңілдету арқылы шағын шаруашылықтарды қолдауға көмектеседі.

Түйін сөздер: ақылды ауыл шаруашылығы, салқындатқыш қойма, жасанды интеллект, суық тізбек жүйелері, басқарылатын атмосфера қоймасы, электронды мұрын, газ-аналитикалық жүйе.

Abstract. This study investigates the enhancement of vegetable and fruit storage technologies through the application of artificial olfaction, aimed at revolutionizing storage practices in Kazakhstan and beyond. By leveraging artificial intelligence and electronic noses, our research highlights the potential for smart storage systems to significantly mitigate losses and extend the shelf life of agricultural products. Initial experiments with electronic nose prototypes have shown high accuracy in detecting stages of potato spoilage, indicating a promising avenue for integration into intelligent storage systems. This paper proposes the development of compact, intelligent monitoring systems utilizing artificial olfaction for dynamic environmental control. Such compact storage solutions are particularly advantageous for small farms, requiring less investment while offering improved product safety, reduced losses, and enhanced efficiency in the cold storage chain. The implementation of a centralized network of smart storage units addresses the critical shortage of modern storage systems, supporting food security and empowering small-scale farmers by reducing investment and operational costs, and facilitating geographic accessibility.

Keywords: smart agriculture, cold storage, artificial intelligence, cold chain systems, controlled atmosphere storage, electronic nose, gas analysis system

Введение. В современном мире технологический прогресс стремительно преобразует практики ведения сельскохозяйственной деятельности и продовольственной промышленности, где внимание к инновациям становится одним из важнейших факторов обеспечения эффективного и устойчивого производства продуктов питания. Решения для сельского хозяйства на основе искусственного интеллекта (ИИ) на сегодняшний день находятся на ранней стадии, однако уже демонстрируют многообещающие результаты [1]. Благодаря передовым исследованиям в области ИИ, росту инвестиций в эту отрасль, экспоненциальному росту вычислительной мощности и повсеместному доступу облачных технологий, ИИ стал доступным технологическим решением для предприятий сельского хозяйства, способным многократно увеличить производительность труда, сократить влияние на окружающую среду и удовлетворить растущие потребности населения в продовольствии [2].

Актуальность данного направления исследований подтверждается динамикой роста количества научных публикаций по таким ключевым словам как «smart agriculture», «smart farming», «robotics in agriculture». Немаловажным фактором продовольственной безопасности является не только производство продовольствия, но и его как можно длительное хранение в межсезонье, когда продукция еще не созрела или не готова для употребления. Одним из таких приложений является использование смарт-хранилищ. Эти хранилища оборудованы системами контроля атмосферы и поддержания определенного температурно-влажностного режима. В современных условиях хранения пищевых продуктов применяются различные технологии, включая консервацию в модифицированной атмосфере, использование консервантов, покрытий и облучение, которые, однако, не способны в реальном времени адаптироваться к изменениям в окружающей среде или мониторить их.

В ответ на эту проблематику в научных кругах активно разрабатываются инновационные подходы, в том числе интеллектуальные системы управления холодильной цепью и датчики свежести, известные также как электронные носы [3]. Электронный нос заменяет обонятельную систему живых организмов. Аромат, формируемый различными летучими компонентами, является важным индикатором для оценки качества продукции и своевременного выявления признаков порчи [4]. В этом устройстве химические

отклики преобразуются в электрические сигналы с помощью матрицы газовых сенсоров. Полученные данные обрабатываются с использованием различных моделей машинного и глубокого обучения, что позволяет эффективно распознавать ароматы, анализировать различные параметры продуктов и условия окружающей среды для обеспечения контроля за свежестью продукции в реальном времени. Кроме того, современные исследования направлены на интеграцию интеллектуальных систем холодильных цепей с датчиками и системами реагирования, что позволяет регулировать условия хранения для продления срока службы продуктов [5].

Обширные исследования в области искусственного обоняния и интеллектуальных систем холодильной цепи продемонстрировали их значительный потенциал в пищевой промышленности. Благодаря развитию технологий Интернета вещей компоненты этих систем могут быть объединены в единую сеть для обмена данными и их анализа в режиме реального времени [6, 7]. Это позволяет оптимизировать параметры качества продуктов на всех этапах хранения и дистрибуции, своевременно реагировать на изменения окружающей среды и сокращать потери и расточительство на каждом этапе цепи поставок. В результате, такой подход способствует улучшению целостности и точности контроля в системах интеллектуального холодильного оборудования, обеспечивая высокий уровень качества и безопасности пищевых продуктов.

В контексте Республики Казахстан данный подход приобретает особую актуальность, учитывая значительную роль аграрного сектора в экономике страны и стремление правительства к повышению экспортного потенциала в области агропромышленного комплекса. Казахстан, обладая обширными сельскохозяйственными угодьями и благоприятными природными условиями для ведения сельского хозяйства, сталкивается с необходимостью внедрения передовых технологий для улучшения качества и увеличения объемов производства продовольствия [8, 9]. Использование интеллектуальных систем холодильной цепи и электронного носа на основе ИИ может способствовать оптимизации процессов хранения и транспортировки агропродукции, снижению потерь после сбора урожая и увеличению конкурентоспособности казахстанских продовольственных товаров на мировом рынке. Целью настоящего исследования является разработка и внедрение компактной интеллектуальной системы хранения с контролируемой атмосферой. Эта система призвана повысить эффективность длительного хранения агропродукции в условиях Казахстана, используя современные достижения в области искусственного интеллекта и технологий электронного носа. Основная задача системы – сокращение потерь агропродукции после сбора урожая и предоставление мелким фермерам доступного и эффективного решения для хранения овощей и фруктов, минимизируя тем самым необходимость в крупных начальных инвестициях и снижая необходимость стрессовой продажи продукции в период уборки урожая.

В данной работе приведен анализ текущей ситуации с технологическим процессом выращивания и хранения плодоовощной продукции в Казахстане, представлен обзор международного опыта использования технологий на основе ИИ для мониторинга состояния плодоовощных продуктов. Авторы работы делают акцент на исследовании и применении технологии искусственного обоняния в контексте ее применения для хранения картофеля, который является одним из ключевых продуктов и имеет схожие с луком, свеклой и морковью условия хранения. Следовательно, прототип оборудования электронного носа, обученный на основе данных о картофеле, может быть удачно адаптирован для применения на других видах овощей в будущем. В статье описана предлагаемая газоаналитическая программно-аппаратная система мониторинга хранения овощей и фруктов, даны заключение с приведением основных итогов исследования и предложения для дальнейшей разработки.

Анализ традиционной модели технологических процессов выращивания и хранения плодоовощных продуктов. Фрукты и овощи относятся к одним из основных продуктов первой необходимости, и обеспечение населения Казахстана качественными плодоовощными продуктами является важной задачей агропромышленного комплекса страны. Из-за климатических особенностей центральноазиатского региона на казахстанском плодо-овощном рынке свежие овощи доступны лишь в течение 4–6 месяцев в году, а остальное время они поступают в основном из хранилищ или после переработки во вторичные продукты. Например, согласно FAO, в 2022 году по таким плодам, как картофель, морковь, лук и помидоры, валовое производство превышало потребление на душу населения, однако присутствовали импорт и сезонная нехватка [10]. Это могло быть связано с несколькими факторами, включая сезонность производства, недостаточную емкость или качество хранения, инфраструктурные и логистические проблемы. Высокие уровни потерь продукции после уборки урожая, характерные для развивающихся стран, часто связаны с недостатками в технологиях сбора, ошибками при сортировке, неэффективным хранением, традиционными способами вызревания, отсутствием или несоответствием перерабатывающих мощностей, неэффективной транспортировкой или доставкой, избыточным производством и разрозненностью логистических цепочек, недостатком холодильных систем и, собственно, самих хранилищ [11]. Состояние собранных фруктов и овощей определяется как условиями их выращивания, так и физиологическими и биохимическими процессами, происходящими после уборки. В работе [12] проводились исследования основных болезней картофеля, которые показали, что бактериальное поражение преобладает над грибковыми заболеваниями. Разновидности бактериальных и грибковых заболеваний зависят от региона выращивания, методов обработки и хранения картофеля. Представляет научный интерес проведение подобных экспериментов на территории нашей страны с целью выявления основных патогенов и способов быстрого их детектирования.

В 2023 году урожай картофеля в Республике Казахстан, согласно данным Бюро национальной статистики, составил 4,08 млн тонн. Общая страновая потребность в картофеле при потреблении на душу населения чуть более 100 кг составляет 2 млн тонн ежегодно. Согласно основным статистическим показателям, объемы производства основных сельскохозяйственных культур полностью покрывали внутренние потребности страны, однако 54,9 тыс. тонн картофеля году было импортировано [13]. В основном это происходит перед получением нового урожая в летнее время, что напрямую связано с отсутствием надлежащей системы хранения, когда определенная часть урожая сразу после сбора продается в соседние страны и запасы преждевременно истощаются [14]. Эта проблема характерна для большинства видов овощей, что подчеркивает необходимость улучшения инфраструктуры хранения для обеспечения продовольственной безопасности страны. По данным министерства сельского хозяйства, на сегодняшний день в Казахстане имеется 901 объект хранения овощей и фруктов мощностью 1,8 млн тонн при среднем общем объеме урожая плодоовощных культур 8 млн тонн ежегодно, где 60 % овощехранилищ не оборудованы холодильными установками, а срок эксплуатации 30 % хранилищ превышает 20 лет [15]. В таких хранилищах в основном используется навальный тип хранения, когда картофель хранится насыпной грудой или в лучшем случае упакован в мешки. (Рис. 1). Как следствие, общие потери при хранении достигают 35 - 40 % от объема готовой продукции [16]. Такая ситуация требует безотлагательного принятия решений по строительству и модернизации овощехранилищ, оборудованных установками для контроля атмосферы и температуры.



Рисунок 1. Традиционные технологии хранения овощей в Казахстане

Основные последствия нехватки необходимой инфраструктуры и овощехранилищ сказываются на средних и малых предприятиях, которые не имеют средств для строительства собственных систем хранения [17], [18]. Казахстанские сельхозпроизводители, в основном мелкие землевладельцы, сталкиваются с рядом проблем, включая ограниченный доступ к ресурсам, что влияет на объемы и качество продукции [10]. Для максимального сохранения собранного урожая производителям необходимо соблюдать цепочку поставки продукции с соблюдением технологических процедур хранения, включая предварительное охлаждение, длительное холодильное хранение, упаковку и транспортировку к дилерам (Рис. 2). Однако реальная ситуация показывает, что производители сельскохозяйственной продукции из-за нехватки холодильных систем вынуждены пропустить основные шаги и поспешно реализовать урожай сразу после сбора (красная стрелка) [19]. Это приводит к стрессовым продажам, увеличению потерь продукции, снижению прибыли и дохода фермера. Потери продовольствия имеют мультипликативный эффект на другие затраты, такие как вода, электричество, потери удобрений.

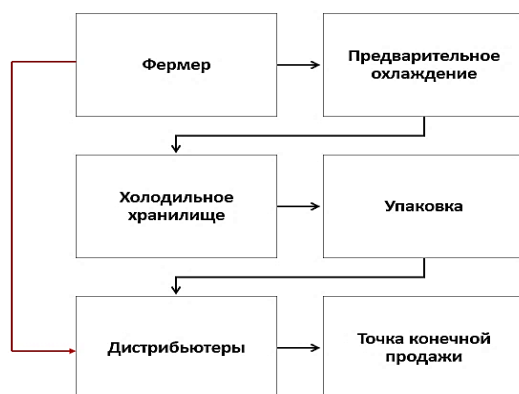


Рисунок 2. Цепочка поставок фруктов и овощей основными производителями

К основным причинам низкого внедрения систем холодильного хранения можно отнести такие факторы, как необходимость больших инвестиций, эксплуатационные расходы, необходимость обеспечения бесперебойного электроснабжения, отсутствие необходимой инфраструктуры и неравномерное географическое распределение [20].

Для решения проблемы низкого проникновения технологии холодильного хранения доступного для средних и мелких производителей в статье представлена предлагаемая программно-аппаратная система хранения продукции.

Усовершенствованная система мониторинга хранения овощей и фруктов. Современные технологии хранения овощей и фруктов базируются на международных стандартах [21], [22], [23], которые основаны на создании специальных хранилищ, где помимо контроля

температуры и влажности в хранилищах используют регулируемые газовые среды (РГС). В РГС для хранения осуществляется тщательное контролирование газового состава: содержание кислорода снижается до заранее определённого уровня, а уровень углекислого газа, соответственно, увеличивается. Это регулирование позволяет достигать общей доли кислорода и углекислого газа в 21 % для определённых видов растительных продуктов. В зависимости от конкретных требований к условиям хранения суммарное содержание этих двух газов может быть скорректировано до уровня ниже 21 %. Снижение кислорода и повышение содержания углекислого газа в контролируемой среде хранилища влияет на следующие факторы:

- уменьшение процессов окисления;
- замедление процессов созревания овощей и фруктов;
- изменение структуры тканей растительных продуктов;
- замедление большинства химических и биологических процессов;
- появление нежелательных запахов;
- развитие специфических болезней (замедление и снижение);
- снижение степени образования этилена и подавление его воздействия;
- увеличение сроков хранения.

Важным компонентом в системе мониторинга и регулируемого контроля в подобных хранилищах является мультисенсорная газоаналитическая система, которая позволяет в режиме реального времени определять типы газов и их концентрацию. К существующим стационарным хранилищам предлагается создание и автономных (возможно передвижных) систем мониторинга и регулируемого хранения овощей и фруктов (Рис. 3). Автономные хранилища овощей и фруктов найдут свое применение, например, в фермерских хозяйствах с небольшим объемом продукции, при транспортировке выращенных растительных культур с полей в стационарные овоще- и фруктохранилища.

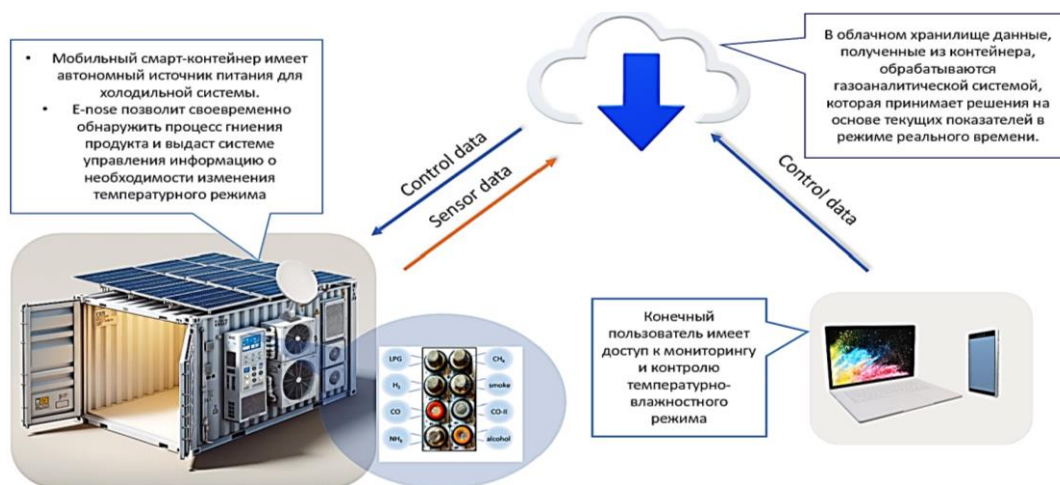


Рисунок 3. Структурная схема автономной системы мониторинга и регулируемого хранения овощей и фруктов

В качестве основы автономного хранилища овощей и фруктов предлагается использовать контейнеры, классифицируемые стандартом ISO 668:2020 [24]. В контейнере расположены стойки с коробами, наполненными овощами или фруктами, в каждой стойке установлена матрица газовых сенсоров с датчиком температуры и влажности, данные с которых после съема информации сохраняются центральным

контролером смарт-контейнера, откуда далее передаются в облачную газоаналитическую систему. Отдельным блоком установлено холодильное оборудование и системы регулировки газовой атмосферы хранилища. После обработки данных в облачной системе газоаналитическая система генерирует корректирующие команды и передает их в центральный контроллер. Центральный контроллер осуществляет управляющие воздействия, необходимые для регулирования газовой атмосферы смарт-хранилища. Диспетчерский пункт может быть развернут на базе персонального компьютера или мобильного устройства (планшета, смартфона). Разработанное программное обеспечение позволяет подключиться к сервисам облачной газоаналитической системы, посредством которой достаточно просто отслеживать и регулировать все процессы смарт-хранилища в режиме реального времени. Облачная газоаналитическая система реализована посредством web-сервисов, функционал которых при необходимости можно относительно быстро модифицировать. Разработанная газоаналитическая система использует технологии машинного обучения для определения состава целевых газов и их концентрации.

Существующие на территории нашей республики хранилища овощей и фруктов контролируют только два параметра: температуру и влажность. Для контроля газовой атмосферы требуется дорогостоящее зарубежное оборудование и соответствующее программное обеспечение. Разрабатываемая мультисенсорная газоаналитическая система позволит относительно незатратно модернизировать имеющиеся хранилища овощей и фруктов без масштабной переделки существующих систем хранения.

Вывод. В данной работе были рассмотрены возможности совершенствования технологий хранения овощей и фруктов с использованием инновационных подходов, таких как искусственное обоняние. Современные подходы к хранению, включая разработанные в данной работе интеллектуальные системы мониторинга и использование искусственного обоняния, могут значительно уменьшить потери и увеличить сроки хранения продукции. В рамках дальнейшей разработки планируется создание рабочего прототипа умного хранилища с автоматизированным контролем температурно-влажностного состояния и мониторингом газового состава. Это будет способствовать минимизации потерь продукции и улучшению сохранности урожая. Осуществление централизованной сети стационарных и мобильных смарт-хранилищ на основе последних достижений в области протоколов связи и защиты данных улучшит координацию и эффективность системы хранения на национальном уровне. Компактные размеры и автономное энергообеспечение предлагаемых хранилищ помогут снизить инвестиционные издержки, эксплуатационные расходы и нивелировать недостатки географической удаленности для небольших хозяйств. Автоматизация процессов во всей системе холодильного хранения позволит повысить эффективность и надежность поставок продукции. В итоге, данные инновации направлены на обеспечение продовольственной безопасности страны, поддержку малых хозяйств и решение проблемы критической нехватки современных систем хранения.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы грантового финансирования по научным и научно-техническим проектам № AP19680157.

References

1. FAO, "The State of Food and Agriculture 2022 Leveraging agricultural automation for transforming agrifood systems," FAO. FAO, pp. 16–17, 2022. doi: <https://doi.org/10.4060/cb9479en>.
2. M. Ryan, G. Isakhanyan, and B. Tekinerdogan, "An interdisciplinary approach to artificial intelligence in agriculture," *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, vol. 95, no. 1, p. 2168568, Dec. 2023, doi: 10.1080/27685241.2023.2168568.
3. L. Bai, M. Liu, and Y. Sun, "Overview of Food Preservation and Traceability Technology in the Smart Cold Chain System," *Foods*, vol. 12, no. 15, 2023, doi: 10.3390/foods12152881.

4. R. md, R. Yaacob, M. Mohamed, T. Azahar, and F. A. Rahim, "Food Freshness Using Electronic Nose and Its Classification Method: A Review," *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, vol. 7, pp. 49–53, Feb. 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i3.28.20964.
 5. [W. Huang et al., "Flexible sensing enabled agri-food cold chain quality control: A review of mechanism analysis, emerging applications, and system integration," *Trends Food Sci Technol*, vol. 133, pp. 189–204, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.010>.
 6. Q. Chen, J. Qian, H. Yang, and W. Wu, "Sustainable food cold chain logistics: From microenvironmental monitoring to global impact," *Compr Rev Food Sci Food Saf*, vol. 21, no. 5, pp. 4189–4209, 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13014>.
 7. W. Lang and R. Jedermann, "What Can MEMS Do for Logistics of Food? Intelligent Container Technologies: A Review," *IEEE Sens J*, vol. 16, no. 18, pp. 6810–6818, Sep. 2016, doi: 10.1109/JSEN.2016.2576287.
 8. L. and K. S. Tokbergenova Aigul and Kiyassova, "Sustainable Development Agriculture in the Republic of Kazakhstan," *Pol J Environ Stud*, vol. 27, no. 5, pp. 1923–1933, 2018, doi: 10.15244/pjoes/78617.
 9. S.M., M. S. Baktgereyeva A., "Fruit and vegetable production in Kazakhstan: status, problems and ways of solution," *Problems of AgriMarket*, vol. 4, pp. 159–169, 2023.
 10. FAO, *Overview of the fruit and vegetable sector in Eurasian and Economic Union countries*, vol. 98. FAO, 2023.
 11. L. Xue and G. Liu, "1 - Introduction to global food losses and food waste," in *Saving Food*, C. M. Galanakis, Ed., Academic Press, 2019. – Pp. 1-31. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00001-8>.
 12. T. Xie, S. Shen, Y. Hao, W. Li, and J. Wang, "Comparative Analysis of Microbial Community Diversity and Dynamics on Diseased Tubers During Potato Storage in Different Regions of Qinghai China," *Front Genet*, vol. 13, 2022, doi: 10.3389/fgene.2022.818940.
 13. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan., "Статистика внешней, взаимной торговли и товарных рынков [Statistics on foreign, mutual trade and commodity markets]." Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/>
 14. Sayat Shortan, "Food losses and waste in Kazakhstan," Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/reu/europe/documents/FLW/FLW_assessment_Kazakstan.pdf
 15. B. of N. Statistics. Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, "Статистика сельского, лесного, охотничьего и рыбного хозяйства / Матер.-техн. база сельского хоз-ва / Сельскохозяйственные постройки и сооружения," Taldau Statistical Platform. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://taldau.stat.gov.kz/ru/NewIndex/GetIndex/701396>
 16. "Токаев: Казахстан теряет при хранении 40 % сельхозпродукции." Accessed: Feb. 05, 2024. [Online]. Available: <https://eldala.kz/novosti/ovoshchi-i-frukty/14237-tokaev-kazahstan-teryaet-pri-hrannerii-40-selhozprodukcii>
 17. V. Stukach, G. Saporova, G. Sultanova, and S. Saginova, "Infrastructural Development of Agricultural Products in the Republic of Kazakhstan," *Economy of Region*, vol. 15, pp. 561–575, Feb. 2019, doi: 10.17059/2019-2-19.
 18. E. Rutta, "Understanding barriers impeding the deployment of solar-powered cold storage technologies for post-harvest tomato losses reduction: Insights from small-scale farmers in Tanzania," *Front Sustain Food Syst*, vol. 6, Feb. 2022, doi: 10.3389/fsufs.2022.990528.
 19. M. Kirci, O. Isaksson, and R. Seifert, "Managing Perishability in the Fruit and Vegetable Supply Chains," *Sustainability*, vol. 14, p. 5378, Feb. 2022, doi: 10.3390/su14095378.
 20. W. Amjad et al., "Decentralized solar-powered cooling systems for fresh fruit and vegetables to reduce post-harvest losses in developing regions: a review," *Clean Energy*, vol. 7, no. 3, pp. 635–653, Jun. 2023, doi: 10.1093/ce/zkad015.
 21. International Organization for Standardization, "ISO 2169:1981 Fruits and vegetables. Physical conditions in cold stores. Definitions and measurement.," ISO. 2014. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/ru/standard/6964.html>
 22. International Organization for Standardization, "ISO 3659:1977 Fruits and vegetables. Ripening after cold storage," ISO. 2019. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/11278.html>.
 23. International Organization for Standardization, "ISO 6949:1988 Fruits and vegetables. Principles and techniques of the controlled atmosphere method of storage.," ISO. 2016. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/ru/standard/13496.html>.
 24. "ISO 668:2020." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/76912.html>
-

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_187
MFTAA 28.23.13

А.С. Тлебалдинова¹, М.А. Карменова²

¹Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан
E-mail: a_tlebaldinova@mail.ru*

²Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан
E-mail: mmm_0582@mail.ru

**БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ ҮЛГЕРІМДЕРІН
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ**
**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**
**ANALYSIS AND PREDICTION OF STUDENTS' PERFORMANCE BASED
ON THE MACHINE LEARNING METHOD**

Аңдатпа. Қазіргі таңда әрбір салада деректер жиынын талдау мен машиналық оқыту әдістерін қолдану өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Себебі, жыл сайын жинақталып отырған деректер жиынын талдау ғылыми зерттеу салаларында жаңа білімдерді, заңдылықтарды анықтауға көп көлемде өсерін тигізіп отыр. Сол сияқты, білім беру саласында да, деректер жиынын талдау мен машиналық оқыту әдістері кең мүмкіндіктерді және шешімдерді ұсынады, атап айтсақ, ол білім алушылардың оқу үлгерімдерін болжау. Білім алушылардың оқу үлгерімдерін болжауда деректер жиынындағы әртүрлі атрибуттар бұрыннан белгілі және белгісіз байланыстарды анықтап беруде. Ол өз кезегінде, білім беру үрдісін тиімді ұйымдастыру мен білім сапасын жақсарту мәселелерін де шешуге көп үлес тигізеді. Қарастырылып отырған мақалада, білім алушылардың оқу үлгерімін болжау үшін деректер жиыны талданып, машиналық оқыту алгоритмі, яғни сызықтық регрессия әдісі қолданылған. Деректерді жиынын талдау екі кезеңде жүзеге асырылған, бірінші кезеңде деректер жиынына статистикалық талдау жүргізіліп, екінші кезеңде сызықтық регрессия үлгісі құрылған. Білім алушылардың оқу үлгерімін болжауда сызықтық регрессия алгоритмі негізінде релевантты атрибуттар анықталды. Олар, оқушылардың тоқсан бойынша бағалары G1-G3, білім алушылардың ата-анасының білімі жайлы мәліметтер және білім алушының қаншалықты сабаққа қатысуы, яғни сабақты босату туралы деректері. Сызықтық регрессияны қолдану негізінде алынған үлгіні бағалау 90 % жоғары нәтижені көрсетті.

Түйін сөздер. деректерді талдау; білім алушы үлгерімі; болжау, статистикалық талдау; машиналық оқыту; сызықтық регрессия; визуализация; веб-қосымша; дашборд.

Аннотация. В настоящее время применение методов анализа данных и машинного обучения является актуальным вопросом для каждой отрасли. Это связано с тем, что анализ ежегодно собираемых наборов данных оказывает большое влияние на выявление новых знаний, закономерностей в областях научных исследований. Точно так же, как в сфере образования, методы анализа наборов данных и машинного обучения предоставляют широкие возможности и решения, а именно прогнозирование успеваемости обучающихся. При прогнозировании успеваемости обучающихся различные атрибуты в наборах данных выявляют давно известные и неизвестные связи. Это, в свою очередь, вносит большой вклад в решение вопросов эффективной организации образовательного процесса и улучшения качества образования. В рассматриваемой статье были проанализированы наборы данных для прогнозирования успеваемости обучающихся и применен алгоритм машинного обучения, а именно метод линейной регрессии. Анализ набора данных осуществлялся в два этапа, на первом этапе проводился статистический анализ набора данных, а на втором этапе строилась модель линейной регрессии. В прогнозировании успеваемости обучающихся определены релевантные атрибуты на основе алгоритма линейной регрессии. Такими атрибутами являются оценки G1-

G3 обучающихся за четверть, данные об образовании родителей обучающихся, а также пропуски от занятий обучающегося. Оценка выборки, полученная на основе использования линейной регрессии, показала результат выше 90 %.

Ключевые слова. анализ данных; успеваемость обучающихся; прогнозирование; статистический анализ; машинное обучение; линейная регрессия; визуализация; веб-приложение; дашборд.

Abstract. Currently, the application of data analysis and machine learning methods is a pressing issue for every industry. This is due to the fact that the analysis of annually collected data sets has a great impact on identifying new knowledge and patterns in areas of scientific research. Just like in the field of education, methods of analyzing data sets and machine learning provide powerful opportunities and solutions, namely, predicting student performance. When predicting student performance, various attributes in data sets reveal long-known and unknown relationships. This, in turn, makes a great contribution to resolving issues of effective organization of the educational process and improving the quality of education. In this article, data sets were analyzed to predict student performance and a machine learning algorithm was applied, namely the linear regression method. The analysis of the data set was carried out in two stages, in the first stage a statistical analysis of the data set was carried out, and in the second stage a linear regression model was built. In predicting student performance, relevant attributes are identified based on a linear regression algorithm. Such attributes are grades G1-G3 of students for the quarter, data on the education of the students' parents, as well as absences from classes of the student. The sample estimate obtained using linear regression showed a result above 90%.

Keywords. data analysis; student performance; forecasting; statistical analysis; machine learning; linear regression; visualization; web application; dashboard.

Кіріспе. Жалпы білім беру саласында білім алушылардың үлгерімін талдау мен болжау мәселелері немесе білім алушының үлгеріміне қатысты шешім қабылдау жүйелерін жобалау – ол көптеген мүдделі тұлғалар қатысатын күрделі, көп өлшемді үрдіс. Тиімді шешім қабылдау үшін оқу үрдісіне қатысушылардан оның әртүрлі кезеңдерінде алынған ақпаратты талдау маңызды болып табылады. Жылдар бойы оқу орындарының ақпараттық жүйелерінде білім беру үрдісінің әртүрлі аспектілері туралы ақпарат жинақталып отыр. Мысалы, оқушылар және олардың үлгерімі туралы, мұғалімдер және олардың ғылыми-білім беру жұмыстары туралы т.с.с.

Қазіргі кезеңде қашықтықтан оқыту курстары, білім беру форумдары, оқушыларды тестілеу және сауалнама жүргізу жүйелері және тағы басқа жүйелер құрылу мен қолдаун үстінде. Осылайша, соңғы жылдары білім беру үрдісіне қатысты белгілі бір дәрежеде көптеген мәліметтер жиыны жинақталды және жинақталуда деуге болады. Білім алушылардың үлгерімін болжау мен олардың құзыреттіліктерінің қалыптасуын бағалау көп жағдайда білім алушының моделіне байланысты болып келеді. Мұндай білім алушы модельдері білім беру деректерін талдау негізі болып келеді. Білім беру деректерін талдауды қолдану негізінде айқындалған мақсат-міндеттер мен олар арқылы шешілетін мәселелер көп жағдайда техникалық әдістер арқылы шешім тауып отырады. Осындай техникалық әдістердің көбі машиналық оқыту саласынан алынған. Осы әдістермен [1, 2, 3, 4] жұмыстарынан танысуға болады. Білім беру деректерін талдау немесе білім беру деректерін интеллектуалды талдау - бұл қазіргі кезде дамып келе жатқан пәндердің бірі болып табылады, әрі оның шеңберінде білім алушылардың қалай оқитынын және оны қандай жағдайда жасайтынын түсіну үшін есептеу және педагогикалық әдістер мен тәсілдер қолданылады [5]. Осы тұста білім беру деректеріне білім алушылардың педагогикалық бағдарламалық жүйелермен өзара іс-қимылының әр түрлі түрлері ғана емес, сондай-ақ әкімшілік деректер, демографиялық деректер, жеке бас қасиеттері туралы деректер мен білім алушылардың өзара іс-қимылы туралы деректері де жатады [6].

Білім беру саласында деректерді талдау салыстырмалы түрде жаңа зерттеу бағыты болып табылатыны барлығымызға мәлім. EDM-ды қолдану негізінде оқу мекемелері білім беру үрдісін ұйымдастыруда жоғары жетістіктерге жету, тиімді шешімдерді қабылдау және білім алушылардың оқу үлгерімдерін жоғарылату мақсаттарында қазіргі

уақытта жиі қолданып келеді. EDM – білім беру және оқыту арқылы жиналған деректерді талдайтын, содан кейін бағалау, білім, жетістік, мотивация және оқушылардың көзқарасы сияқты егжей-тегжейлі ақпаратты зерттеу арқылы білім алушылардың болашақ мінез-құлқын болжау үшін машиналық оқыту және деректерді өндіру әдістерін қолданатын жаңа құралдардың бірі [7]. Нақты атап айтатын болсақ, EDM – бұл білім беру деректерінің үлкен жинақтарындағы заңдылықтарды анықтау үшін деректерді өндіруді, машиналық оқытуды және статистикалық әдістерді қолдануға бағытталған зерттеу саласы [8]. Мысалы, [9] жұмысында EDM-ды қолдану арқылы білім алушылардың оқу үлгерімдерін болжайды. Тәжірибе нәтижелерінде көпқабатты персептронның жоғары өнімділігі анықталды. EDM-ның әр түрлі әдістерін қолдану, соның ішінде, мысалы жіктеу сияқты әдістері негізіндегі зерттеулер әдістердің тиімділіктері мен дәлдіктерін дәлелдеп отыр [10]. Жалпы алғанда, data mining (деректерді іздеу) термині әртүрлі қызмет салаларында шешім қабылдау үшін қажет жаңа, тривиалды емес және іс жүзінде пайдалы білімді анықтауды білдіреді [11]. Сонымен, білім беру деректерін интеллектуалды талдауға қатысты анықтаманы түйіндесек, білім беру деректерін іздеу – ол шешім қабылдауды қолдау мақсатында білім беру үрдісі және оның қатысушылары туралы бұрын белгісіз, іс жүзінде пайдалы және түсіндірілген білімді анықтау әдістерінің жиынтығы.

Әдеби көздерге шолу. Білім беру саласында білім алушылардың үлгерімін талдау мен болжау, білім беру үрдістері негізінде жинақталған деректер жиынына байланысты зерттеулер әлемдік деңгейде қарқынды даму үстінде. Білім беру деректер жиынына талдау жасау, жоғарыда атап кеткен, деректерді интеллектуалды талдау технологиясы мен машиналық оқыту әдістері қолдану мысалдары өте көп. Мысалы, келесі [12] зерттеуде, авторлар білім алушылардың оқу үлгерімдерін болжау үшін және оларды жіктеуде екі деректер жиынын қарастырып, машиналық оқытудың 4 алгоритмдерін қолданған. Деректер жиынын талдау барысында он сегіз рет зерттеу тәжірибесін жасаған. Білім алушылардың оқу үлгерімін болжау үшін машиналық оқытудың кері таралу (BP, Backpropagation), тірек векторлары регрессиясы (SVR) және LSTM (Long-Short Term Memory) алгоритмдері қолданылған. Деректер жиынын зерттеу бойынша жіктеу есебін шешуде қосымша тағы BP and SVM алгоритмдері қолданылған да, жіктеу кезеңінде тағы да Gradient Boosting Classifier (GBC) әдісі қолданған. Зерттеу нәтижелерінде әрбір машиналық оқыту әдістерінің жұмыс өнімділігі салыстырылып, қолданылған алгоритмдер ішінде болжамда ең төменгі орташа квадрат мәні және ең жоғары R2 және EV Scores SVR арқылы алынғанын көрсетеді. BP алгоритмі ең төменгі болжам көрсеткіштерін бейнедегенмен, ол жіктеу есебін шешу тіжрибелерінде басқа жіктеу алгоритмдерінен 87,78% жоғары болғанын көрсеткені туралы қорытынды шығарады. Сол сияқты [13] зерттеуде де, авторлар гибридік тәсілдемеге біріктіру арқылы машиналық оқыту әдістері мен алгоритмдерін SVM тірек векторлар әдісі, Naive Bayes, Decision Tree ағаштар шешімі, Neural Network жасанды нейрондық желі қолдану негізінде білім алушылардың оқу үлгерімдерін болжайды. Болжау нәтижесінде кластеризация мен жіктеу алгоритмдерін біріктірген гибридік тәсілдеме білім алушының мінез-құлқы мен үлгерімі арасында тығыз байланыс бар екенін айқындалады. Қарастырып отырған [14] зерттеуде, мысалы кластеризация әдістері тиімді қолданылады. Мұнда рекурсивті кластеризация білім алушыларды олардың оқу үлгерімдеріне сәйкес білгілі бір курстар бойынша топтстырады. Анықталған әрбір топ сол топқа сай өздерінің оқу бағдарламаларымен мен нұсқаулықтарын автоматты түрде ала алады. Осындай тәсілдемені қолдану мақсаты төменгі топ білім алушыларын жоғары топқа ауыстыруында болып табылады. Осыған ұқсас, келесі [15] зерттеуде де, әр білім алушының оқу үлгерімі ескерілетіндей, өзіндік ерекшеліктеріне байланысты жеке болжам әдісі жүзеге асырылады. Мұндай зерттеу тәсілдемесін авторлар жекелендірілген болжау әдісі деп атап ұсынған. Келесі [16]

зерттеуде, білім алушылардың оқу нәтижелерін болжау мен үлгілеуде нейрондық желі машиналық оқыту әдісі жүзеге асырылған.

Деректер жиынына сипаттама. Деректер жиыны Шығыс Қазақстан облысы білім басқармасы Өскемен қаласы бойынша Білім бөлімінің «Шоқан Уәлиханов атындағы №3 мектеп-лицейі» коммуналдық мемлекеттік мекемесінде оқитын білім алушылардың оқу үлгеріміне қатысты жинақталған. Деректер жиыны білім алушылардың үлгерімі, демографиялық сипаттамалары, әлеуметтік және мектеп сипаттамалары атрибуттарынан тұрады, сонымен қатар, мектеп есептері мен сауалнамаларын қолдана отырып жинақталған. Деректер жиыны екі түрлі пән бойынша жинақталған деректер жиынтығын ұсынады, олар Информатика (инф) және Математика (мат) пәндері. Білім алушылардың оқу үлгерімі мәліметтерін талдау мен болжау бойынша деректер жиынтығын алдын ала өңдеуге байланысты жұмыстар жүргізілді. Деректер жиынында сандық емес мәліметтер болғандықтан білім алушылардың оқу үлгерімін талдау мен болжауды, модельдеуді жасамас бұрын деректерді тазарту жүргізілді. Деректер жиынын алдын ала өңдеуге қатысты негізінен өңделмеген деректерді алып тастау немесе жетіспейтін мәндерді өңдеу, сонымен қатар деректерді талдауда жетіспейтін мәндердің бар болуына немесе жоқ болуына қарай зерттеуші ретінде назар аудару қажет деп айтып кеткен жөн. Деректер жиыны сипаттамасына келер болсақ, деректер жиынтығында әрбір кесте бағанасына сәйкес 35 атрибут және де кесте жолдарына байланысты 426 жазба бар. Деректер жиыны атрибуттарын шартты түрде білім алушылардың жеке бас мәліметтерінен бастайық. Атрибуттар атаулары: School (орта мектеп)- орта мектеп оқушысы, Sex («F» - қыз; - «M» - ұл) – оқушы жынысы, Age (10-нан 18-ге дейінгі сандар) – оқушы жасы, Address («U» - қала; - «R» - ауыл) – мекен-жайы. Білім алушылардың отбасы жағдайына байланысты мәліметтер 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Білім алушылардың отбасылары бойынша мәліметтері

№	Атрибут атауы	Деректер жиынындағы шартты белгіленуі	Түсініктемесі
1	Famsize	- «LE3» - 3 тең немесе одан артық емес; - «GT3» - 3-тен артық	Отбасы мүшелерінің саны
2	Pstatus	- «T» - бірге тұру; - «A» - бөлек тұру	Отбасы мүшелерімен бірге тұру мәртебесі
3	Medu	- 0 - жоқ; - 1 - бастауыш білім (төрт сынып); - 2- 5-9 сынып; - 3 - орта білім; - 4 - жоғары білім	Анасының білімі жайлы мәлімет
4	Fedu	- 0 - жоқ; - 1 - бастауыш білім (төрт сынып); - 2- 5-9 сынып; - 3 - орта білім; - 4 - жоғары білім	Әкесінің білімі жайлы мәлімет
5	Mjob	«мұғалім», «денсаулық», азаматтық «қызмет» (мысалы, әкімшілік немесе полиция қызметкері), «үй шаруасында» немесе «басқалар»)	Анасының жұмысы
6	Fjob	«мұғалім», «денсаулық», азаматтық «қызмет» (мысалы, әкімшілік немесе полиция қызметкері), «үй шаруасында» немесе «басқалар»)	Әкесінің жұмысы

Деректер жиыны атрибуттары сипаттамалары бойынша төмендегі 3-кестеге сәйкес білім алушылардың мектепке байланысты оқу үрдісіне қатысты тағы да қосымша мәліметтері қолданылады.

2-кесте. Білім алушылардың оқу үрдісіне қатысты қосымша деректері

№	Атрибут атауы	Деректер жиынындағы шартты белгіленуі	Түсініктемесі
1	Reason	үйге, мектепке жақын, беделі, бағыты, өз қалауы және т.б.	Осы мектепті таңдау себебі
2	Guardian	Анасы, әкесі немесе т.б.	Оқушының қамқоршысы
3	Treaveltime	- 1 - <15 минут, - 2 - 15-30 минут - 3 - 30 минут - 1 сағат - 4 - > 1 сағат	Мектепке дейінгі уақыт
4	Studytime	- 1 - 2 сағат - 2 - 2 сағат - 3 - 5-10 сағат - 4 - 10 сағат	Бір аптада оқу уақыты
5	Failures	егер $1 \leq n$ болса, онда n, әйтпесе 4	Босатылған сабақтар саны
6	Schoolsup	иә немесе жоқ	Қосымша білім
7	Famsup	иә немесе жоқ	Білім алуын отбасылық қолдау
8	Paid	иә немесе жоқ	Информатика және математика бойынша қосымша ақылы курс
10	Nursery	иә немесе жоқ	Жеке бөлмесінің болуы
11	Higher	иә немесе жоқ	Жоғары білім алғыңыз келеді ме
12	Internet	иә немесе жоқ	Үйде Интернет бар ма?
13	Romantic	иә немесе жоқ	Романтикалық қарым-қатынас бар
14	Famrel	1 саны - өте төмен - 5-ке дейін - өте жоғары	Отбасылық қатынастардың сапасы
15	Freetime	1 саны - өте төмен - 5-ке дейін - өте жоғары	Мектептен кейінгі бос уақыт
16	Goout	1 саны - өте төмен - 5-ке дейін - өте жоғары	Достармен демалыс
17	Dalc	1 саны - өте төмен - 5-ке дейін - өте жоғары	Жұмыс күндері алкогольді тұтыну
18	Walc	1 саны - өте төмен - 5-ке дейін - өте жоғары	Демалыс күндері алкогольді тұтыну
19	Health	1-ден өте нашар - 5-ке дейін - өте жақсы	Қазіргі уақытта денсаулық жағдайы
20	Absences	0-ден 93-ке дейінгі сан	Босатқан күндері бойынша саны

Деректер жиыны атрибуттары бойынша кесте 4-ке сәйкес білім алушылардың информатика және математика пәндері бойынша үлгерім бағалары туралы мәліметтері ұсынылады. G1 (бірінші тоқсан бағалары), G2 (екінші тоқсан бағалары), G3 (қорытынды бағалар) атрибуттарының мәндері дейінгі сандар аралығында шартты түрде белгіленді. Нақты 0-ден 20 аралығындағы сандарға қатысты бағалаудың мәндеріне келетін болсақ, олар келесідей шарттар негізінде алынып отыр: 16-20 А – өте жақсы деңгей; 14-15 В – жақсы деңгей; 12-13 С – қанағаттанарлық деңгей; 10-11 D – жеткілікті деңгей; 0-9 F – нашар деңгей. Жалпы бұл шартты деңгейлер 5 деңгейлі жіктеу – қайта есептеу жүйесі Erasmus бағалау жүйесіне негізделеді.

Зерттеу әдісі. Кез келген математикалық модельдерді шешудің объективтілігі негізінен бастапқы ақпараттың сенімділігіне байланысты екенін білеміз. Мұнда осы ақпарат ретінде білім алушыны бағалау қолданылады. Бұл мұғалімнің өзі анықтайтын ең объективті бағалау. Барлық белгісіздік үшін ол әлі де оқу сапасының көрсеткіші және өлшемі болып табылады. Оқу пәндері бойынша оқыту сапасын талдау және басқару мақсатында регрессиялық теңдеулер мен болжамды бағаларды алу тәсілі қарастырылған. Көрсетілген теңдеулер білім алушылардың үлгерімі туралы нақты ақпаратты өңдеу және регрессиялық талдауды қолдану негізінде алынуы мүмкін. Сызықтық регрессия (LR - Linear regression) оқытушымен оқыту есептерін шешеді, яғни белгілі бір алдын ала белгілеулері бар деректер жиынтығымен жұмыс жасап, содан кейін біз әлі қарастырылмаған жаңа деректерге туралы болжам жасалынады. Сызықтық регрессия жағдайында белгілі бір нақты айнымалы болжанады және сызықтық тәуелділікті атрибуттарға байланысты модельденіледі, яғни қандай да бір атрибуттар бар делік және олар басқа атрибуттарға байланысты болады. Мақсатымыз сол тәуелділікті табу болып табылады. Сызықтық регрессия дегеніміз не деп қысқаша талдау жасап өтейік. Айталық, мақсатты айнымалы бар. Атрибуттар салмақтарын негізінде деректерді анағұрлым жақсы сипаттайтын атрибуттар салмақтарын табу қажет.

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k, \quad (1)$$

мұндағы y – мақсатты айнымалы, x – белгілері, a – үлгі салмақтары.

Мұны әртүрлі белгілердің өлшенген қосындысы ретінде қарастыруға болады және бұл салмақтарды тек модельде тандалынады. Мысалы, кейін осы салмақтарды атрибуттардың қайсысы маңызды екенін түсіну үшін қолдануға болады.

Сызықтық регрессия – ол оқытушымен оқыту әдістер тобына жатады. Зерттеу барысына байланысты таңдап алынған деректер жиыны бар, оларды талдау арқылы сипаттама жасаймыз да, содан кейін жаңа деректер туралы болжам жасауға болатынына көз жеткізуімізге болады. Деректермен жұмыс істегенде «деректерді жақсы сапада сипаттау» туралы алдымызға сұрақ қойылады. Бұл жағдайда үйретуші тандалымды қалай жақсы сипаттай аламыз деген де сұрақ туындайды. Сол себептен, үйретуші тандалымды жақсы оқыту үшін қате функциясы қажет, яғни сол арқылы оны оңтайландырамыз деген сөз. Қате функциясы ретінде, мысалы, Mean Absolute Error немесе орташа абсолютті қатені қолдана аламыз, бұл біздің орташа болжамдарымыздың дұрыс жауаптардан қаншалықты алыс екенін көрсетеді.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|, \quad (2)$$

мұндағы N -тандалымның мөлшері, y_i – дұрыс жауап, \hat{y}_i – біздің болжамымыз. Бұл өте қисынды және жақсы түсіндірілген жоғалту функциясы, бірақ ол сараланбайды, сондықтан оны, мысалы, градиентті түсіру немесе градиентті оңтайландыру әдістері жағдайында қолдануға болмайды. Сондықтан әдетте күрделі және сәл өзгеше функциялар қолданылады. Мысалы, Mean Squared Error, яғни дәл осылай жасайтын орташа квадраттық қате біздің болжамдарымыздың нақты жауаптардан қашықтықтарының квадраттарын ғана анықтайды.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (3)$$

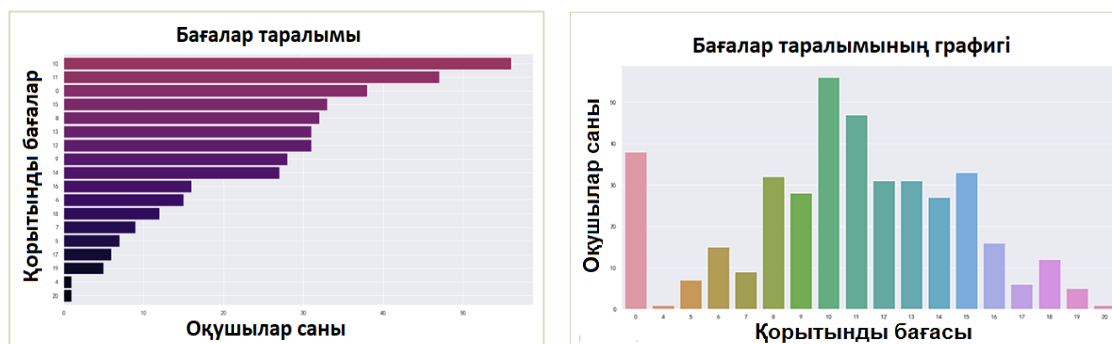
мұндағы N – тандалымның мөлшері, y_i - дұрыс жауап, \hat{y}_i - біздің болжамымыз. Осыған байланысты оны қазірдің өзінде оңтайландыруға болады, сонымен қатар, оны саралауға

да болады және де ол градиентті түсіру әдістерінде өте жиі кездеседі. Бірақ та, мұндай жоғалту функциясы бар сызықтық регрессия жағдайында мәселені аналитикалық түрде шеше аламыз, градиент түсіруді қолданудың қажеті бұл жағдайда болмайды. Осыған қарамастан, ол үшін үлкен өлшемді кеңістіктерде күрделі матрицаларды айналдыру керек, және бұл әрдайым жұмыс істемейді, кейде әрдайым дерлік қолданылатын градиент әдістерін қолдану оңайырақ болады. Сонымен, жоғалту функциясын біз төмен түскіміз келетін бет сияқты елестетуге болады, яғни өз функциямызды азайтып, оның минимумын тапқымыз келеді. Дәл сол жерде біздің модель жақсы жұмыс істейтін болады. Ол үшін өздеріңіз білетіндей, градиент функцияның ең жылдам өсу бағытын көрсетеді, ал логикалық тұрғыдан антиградиент функцияның ең аз төмендеу бағытын көрсетеді де, оны осы тұста қолдануға болады.

Тәжірибе жүзінде жүзеге асырылуы. Достигнутые в исследовании авторов результаты могут быть использованы и в других подобных информационно-образовательных средах, а также полезны для продолжения проводимой работы, обеспечив комплексный подход к политике ИБ в масштабах всей организации. Можно рекомендовать результаты и в качестве учебных ресурсов при преподавании в вузе курсов по защите информации. Білім алушылардың оқу үлігерімі деректер жиынына талдау мен болжау жасау мәселесін шешудегі алғашқы қадам арнайы пәндер таңдалған. Ол белгілі бір мамандықтың оқу жоспарының құрылымдық-логикалық схемаларының логикалық ойларына және талаптарына бағынуы керек. Мұнда мысал ретінде екі арнайы пән алынған. Енді солардың атаулары мен шартты белгілерін берелік:

- арнайы пәндер бойынша болжам бағалары – y ;
- пән атауы – «Математика» – x_1 ;
- пән атауы – «Информатика» – x_2 ;

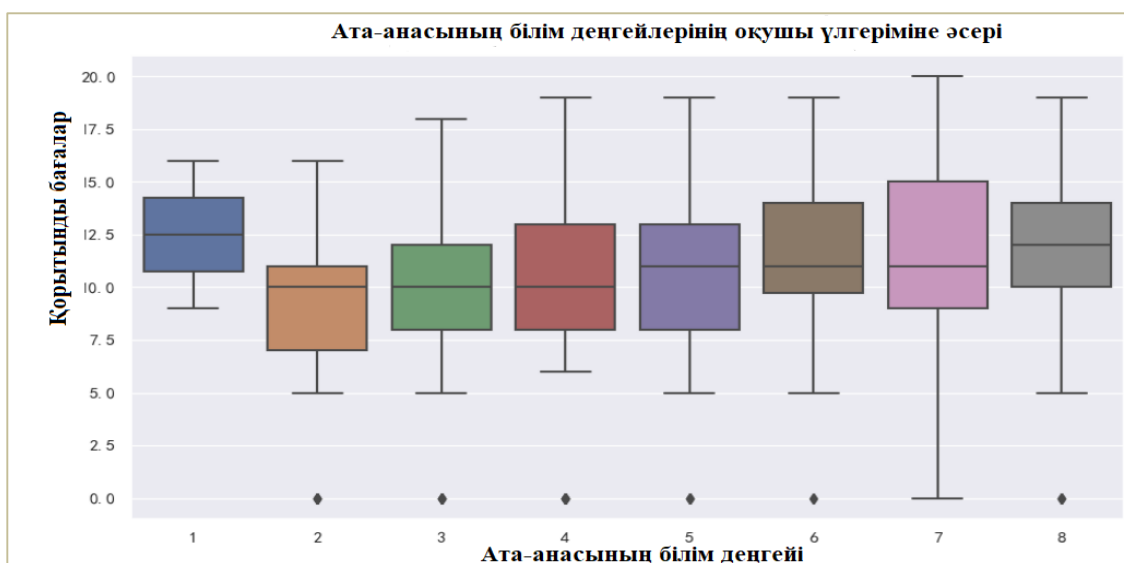
– оқушының жеке бас мәліметтері (School, Sex, Age, Address), шыққан отбасына қатысты мәліметтер (Famsize, Pstatus, Medu, Fedu, Mjob, Fjob), оқушылардың оқу үрдісіне қатысты қосымша деректері (Reason, Guardian, Treaveltime, Studytime, Failures, Schoolsup, Famsup, Paid, Nursery, Higher, Internet, Romantic, Famrel, Freetime, Goout, Dalc, Walc, Health, Absences), білім алушылардың оқу пәндері бойынша мәліметтеріне кіретін атрибуттар – x_k, \dots, x_{k+n} . Бастапқы ақпарат ретінде оқушылардың 1-ші және 2-ші тоқсан нәтижелерінің бағалары және осы бағаларға тікелей әсері бар атрибуттар алынды. Білім алушылардың оқу үлігерімі деректер жиынына қатысты зерттеу жүргізудің бастапқы қадамы, деректерді визуализациялау әдістері арқылы жүргізілді де, екінші кезекте сызықтық регрессия моделі құрылды. Білім алушылардың оқу үлігерімі деректер жиынына визуализациялау әдістерін қолдану кеосі түрде жүргізілді. Білім алушылардың қорытынды бағаларына талдау жасау негізінде жалпы бағалардың таралымын байқадық (1-сурет).



1-сурет. Білім алушылардың бағалары бойынша таралымының графигі

Білім алушылардың оқу үлгерімі деректер жиынына қатысты сабақ үлгеріміне әсер ететін факторларды анықтау және оларға жан-жақты талдауды жалғастыра отырып, атрибуттар арасындағы корреляциялық талдау жүзеге асырылды. Алдымен әр атрибут пен G3 қорытынды баға атрибутының арасындағы қатынас есептелді. Нәтижесінде анағұрлым корреляцияланушы атрибуттар қатарына G1 мен G2-ден басқа ешбір атрибут кірген жоқ. Білім алушылардың оқу үлгерімі деректер жиынын терең барлау үшін релеванттылығы жоғары атрибуттардың оқу үлгеріміне әсерін зерттедік. Сондай атрибуттардың бірі Failures (Өткен сыныптағы босатылған сабақтар саны) атрибутын қарастырдық.

Көріп тұрғанымыздай, нәтиже айқын. Сабақты көп босатқан білім алушылардың оқу үлгерімі де жоғары емес. Олай болса, Failures атрибутының оқу үлгеріміне әсері маңызды екендігіне көз жеткіздік. Осы тұста, сонымен қатар, Medu және Fedu (Ата-анасының білім деңгейлері жайлы мәлімет) атрибуттарының оқу үлгеріміне деген әсері де қарастырылып, келесі 2-суретте келтірілген.



2-сурет. Medu және Fedu атрибуттарының оқу үлгеріміне әсері

Отбасылық білім деңгейінің жоғарылауымен белгілі бір диапозонда білім алушылардың орташа бағалары да жақсарғанын көруге болады, бірақ графиктің қарама-қарсы ұштарында жүйелілік байқалмайды. Ең төменгі білім деңгейі бар білім алушылар басқа деңгейдегі көптеген отбасыларға қарағанда жоғары балл алған, ал ең жоғары білім деңгейі бар отбасылардың балаларында бағалары төмен. Мұның себебі әзірше белгісіз және деректерде қателіктер кету мүмкіндігін де жоққа шығаруға болмайды. Осы зерттеуде, деректер жиынын талдауға байланысты сызықтық регрессия әдісінен басқа да, машиналық оқыту әдістері қолданылып, білім алушылардың оқу үлгерімдерін болжауға байланысты әдістердің ішінен тиімдісі анықталды. Жалпы зерттеуде жіктеу әдістерінің ішінен ағаштар шешімдері (Decision Tree), кездейсоқ ағаштар шешімдері (Random Forest) және Support Vector Classification (SVC) әдістері қолданылды. Аталған әдістерді қолдану негізінде олардың тиімділігі Cross Validation Score әдісі арқылы бағаланып, дәлдік көрсеткіші ең жоғарғысы ретінде сызықтық регрессия әдісі анықталды, кесте 3-ке сәйкес. Сызықтық регрессия әдісі үлгісінің тиімділігін бағалау нәтижесінде дәлдік көрсеткіші – 90,6 %-ға тең болды.

3-кесте. Салыстырмалы түрде қолданылған әдістердің тиімділігін бағалау нәтижелері

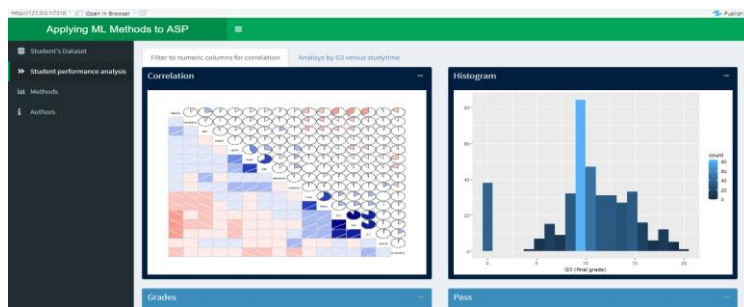
№	Бағалау үлгісі	Decision Tree	Random Forest	SVC	LR (сызықтық регрессия)
1	Model Score	0.887	0.963	0.929	0.898
2	Cross Validation Score	0.893	0.875	0.867	0.906

Білім алушылардың оқу үлгерімі деректер жиынына талдау мен болжау жасау мәселесін қарастырудың екінші кезеңінде тікелей сызықтық регрессия әдісі қолданылды. Білім алушылардың үлгерімін машиналық оқыту әдістерімен болжау, соның ішінде сызықтық регрессиялық модельмен бағалауды жүзеге асыру үшін R бағдарламалау тілінің Shiny пакеті арқылы веб-қосымша да әзірленді. Веб-қосымша зерттеудің бірінші кезеңі мен екінші кезеңі нәтижелері мен визуализацияларын өзіне кіріктіріп отыр. Веб-қосымша R бағдарламалау тілінің Shiny пакетін қолдану негізінде орындалды.

Shiny пакетімен жұмыс жасағанда бастапқыда жеңіл болғанымен, бірақ оның қалай жұмыс істейтініне қаншалықты терең үңілсеңіз, соғұрлым ол бағдарламалық жасақтаманы әзірлеудің күшті принциптері бар жалпы құрылыс блоктарынан жасалғанын түсінесіз. Shiny пакеті көмегімен қолданушы мен аналитиктер үшін тартымды және заманауи тұрғыда интерфейс дайындалды. Веб-қосымша құруда Shiny пакеті мүмкіндіктері өте тиімді болып келеді, сонымен қатар серверлік мүмкіндіктері де тиімді түрде жұмысты ұйымдастыруға көмектеседі.

Веб-қосымшаның навигациясы ретінде веб-қосымшаның сол жақ бөлігіндегі вертикаль мәзірге назар аудару қажет. Вертикаль мәзірде келесі атаулармен қажетті бөлімдер бар, олар: Student's Dataset; Student performance analysis; Methods; Authors. Веб-қосымшаның құрылымдық сызбасына сәйкес келесі бөлімдердің визуализацияларын келтіре кетейік. Веб-қосымшада білім алушылардың үлгерімін болжау үшін зерттеуде сипатталып кеткен деректер жиыны қолданылды. Мұнда «Student's Dataset» мәзірінде деректер жиыны жазбаларын қолданушы қажетінше парақ нөміріне сәйкес толығымен көре алады немесе іздеу функциясы арқылы да қажетті жазбаны тауып ала алады. Сонымен қоса, қажетінше 10 немесе 15, 20 т.с.с. жазбалар көлемін өз қалауыңша шығарып көру мүмкіндігіне ие бола алады.

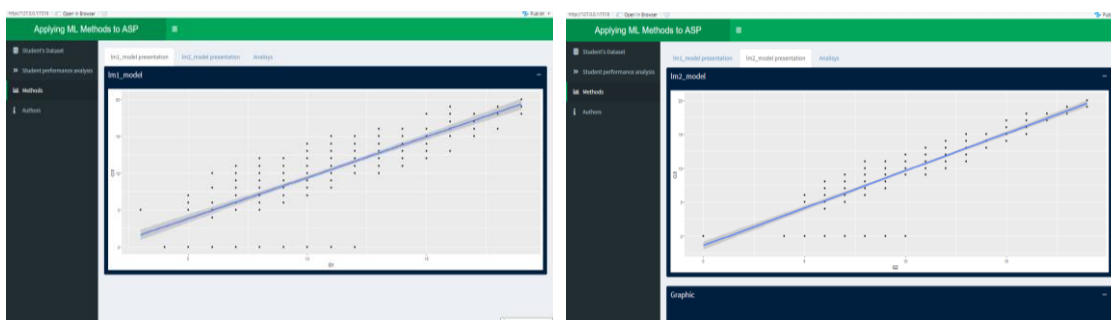
Веб-қосымшаның келесі «Student performance analysis» мәзірі бойынша екі қосымша ұйымдастырылған, олар: 1) «Filter to numeric columns for correlation», 2) «Analysis by G3 versus studytime». Осы құрылымға байланысты «Filter to numeric columns for correlation» қосымшасына шерту арқылы сурет 3-ке қатысты деректер жиыны негізінде атрибуттар арасындағы корреляциялық талдамалар графикалық түрде визуализацияланып көрсетіледі.



3-сурет. Деректер жиыны атрибуттары арасындағы корреляциялық талдама

Білім алушылардың үлгерімін болжауда тек қана бағалардың маңыздылығы бар екеніне ғана көзімізді жеткізіп қана қоймай, сонымен бірге, білім алушылардың мінез-құлқы, бос уақытын өткізуі мен отбасы және тұрмыстық жағдайларының да маңыздылығы бар екенін анықтап алдық. Сол себептен, білім алушылардың мінез-құлқына байланысты да талдамалар жасалып, олардың қорытындысы графикалық түрде алынған болатын. Бұл графикалық түрдегі талдамалар веб-қосымшаның арнайы бөлімдерінде визуализацияланып шығарылған болатын.

Келесі кезекте, веб-қосымшада зерттеудің мақсат-міндеттеріне байланысты таңдалып алынған зерттеу әдісі, яғни сызықтық регрессия моделіне қатысты визуализациялау келтірілген. Мұнда деректер жиынына байланысты білім алушылардың үлгерімін болжауға байланысты сызықтық регрессия модельдері графиктерін 4-ші суреттерден көруге болады.



4-сурет. Білім алушылар үлгерімін болжаудағы сызықтық регрессияның 1-ші және 2-ші моделдері

Білім алушылардың оқу үлгерімі деректер жиынына талдау мен болжау үшін машиналық оқыту әдісі ретінде сызықтық регрессияны қолдану нәтижесінде оқушылардың үлгерімін болжауда келесідей релевантты атрибуттар анықталды, яғни ол деген сөз: оқушылардың білімін болжау үшін келесі деректерге мұқият назар аудару қажет. Олар біріншіден, оқушылардың тоқсан бойынша бағалары кестеде олар G1/G2/G3 белгісімен сипатталып тұр, сонымен қатар, оқушылардың ата-анасының білімі жайлы мәліметтер маңызды болып табылады және соңғы ең маңызды дерек – ол білім алушының қаншалықты сабаққа қатысуы, яғни сабақты босату туралы деректер. Осылардың негізінде оқушылардың оқу үлгеріміне болашақта болжау жасауға болады. Сонымен қатар, құрылған модельді бағалау үшін арнайы метрика Ассигасу метрикасы қолданылып, бағалау нәтижесі жоғары пайызды көрсетті (90 %).

Қорытынды. Қарастырылып отырған зерттеу мақаласында білім алушылардың деректер жиынына талдау жасауда және оқу үлгерімін болжауда статистикалық талдау мен сызықтық регрессия моделі құрылып қолданылды. Сонымен қатар, корреляциялық әдісті қолдану нәтижесінде релевантты атрибуттар тізімі де анықталған. Деректер жиынтығы оқушылардың үлгерімі, демографиялық сипаттамалары, әлеуметтік және мектеп сипаттамалары атрибуттарын қамтыды. Деректер жиыны екі түрлі Информатика (инф) және Математика (мат) пәндері бойынша жинақталған. Машиналық оқыту әдісі сызықтық регрессияны қолдану нәтижесінде білім алушылардың үлгерімін болжауда релевантты атрибуттар анықталды. Олар, оқушылардың тоқсан бойынша бағалары G1-G3, білім алушылардың ата-анасының білімі жайлы мәліметтер, білім алушының қаншалықты сабаққа қатысуы, яғни сабақты босату туралы деректері маңызды болып табылатыны анықталды. Сызықтық регрессияны қолдану негізінде алынған модельді

бағалау нәтижесі жоғары пайызды көрсетті (90,6 %). Зерттеу жұмыстарының қорытынды нәтижелері мен визуализациясы Shiny Dashboard құралы негізінде білім алушылардың оқу үлгерімдерін талдау мен болжау интерактивті қосымшасы әзірленді.

References

1. Yağcı, M. Educational data mining: prediction of students' academic performance using machine learning algorithms. *Smart Learn. Environ.* 9, 11 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00192-z>.
 2. Alam, A., Mohanty, A. (2023). Predicting Students' Performance Employing Educational Data Mining Techniques, Machine Learning, and Learning Analytics. In: Tomar, R.S., et al. *Communication, Networks and Computing. CNC 2022. Communications in Computer and Information Science*, vol 1893. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43140-1_15.
 3. H. Pallathadka, A. Wenda, E. Ramirez-Asís, M. Asís-López, J. Flores-Albornoz, K. Phasinam. Classification and prediction of student performance data using various machine learning algorithms. *Volume 80, Part 3, 2023, pp. 3782-3785, ISSN 2214-7853*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.382>.
 4. Fahd, K., Venkatraman, S., Miah, S.J. et al. Application of machine learning in higher education to assess student academic performance, at-risk, and attrition: A meta-analysis of literature. *Educ Inf Technol* 27, 3743–3775 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10741-7>.
 5. Munir, H.; Vogel, B.; Jacobsson, A. Artificial Intelligence and Machine Learning Approaches in Digital Education: A Systematic Revision. *Information* 2022, 13, 203. <https://doi.org/10.3390/info13040203>.
 6. G. Feng, M. Fan and Y. Chen, "Analysis and Prediction of Students' Academic Performance Based on Educational Data Mining," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 19558-19571, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3151652.
 7. Ahuja, R., Jha, A., Maurya, R., Srivastava, R. (2019). Analysis of Educational Data Mining. In: Yadav, N., Yadav, A., Bansal, J., Deep, K., Kim, J. (eds) *Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 741. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0761-4_85.
 8. A. Hernández-Blanco, B. Herrera-Flores, D. Tomás, and B. Navarro-Colorado, "A Systematic Review of Deep Learning Approaches to Educational Data Mining," *Complexity*, vol. 2019, pp. 1–22, May 2019, doi: 10.1155/2019/1306039.
 9. C. Jalota and R. Agrawal, "Analysis of Educational Data Mining using Classification," 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), Faridabad, India, 2019, pp. 243-247, doi: 10.1109/COMITCon.2019.8862214.
 10. Alshareef, F., Alhakami, H., Alsubait, T., & Baz, A. (2020). Educational Data Mining Applications and Techniques. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11.
 11. Batool, S., Rashid, J., Nisar, M.W. et al. Educational data mining to predict students' academic performance: A survey study. *Educ Inf Technol* 28, 905–971 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11152-y>.
 12. Sekeroglu B., Dimililer K., Tuncal K. Student Performance Prediction and Classification Using Machine Learning Algorithms. *ICEIT 2019: Proceedings of the 2019 8th International Conference on Educational and Information Technology*. March 2019, pp.7–11. <https://doi.org/10.1145/3318396.3318419>.
 13. Francis, B.K., Babu, S.S. Predicting Academic Performance of Students Using a Hybrid Data Mining Approach. *J Med Syst* 43, 162 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1295-4>.
 14. Trakunphutthirak, R., & Lee, V. C. S. (2022). Application of Educational Data Mining Approach for Student Academic Performance Prediction Using Progressive Temporal Data. *Journal of Educational Computing Research*, 60(3), 742-776. <https://doi.org/10.1177/07356331211048777>.
 15. D. Aggarwal, S. Mittal, and V. Bali, "Prediction model for classifying students based on performance using machine learning techniques," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 2 Special Issue 7, pp. 496–503, Jul. 2019, doi: <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1093.0782S719>.
 16. Lau, E.T., Sun, L. & Yang, Q. Modelling, prediction and classification of student academic performance using artificial neural networks. *SN Appl. Sci.* 1, 982 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0884-7>.
-
-

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_198
MFTAA 81.93.29

А. Хомпыш^{1,2}, О.А. Лизунов²

¹Нұр-Мұбарак Египет ислам мәдениеті университеті, Алматы қ., Қазақстан
E-mail: ardabek@mail.ru*

²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы қ., Қазақстан
E-mail: o.lizunov@bk.ru

ІОТ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНА АРНАЛҒАН ЖЕҢІЛСАЛМАҚТЫ ШИФРЛАУ АЛГОРИТМІ

ЛЕГКОВЕСНЫЙ АЛГОРИТМ ШИФРОВАНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ІОТ

LIGHTWEIGHT ENCRYPTION ALGORITHM FOR ІОТ DEVICES

Аңдатпа. Бұл мақалада шекті ресурстарға негізделген аппаратты құрылғылардағы мәліметтерді қорғауға арналған жаңа жеңілсалмақты шифрлау ISL_LWC алгоритмі ұсынылған. Ұсынылған жеңілсалмақты шифрлау ISL_LWC алгоритмін зерттеу, Speck және Present алгоритмдерімен салыстыру барысында Arduino Uno R3 платасы қолданылды. Барлық үш жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдерінің шифрлау жылдамдығын және раундтық кілттерді генерациялау көрсеткіштерінің сапасын зерттеу үшін алгоритмдер жоғарыдеңгейлі C++ бағдарламалау тілінде бағдарламалық жүзеге асырылды. Шифрлау жылдамдығын және раундтық кілттерді генерациялау жылдамдығын тексеру Arduino Uno R3 платасы негізінде АҚШ-тың Ұлттық стандартты және технологиялар институты дайындаған платформадағы бағдарламалық кіріс кодтары алынып осы негізінде тесттер жүргізілді. Зерттеу жүргізу барысында мақсатқа сай қанағаттанарлық нәтиже алынды. ISL_LWC шифрлау алгоритмі шекті ресурстардағы аппараттық құрылғыларға қолдануға жылдамдығы жағынан сипаттамалық талаптарға сәйкес келетіндігі анықталды. Сонымен қатар S блоктың қасиеттері зерттеліп нәтижелері ұсынылды.

Түйін сөздер: Жеңілсалмақты криптографиялық алгоритмдер, Arduino Uno R3, ISL_LWC, ІОТ құрылғылары, раундтық кілт, бағдарлама, ауыстыру, сызықты емес түрлендірулер, микроконтроллер, шифрлау, NIST, S-box, шифрлау алгоритмі.

Аннотация. В данной статье представлен новый легковесный алгоритм шифрования ISL_LWC, предназначенный для защиты данных на устройствах с ограниченными аппаратными ресурсами. Для проведения исследования и сравнительного анализа разработанного легковесного алгоритма шифрования ISL_LWC с алгоритмами Speck и Present была использована плата Arduino Uno R3. Все три легковесных алгоритма шифрования были реализованы на высокоуровневом языке программирования C++. В качестве исследуемых показателей были взяты скорость зашифрования и генерации раундовых ключей. Для проведения тестов по измерению скорости зашифрования и генерации раундовых ключей на базе платы Arduino Uno R3 были взяты исходные коды программной платформы, подготовленной Национальным институтом стандартов и технологий США для этих целей. В целом, полученные результаты проведенных исследований – удовлетворительные. Алгоритм шифрования ISL_LWC по своим скоростным характеристикам соответствует требованиям, предъявляемым к алгоритмам шифрования, используемым в устройствах с ограниченными аппаратными ресурсами. Также были изучены свойства S блока и представлены результаты.

Ключевые слова: Легковесные криптографические алгоритмы, Arduino Uno R3, ISL_LWC, устройства ІОТ, раундовый ключ, программное обеспечение, перестановка, нелинейные преобразования, микроконтроллер, шифрование, NIST, S-box, алгоритм шифрования.

Abstract. This article introduces a novel lightweight encryption algorithm called ISL_LWC, which aims to secure data on devices with constrained hardware capabilities. To perform a research study and conduct a comparative analysis between the newly developed ISL_LWC encryption algorithm and the

existing Speck and Present algorithms, an Arduino Uno R3 board was utilized. All three lightweight encryption algorithms were implemented using the high-level C++ programming language. The speed of encryption and generation of round keys were taken as the studied indicators. In order to evaluate the encryption speed and generate round keys on the Arduino Uno R3 board, the software platform provided by the US NIST was utilized. The source codes from this platform were employed for the tests. Overall, the conducted studies yielded satisfactory outcomes. The speed characteristics of the ISL_LWC encryption algorithm were found to fulfill the requirements for encryption algorithms employed in devices with restricted hardware resources. The properties of block S were also studied and the results were presented.

Keywords: lightweight cryptographic algorithms, Arduino Uno R3, ISL_LWC, IoT devices, round key, software, permutation, non-linear transformations, microcontroller, encryption, NIST, S-box, encryption algorithm.

Kipicne. Соңғы жылдары жаңа технологиялардың қарқынды дамуы нәтижесінде шағын шекті ресурстарға негізделген құрылғылар пайда болды. Заманауи мұндай технологиялар қазіргі уақытта әртүрлі салаларда кең қолданысқа ие. Бұл технологияларды қолданудың ерекшеліктері кейбір мәселелерді жылдам, қолайлы шешуге мүмкіндік беретін технологияға айналды. Айта кететін болсақ шекті ресурстарға негізделген құрылғыларға келесілерді жатқызуға болады. Олар: IoT, RFID және смарт технологиялар қолданысқа ие [1, 2].

Қазіргі уақытта интернет желісі арқылы мұндай технологияларды пайдалану арқылы әртүрлі қызметтерді пайдалану күрт өсуінің нәтижесінде оларға жасалатын шабулдардың көбейгендігі белгілі. Ал шекті ресурстарға негізделген мұндай технологиялардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету дәстүрлі криптографиялық әдістер үшін тиімсіз болып табылады. Себебі дәстүрлі криптографиялық қорғау алгоритмдері блок ұзындығының жоғару болуы және құрамындағы криптографиялық түрлендіру әдістерінің күрделілігі өз кезегінде мұндай құрылғылардың жұмыс істеуіне қолайсыз болып табылады. Сондықтан шекті ресурстарға негізделген технологиялардың қауіпсіздігін қамтамасыз ететін алгоритмдерді жасау өзекті мәселердің бірі болып табылады. Шекті ресурстарға негізделген криптографиялық алгоритмдерді жеңілсалмақты криптографиялық алгоритмдер деп атаймыз. АҚШ-тың, Ұлттық стандарттар және технологиялар институты (ҰСТИ ағл. NIST) 2021 жылы алғашқы жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдері туралы конкурс жариялады [3,4]. Конкурса 20-дан астам алгоритмдер қатысты солардың ішінде 2012 ж. Present [5] және Clefiа [6] шифрлау алгоритмдері жеңімпаз атанып NIST шешімі бойынша жеңілсалмақты криптографиялық алгоритмдердің стандарты болып бекітілді.

Present шифрлау алгоритмінің сипаттамасы блок ұзындығы 64 бит, раундтардың саны 32, құрылымы Фейстель желісі негізінде жасалынған. Алгоритмнің құрылымында 4x4 өлшемді сызықты емес S блок және сызықты P блок биттік орын ауыстыру криптографиялық түрлендіру операциясы орындалады. Соңғы жылдары жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдерге байланысты NIST өздерінің жаңа талаптарын қоса отырып конкурс жариялады. Сонымен қатар жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдердің жылдамдықтарын сынақтан өткізу үшін арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету платформаларын даярлап ұсынды [7].

NIST жеңілсалмақты криптографиялық алгоритмдердің құрамындағы криптографиялық түрлендіру әдістері үшін жалпы талап етілетін негізгі критерийлер ретінде келесілерді айтуға болады [8]. Олар:

- Сенімділігі: Жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдерінің криптошабулдарға төзімділік деңгейі қамтамасыз етілуі керек. Әдетте сенімділік деңгейі 2^{112} кем болмауы керек.

- Икемділігі: Алгоритм әртүрлі платформаларға ыңғайлы іске асырылуы керек. Сонымен қатар бір платформада әртүрлі қызметтерді орындай алатындай болу керек. Блок және кілт өлшемдері сияқты параметрлерді орындау үшін ортақ түрлендіру әдістері қолданылмайтын әртүрлі алгоритмдерді салыстыруға мүмкіндік беруі керек.

- Бірнеше түрлендірулер үшін төмен шығындар: Бір ғана құрылымды пайдалана отырып әртүрлі түрлендіру әдістерін қолдану (мысалы, шифрлау және шифрды ашу) мүмкіндігін беретін алгоритмдер жасай отырып басқада алгоритмдердің құрылымындағы түрлендірулерге қарағанда мүлдем басқа құрылымда жақсырақ нәтиже беретін шекті құрылғыларға аз шығынды беретін түрлендіру әдісі болуы керек.

- Шифрмәтіннің өлшемі: Шифрмәтіннің өлшемі аппараттық ресурстарға қажетті мәліметтерді сақтау және жіберу үшін әсер етеді. Сондықтан шифрлау алгоритмдерінің шифрлау нәтижесінде ашықмәтіннен ұзын емес шифрмәтіндердің болғаны дұрыс, өйткені ол сақтау және тасымалдау талаптарын азайтуға көмектеседі.

- Кездейсоқ арналық шабуылдар мен сәтсіздіктерге төзімділік: Бұл талап негізінен IoT құрылғылары үшін өте маңызды, себебі қаскүнемдер құрылғыларға физикалық тұрғыдан қол жеткізе алады. Ал ресурстар шектеулі болғандықтан, мұндай шабуылдарды азайтуға қарсы шаралар жүргізу арқылы жетімді болмауын қадағалау керек.

- Ашықмәтін/шифрмәтін жұптарының санына шектеулер: Алгоритм жасаушылар бір команда арқылы түрлендіруге болатын ашықмәтін/шифрмәтін жұптарының санының жоғарғы шегін орнатуға рұқсат етуі мүмкін. Ол криптографиялық алгоритмдегі шекті құрылғының шектеулеріне ыңғайлы және нақты қолданбаның талаптарына сәйкестендіруге мүмкіндік береді.

- Кілтке қатысты шабуылдарға төзімділік: Бұл негізінен криптографиялық алгоритмдердің негізгі өзекті талаптарының бірі болғандықтан, кілттерді псевдокездейсоқ генератордан алыну керек.

Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтындағы Ақпараттық қауіпсіздік зертханасында гранттық жоба негізінде жасалынып отырған бұл алгоритмді жасау барысында осы аралыққа дейінгі шекті құрылғыларға негізделген жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдердің құрамын зерттей отырып нәтижесінде жаңа шифрлау ISL_LWS алгоритмі ұсынылды.

Бұл ұсынылып отырған жеңілсалмақты шифрлау алгоритмінің жылдамдығын тексеру үшін аппараттық ресурстардағы шекті ресурстарға арналған құрылғылардың талаптарына жауап беретін құрылғы пайдаланылды.

Шекті құрылғыларға негізделген жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдері бойынша жүргізілген зерттеулерге сай келесі жұмысты атап өтуге болады. Бұл жұмыстарда авторлар белгілі шифрлау алгоритмдерінің құрамындағы әртүрлі түрлендіру әдістерінің ерекшеліктерін сиппатаған және алгоритмнің жылдамдығын тексеру үшін алгоритмді бағдарламалықта жүзеге асыра отырып зерттеген [9,10]. Мысалы, Бабенко Л.К., Голотина Д.В., Макаревич О.Б. [11] Trivium [12] ағындық шифрының сипаттамасын және оның аппараттық жүзеге асырылу процесі туралы зерттеулерін жүргізген. Онда Trivium шифры бағдарламалық жүзеге асырудан қарағанда аппараттық құралдарға негізделген алгоритм екендігін анықтаған. Сонымен қатар авторлар зерттеу жұмыстарын жүргізу барысында бұл шифр FPGA, Marsohod 2Bis тақтасында жүзеге асырылғандығын және әзірленген алгоритм бұл мобильді роботтармен жұмыс істеу кезінде пайдалануға болатындығын көрсеткен [10].

Келесі жұмыста мақала авторы Л.К. Бабенко және т.б. Present шифрын зерттеген [13,5]. Онда авторлар алгоритмнің бағдарламалық қамтамасыз етуді іске асыруды жүзеге асыра отырып, сонымен қатар чиптегі жүйеге арналған арнайы әзірленген аппараттық блокты өңдеген. Бұл әзірleme шекті ресурсты криптография талаптарына сәйкес келетіндігін және әртүрлі құрылғыларда іске асыруда оңтайлы шешім болатындығы айтылған [14]. Ал Жуков [15] және Tang, Zh [5] еңбектерінде шекті құрылғыларға негізделген Present, Trivium және Clefia сияқты шифрларды зерттей отырып зерттеу нәтижелеріне ұсынған. Онда Clefia алгоритмі басқа алгоритмдерге қарағанда жылдамы-

рақ сонымен қатар мобильді робототехникада шифрлау үшін қолдануға ыңғайлы нұсқасы деп көрсеткен. Ал Present шифры бағдарламалық жасақтамада енгізілгенде шифрлау жылдамдығы төмен болатындығы айтылған. Бұл зерттелініп отырған Present және Trivium алгоритмде аппараттық құралдарға негізделген шифрлар болып табылады.

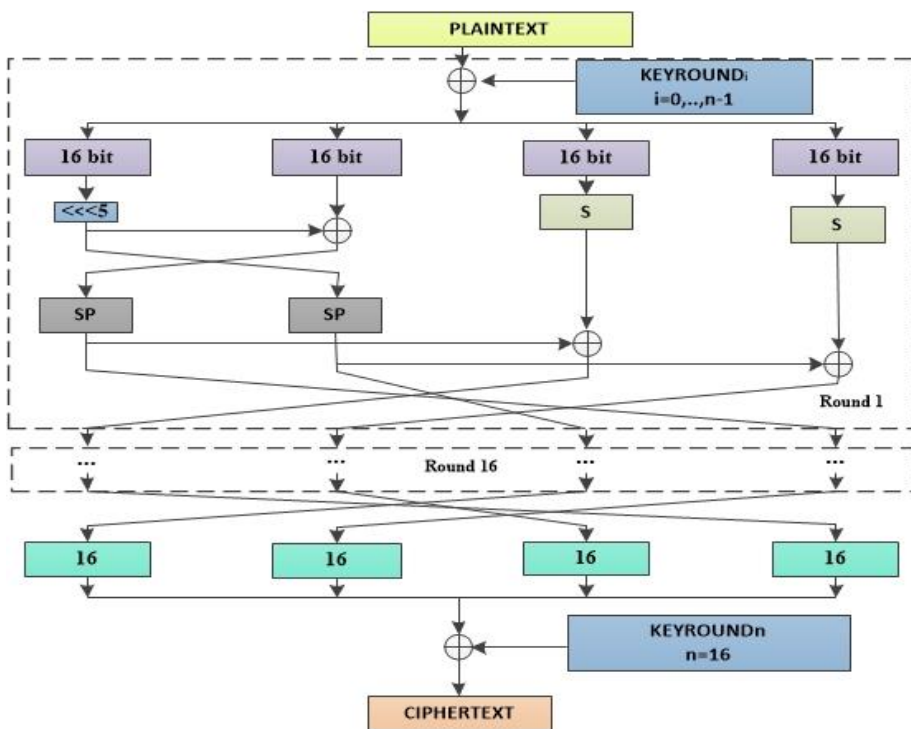
Бұл мақалада сонымен қатар ұсынылып отырған ISL_LWC жеңілсалмақты шифрлау алгоритмінің жылдамдығын тексеру барысында Arduino Uno R3 тақтасы таңдалды.

Материалдар және зерттеу әдістері. ISL_LWC шифрлау алгоритмінің құрылымы.

Криптографиялық жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдеріне талдау жүргізіле отырып, ол алгоритмдердің құрылымдағы әрбір түрлендіру әдістерінің ерекшеліктерін зерттей келе ISL_LWC шифрлау алгоритмі ұсынылды. Бұл алгоритм шекті ресурстарға негізделген құрылғыларға арналған алгоритм болып табылады. ISL_LWC алгоритмі жеңілсалмақты симметриялық блокты алгоритмның құрамына жатады және ISL_LWC алгоритм келесі негізгі параметрлерден тұрады:

- Мастер кілттің ұзындығы – 80 бит.
- Блоктың ұзындығы – 64 бит.
- Раундтық кілттің ұзындығы – 64 бит.
- Раундтардың саны – 16.

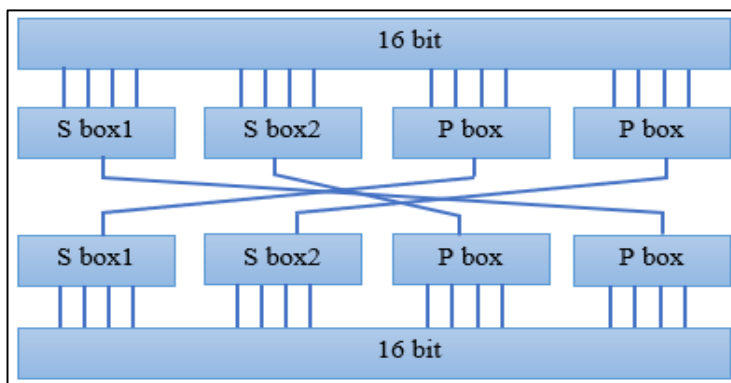
ISL_LWC алгоритмінің шифрлау жылдамдығын және криптоберіктілігін қамтамасыз ету мақсатында модуль екі бойынша қосу операциясы (XOR), SP түрлендіруі, биттік солға жылжыту операциясы, P биттік алмасатыру және S блок орын ауыстыру операциялары қолданылды. Ұсынылып отырған ISL_LWC жеңілсалмақты шифрлау алгоритмінің шифрлау схемасы 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. ISL_LWC алгоритмінің шифрлау схемасы

SP түрлендіру әдісі. SP түрлендіру әдісінің құрылымы 2-суретте көрсетілген. Мұнда төрт биттік сызықты емес S box1 (1-кесте) және S box2 (2-кесте) орын ауыстыру және P

боx (3-кесте) биттік алмастыру әдісі қолданылады. Жоғарыда көрсетілген түрлендіруден өткеннен кейін 2-суретке сәйкес жарты байттық орын ауыстырулар орындалады.



2-сурет. SP түрлендіру әдісі

1-кесте. S box 1 орын ауыстыру кестесі

Input	F	C	A	9	1	E	4	D	5	7	8	6	0	2	B	3
Output	C	0	4	3	E	7	8	F	A	1	5	B	2	D	9	6

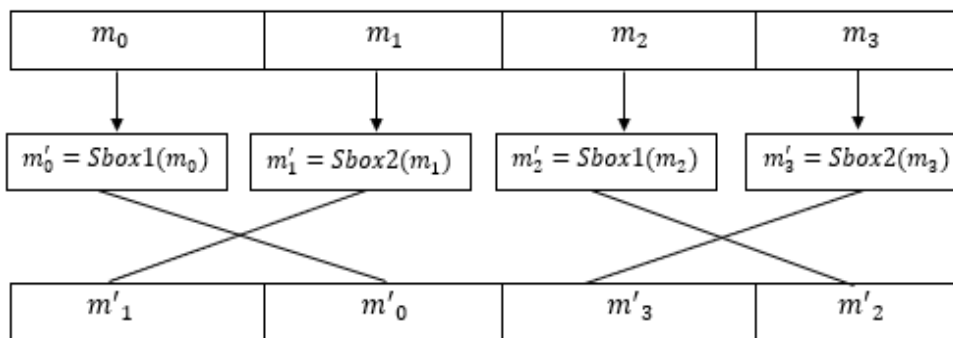
2-кесте. S box 2 орын ауыстыру кестесі

Input	E	C	F	9	3	B	4	8	6	A	2	7	5	1	D	0
Output	1	7	B	9	8	A	C	0	4	6	D	E	2	5	3	F

3-кесте. P box биттік алмастыру

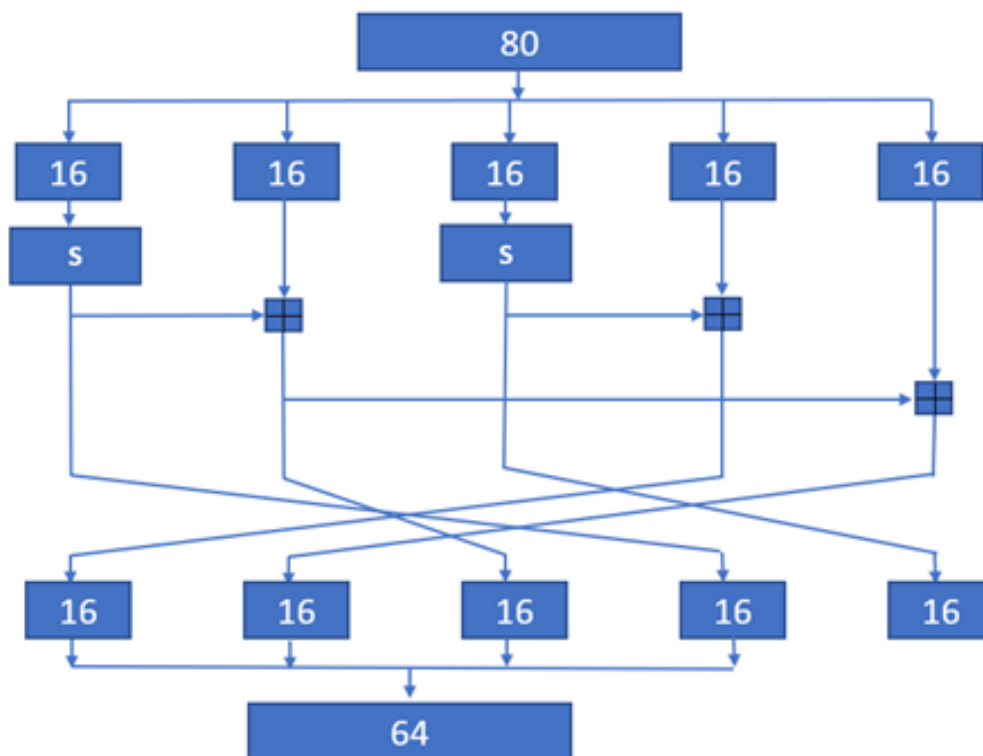
j	1	0	3	2
P(j)	2	3	1	0

S түрлендіру әдісі. Ашық мәтіннің кіріс 16 биті келесідей өрнектеліп алынады: $a_0a_1a_2a_3a_4a_5a_6a_7a_8a_9a_{10}a_{11}a_{12}a_{13}a_{14}a_{15}$. Мұндағы әрбір 4 битті жеке жарты байт ретінде аламыз, яғни: $m_0 = a_0a_1a_2a_3$, $m_1 = a_4a_5a_6a_7$, $m_2 = a_8a_9a_{10}a_{11}$, $m_3 = a_{12}a_{13}a_{14}a_{15}$, мұндағы m_i , $i = 0, 3$. Ары қарай 3-суретке сәйкес m_0, m_2 және m_1, m_3 4-биттік S box1 және S box2 ауыстыру кестесінен өтеді және орын алмастырылады.



3-сурет. S түрлендіру әдісі

Раундтық кілттерді генерациялау алгоритмі. Блокты алгоритмдерінің маңызды элементтерінің бірі раундтық кілт екендігін ескере отырып, раундтық кілттер жасау алгоритмі ұсынылды. Онда алгоритмнің негізгі кілт ұзындығы 80 битке тең және ұзындығы 16 бит болатындай бес ішкі блоктарға бөліну арқылы 4-суретке сәйкес орындалды. Алгоритмнің құрамында S-блок және модуль бойынша қосу операциялары орындалады. Әрбір операциялар өз кезегінде сапалы кілттерді жасауға мүмкіндік береді.



4-сурет. Раундтық кілт генерациялау алгоритмі

Бұл мақаладағы жұмыстың басты мақсаты ұсынылып отырған ISL_LWC жеңілсалмақты шифрлау алгоритмінің жылдамдығын Arduino Uno board платформасында және бағдарламалық тексеру болып табылады. Себебі блокты шифрлау алгоритмдеріне қойылатын талаптардың біріне сәйкес алгоритм жылдамдығы жоғары болу керек.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Деректерді криптографиялық қорғау алгоритмдері бағдарламалық және аппараттық құралда да жүзеге асырылады. Алгоритмді аппараттық құралдарда жүзеге асыру айтарлықтай қымбат, бірақ оның тиімділігі артықшылықтары өте көп. Ал криптографиялық алгоритмдерді бағдарламалық жүзеге асыру айтарлықтай жаңалық емес, бірақ аппараттық жүзеге асырудан қарағанда аз шығынды талап етеді және алгоритм құрамына қандайда өзгертулер енгізу жағынан тиімді қызметтер атқарады. Бұл мақалада қазіргі уақыттағы қол жетімді Arduino UNO платформасын пайдалана ISL_LWC жеңілсалмақты шифрлау алгоритмінің жылдамдығы анықталады. Бірақ зерттеу жұмысының негізгі объектісі шекті құрылғыларға арналған платформа үшін әзірленген алгоритмнің өзі болып саналады [16].

Ұсынылып отырған ISL_LWC жеңілсалмақты шифрлау алгоритмінің жылдамдығын аппаратты түрде бағалау Arduino UNO тақтасында жүргізілді (5-сурет).

Arduino UNO тақтасының негізгі сипаттамалары төменде көрсетілген:

1. Микроконтроллер – ATmega 328.
2. Жиілігі – 16 MHz.
3. Кернеуі – 5 V.
4. Флэш жады – 32 МВ.



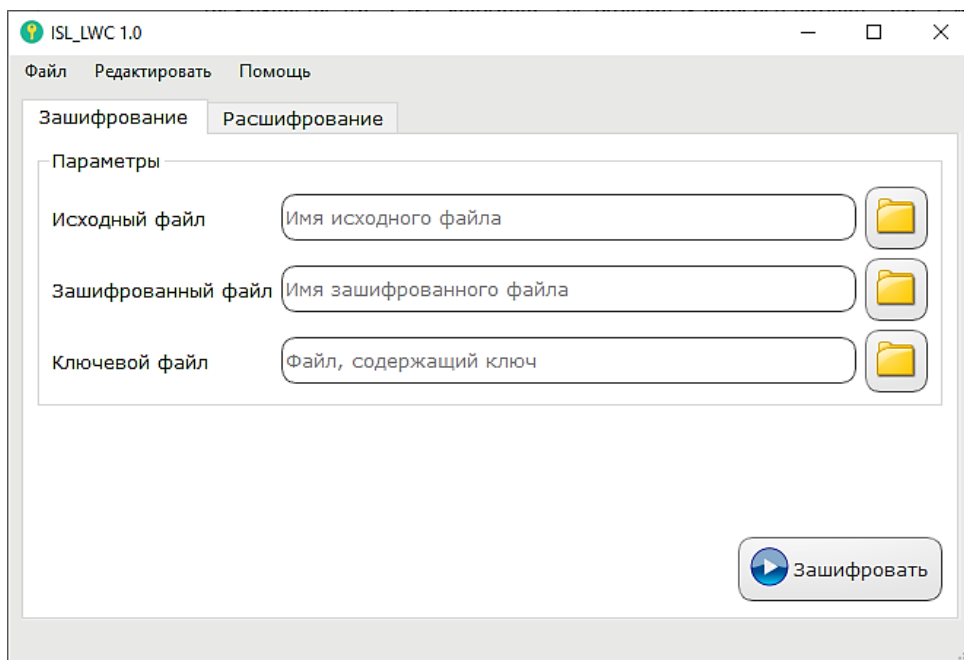
5-сурет. Arduino Uno R3 тақтасы

ISL_LWC шифрлау алгоритмі Visual Studio 2013 C++ бағдарламалау тілінде және арнайы Arduino IDE кітапханасына негізделе отырып жазылды. Сонымен қатар алгоритмнің жылдамдықтарын салыстыру үшін белгілі Present, Speck алгоритмдерінде бағдарламалық және Arduino IDE платформасында арнайы жазылып салыстырулар жүргізілді. ISL_LWC алгоритмінің зерттелген салыстырмалы нәтижелері 4-кестеде көрсетілген.

4-кесте. ISL_LWC алгоритмінің салыстармалы нәтижелері

Параметрлері	Жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдері		
	Present	Speck	ISL_LWC
Негізгі кілт ұзындығы (bit)	80	96	80
Ашықмәтін блок ұзындығы (bit)	64	64	64
Шифрлау уақыты (μ s)	2111,56	16,90	108,59
Раундтық кілт жасау уақыты (μ s)	1541,31	1320,69	275,12

ISL_LWC шифрлау алгоритмінің бағдарламалық сипаттамасы. Мақаладағы ISL_LWC шифрлау алгоритмінің Visual Studio 2013 C++ бағдарламалау тілінде жүзеге асырылған бағдарламасы "ISL_LWC 1.0" файлдарды шифрлау атауымен аталынып арнай авторлық құқық куәлігі алынды. Бағдарламаның негізгі беті 6-суретте көрсетілген.



6-сурет. ISL_LWC алгоритмінің шифрлау бағдарламасы

Жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдерінің жылдамдығын салыстыру мақсатында 25,5 МБ өлшемді .pdf файлы таңдалып алынды. Таңдалған файлды Present, Speck, ISL_LWC алгоритмі арқылы шифрлап және шифрланған файлдың уақыттары салыстырылды (5-кесте).

5-кесте. Алгоритмдердің шифрлау жылдамдығының салыстырмалы нәтижесі

Жеңілсалмақты шифрлау алгоритмдері	Файл өлшемі	Шифрлау жылдамдығы	Жүзеге асырылған компьютердің сипаттамасы
Present	25,5 Mb	5,13 сек	Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU @ 2.90GHz 2.90 GHz RAM 16Gb, Windows 10 64bit
Speck		1,20 сек	
ISL_LWC		1,33 сек	

S блоктың қасиеттерін зерттеу нәтижесі. ISL_LWC алгоритмінің құрамындағы маңызды түрлендіру әдістерінің бірі 1-кесте және 2-кестеде көрсетілген S блоктар екендігі белгілі. Себебі бұл алгоритмнің криптоберіктілігіне жауап беретін негізгі түрлендіру әдісі болып табылады. Ал S блокты зерттеудің әртүрлі әдістері бар солардың бірі оның қасиеттерін зерттеу болып табылады. S блоктың қасиеттеріне хэмминг салмағын, хэмминг қашықтығы, сызықсыздық минималды және максималды мәні, корреляциялық минималды және максималды мәні, автокорреляциялық минималды және максималды мәні, теңестірілген немесе теңестірілмеген, SSI (sum-of-squares indicator) мәні [17, 18].

Енді жоғарыда ұсынылып сипаттамалардың негізгі ұғымдары мен анықтамаларына тоқталсақ. Теңестірілген деп Бульдік функцияның ақиқаттар кестесіндегі мәндер жиынындағы «0» мен «1»-дің тең болуы: $hw(f) = 2^{n-1}$.

Аффиндық функция деп $f = a_1x_1 \oplus a_2x_2 \oplus a_3x_3 \oplus \dots \oplus a_nx_n$, $a_i \in GF(2)$, $i = \overline{1, n}$ түрде берілген бірінші дәрежелі алгебралық қалыпты форманы айтамыз, егер $a_1 = 0$ болса, онда f функциясы сызықты деп аталады.

α векторының Хэмминг салмағы деп тізбектегі бірліктер саны және ол $hw(\alpha)$ түрінде белгіленеді: $hw(\alpha) = \sum_{x=1}^{2^n} f(\alpha)$.

Хэмминг қашықтығы $hd(f, g)$ деп екі тізбектің сәйкес келетін позициядағы тең болмайтын мәндерінің саны (яғни нөлдік емес вертикалды биграммалар саны), мұндағы $hd(f, g) - f$ және g функцияларының сәйкес позициядағы тең емес мәндерінің саны: $hd(f, g) = \sum_{x=1}^{2^n} f(x) \oplus g(x)$.

N_s түрлендіруінің сызықсыздығы деп S түрлендіруінің шығыс тізбегі мен өрістегі барлық аффиндық функциялардың шығыс тізбектерінің арасындағы ең кіші мәнді айтамыз Хэмминг (минималды) қашықтығы келесі формула бойынша есептеледі:

$N_s = \min\{d(S, l)\}$, мұндағы l – аффиндық функциялар жиыны.

N_f функцияның сызықсыздығы деп f функциясы мен $GF(2^n)$ өрісіндегі барлық аффиндық функциялардың арасындағы ең кіші Хэмминг қашықтығы:

$N_f = \min\{hd(f, \varphi)\}$, мұндағы φ – аффиндық функциялар жиыны.

Бульдік функциясының алгебралық қалыпты формасы деп (Жегалкин көпмүшелігі) келесі өрнекті айтамыз: $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_0 \oplus a_1x_1 \oplus a_2x_2 \oplus a_3x_3 \oplus \dots \oplus a_nx_n \oplus a_{12}x_1x_2 \oplus a_{i,i+j}x_i \dots x_{i+j} \oplus \dots \oplus a_{12\dots n}x_1x_2 \dots x_n$, $a_i \in GF(2)$, $i = \overline{0, n}$. Бульдік функцияның дәрежесі деп алгебралық қалыпты форманың (АҚФ) коэффициенті нөлден өзгеше мономдардың ең жоғары дәрежесі айтылады.

$GF(2^n)$ өрісіндегі f функциясының $F(w)$ Уолш түрлендіруі $F(W) = 2^{-n} \sum_x (-1)^{f(x) \oplus (\varphi, x)}$ функциясының нақты мәндерді қабылдауымен анықталады, мұндағы $\langle \varphi, x \rangle$ – скаляр көбейтінді.

$f(x)$ бульдік функциясы мен барлық сызықты функциялар жиыны арасындағы корреляциялық мән Уолш түрлендіруі ретінде анықталады: $W(\varphi) = \sum_{x=1}^{2^n} (-1)^{f(x) \oplus (\varphi, x)}$.

$r_f(\alpha)$ автокорреляциялық функциясы $f(x)$ бульдік функциясының ақиқаттар кестесіндегі $\alpha \in GF(2^n)$ бағытындағы барлық айнымалылар үшін функцияның туындысы болып табылады және келесідей түрде беріледі: $r_f(\alpha) = \sum_{x=1}^{2^n} (-1)^{f(x) \oplus f(x \oplus \alpha)}$. $r_f(\alpha)$ автокорреляциялық функция – $f(x)$ функциясы α орынға жылжитқанда өзінен қаншалықты өзгередінін білдіреді, басқаша оны индикатор деп атаймыз [19].

Автокорреляциялық функцияның максималды абсолютті мәні келесідей анықталады: $|AC|_{max} = \max_{\alpha} |r_f(\alpha)|$.

Ал SSI «квадраттар қосындылары» келесі формуламен анықталынады (sum-of-square indicators): $\sigma = \sum_{x=1}^{2^n} r_f^2(\alpha)$.

Ұсынылып отырған алгоритмнің құрамындағы S блокты Бульдік функциялардың қасиеттері негізінде зерттелген және Present алгоритмінің S блогының салыстырмалы нәтижелері 6-кестеде көрсетілген. Жоғарыда көрсетілген S блоктың қасиеттерінің жақсы нәтиже көрсетуі шифрлау алгоритмдерінің криптоберіктілігіне әсер ететін критерийлердің бірі болып табылады.

Егерде S блоктың сызықсыздық анықталаса онда алгоритмге шабул жасаушы тарапынан қандайда бір осальдылықты табу қиынға түсетіні белгілі. Себебі алгоритмге жүргізілетін сызықты криптоталдау нәтижесіндегі алынған мәндер, S блоктың

сызықсыздығына тікелей байланысты алынады. Сызықсыздық минималды/максималды мәні төрт биттік S блок үшін 8-ге жақын болған сайын жоғары нәтиже көрсетеді. Бірақ зерттеу нәтижесіндегі мәндерді нашар деп айтуға негізсіз. Олардан алынған мәндерден басқа алгоритмнің криптоберіктілігіне жауап беретін криптографиялық түрлендірулердің нәтижелер әсер етеді. Ал теңестірілген нәтижесінде «0» мен «1»-дің тең болуы алгоритмнің лавиндік әсерінің жоғары болғандығын көрсетеді. Алгоритмде лавиндік әсерінің жоғары болу нәтижесі статистикалық бағалуда және дифференциальды криптоталдаудың жақсы нәтиже көрсетуінің критерийлерінің бірі болып табылады.

6-кесте. S блоктың қасиеттерінің салыстырмалы нәтижесі

№	S блоктың қасиеттері	Алгоритмдер		
		ISL_LWC		Present
		S box 1	S box 2	
1	Хэмминг салмағын	8	8	8
2	Хэмминг қашықтығы	8	8	8
3	Сызықсыздық минималды / максималды мәні	4/14	4/14	4/12
4	Корреляциялық минималды / максималды мәні	-12/8	-12/8	-8/8
5	Автокорреляциялық минималды / максималды мәні	-16/8	-16/8	-16/16
6	Теңестірілген	иә	иә	иә
7	SSI минималды / максималды мәні	640/1408	640/1408	640/1024

Қорытынды. Қорытындылай келе, қазір уақыттағы жаңарған технологиялардың талаптарына сай келетін ақпаратты қорғау алгоритмдерін жасау өзекті болып табылады. Бұл мақалада шекті құрылғылардағы ақпараттарды қорғауға арналған жаңа ISL_LWC шифрлау алгоритмі жүзеге асырылды. Алгоритмнің құрамындағы әрбір түрлендірулерге сипаттама беріліп атқаратын негізгі мақсаты сипатталған. Сонымен қатар ISL_LWC шифрлау алгоритмінің файлдарды шифрлау жылдамдығын тексеру аппаратты түрде жүзеге асыру үшін Arduino Uno R3 тақтасы және Visual Studio 2013 C++ бағдарламалау тілінде жүзеге асырылды. Салыстыру қазіргі уақыттағы NIST стандарттарын кіретін Present, Speck алгоритмдері арқылы жүргізілді. Зерттеу нәтижелеріне сай ұсынылып отырған ISL_LWC шифрлау алгоритмінің құрамындағы қолданылған түрлендірулер жылдам жұмыс жасайтындығы NIST талаптарына сай келетіндігі анықталды. Сонымен қатар сызықты емес түрлендіру S блоктың қасиеттері зерттелініп салыстырма талдау жүргізілді. Хэмминг салмағы теңестірілгендігі және хэмминг қашықтығының 8-ге тең болуы S блоктың шығыс мәніндегі тізбектің жақсы шашыратылғанын көрсетеді, яғни «0» мен «1»-дің саны тең. Ал сызықсыздық минималды/максималды мәні, корреляциялық минималды / максималды, SSI минималды / максималды мән нәтижелерінде ауытқулар анықталған бірақ ауытқулар нашар S блок дегенді білдірмейді. Жалпы алынған нәтижелер S блокқа қойылатын талаптарды қанағаттандырады. Алгоритмнің криптоберіктілігі келесі зерттеу жұмыстарында зерттелініп нәтижелері ұсынылатын болады.

Алғыс. Бұл мақаладағы зерттеу жұмыстар ҚР ҒжЖБМ AP09259570 «Шектелген ресурстар үшін отандық жеңілсалмақты шифрлау алгоритмін құру және зерттеу» гранттық жоба негізінде жүзеге асырылды.

Әдебиеттер тізімі

1. El-hajj M, Mousawi H, Fadlallah A. Analysis of Lightweight Cryptographic Algorithms on IoT Hardware Platform. *Future Internet*. 2023; 15(2):54. <https://doi.org/10.3390/fi15020054>
2. Podimatas P, Limniotis K. Evaluating the Performance of Lightweight Ciphers in Constrained Environments – The Case of Saturnin. *Signals*. 2022; 3(1):86-94. <https://doi.org/10.3390/signals3010007>
3. Hanacek, N. (2023). NIST Selects 'Lightweight Cryptography' Algorithms to Protect Small Devices. <https://www.nist.gov/news-events/news/2023/02/nist-selects-lightweight-cryptography-algorithms-protect-small-devices>
4. Hasan, H., Ali, G., Elmedany, W., Balakrishna C. (2022) Lightweight Encryption Algorithms for Internet of Things: A Review on Security and Performance Aspects [International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics]. *Computing and Technologies (3ICT)*, pp. 239-244, doi: 10.1109/3ICT56508.2022.9990859.
5. Tang, Zh., Cui, J., Zhong, H., Yu, M., (2016). A Random PRESENT Encryption Algorithm Based on Dynamic S-box International. *Journal of Security and Its Applications*, 10(3), 383-392 <http://dx.doi.org/10.14257/ijisia.2016.10.3.33>
6. Shirai, T., Shibutani, T., Akishita, K., et al.(2007). The 128-bit blockcipher CLEFIA. *FSE 2007. LNCS.* – Vol. 4593, 181-195.
7. Kerry, A.M., Larry, B., Meltem, S.T., Nicky, M.(2017). Report on Lightweight Cryptography. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8114>
8. NIST, (2018). Submission Requirements and Evaluation Criteria for the Lightweight Cryptography Standardization Process. <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Projects/Lightweight-Cryptography/documents/final-lwc-submission-requirements-august2018.pdf>
9. Ishhukova, E.A., Tolomanenko, E.A. (2019) Analiz algoritmov shifrovaniya maloresursnoj kriptografii v kontekste interneta veshhej. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 3(2), 182-186. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37462>
10. Ischukova, E.A., Tolomanenko, E.A. (2019). Analysis of the algorithms for encryption of lightweight cryptography in the context of the Internet of Things [Modern High Technologies], No. 3-2. – Pp. 182-186, URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37462>
11. Babenko, L.K., Golotin, D.V., Makarevich, O.B. (2016). Sozdanie i issledovanie maloresursnoj realizacii potochno go shifra Trivium. *Izvestija JuFU*, № 12, 42-54.
12. Alghamdi, Y., Munir, A. An Image Encryption Algorithm Based on Trivium Cipher and Random Substitution. *SN COMPUT. SCI.* 4, 713 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02172-7>
13. Suhail, A., Mir, N., Mehvish, A., Ishfaq, S., Tariq, B. M. (2022). FPGA Implementation of PRESENT Block Cypher with Optimised Substitution Box [2022 Smart Technologies], *Communication and Robotics (STCR)*, pp.1-6. doi: 10.1109/STCR55312.2022.10009366.
14. Babenko, L.K., Bepalov, D.A., Makarevich, O.B., Chesnokov, R.D., Trubnikov, Ja.A. (2014). Razrabotka i issledovanie programmno-apparatnogo kompleksa shifrovaniya po algoritmu Present dlja resheniya zadach maloresursnoj kriptografii. *Izvestija JuFU*. – № 2, 174-180.
15. Zhukov, A.E. (2015). Legkovesnaja kriptografija. *Chast' 1. Voprosy kiberbezopasnosti*, № 1, 26-43.
16. Barański, R., Galewski, M., Nitkiewicz, S. (2019). The study of Arduino Uno feasibility for DAQ purposes. *Diagnostyka*, 20(2), 33-48. <https://doi.org/10.29354/diag/109174>
17. Дюсенбаев Д.С., Алғазы К.Т., Сақан Қ.С. Симметриялы шифрларда қолданылатын сызықты емес түйіндерді зерттеу // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы информационной безопасности в Казахстане». – Алматы. 11 июня 2021 г. – С. 34-38.
18. Сейткулов Е., Оспанов Р., Ергалиева Б. О криптографических свойствах S-блоков // *Вестник КазНУ*, 2021, №143(4). – С.96-103 // <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i4.12>.
19. Ibrahim, N. and Agbinya, J. (2022) A Review of Lightweight Cryptographic Schemes and Fundamental Cryptographic Characteristics of Boolean Functions. *Advances in Internet of Things*, 12, 9-17. doi: 10.4236/ait.2022.121002.

References

1. El-hajj M, Mousawi H, Fadlallah A. Analysis of Lightweight Cryptographic Algorithms on IoT Hardware Platform. *Future Internet*. 2023; 15(2):54. <https://doi.org/10.3390/fi15020054>
 2. Podimatas P, Limniotis K. Evaluating the Performance of Lightweight Ciphers in Constrained Environments – The Case of Saturnin. *Signals*. 2022; 3(1):86-94. <https://doi.org/10.3390/signals3010007>
 3. Hanacek, N. (2023). NIST Selects 'Lightweight Cryptography' Algorithms to Protect Small Devices. <https://www.nist.gov/news-events/news/2023/02/nist-selects-lightweight-cryptography-algorithms-protect-small-devices>
 4. Hasan, H., Ali, G., Elmedany, W., Balakrishna C. (2022) Lightweight Encryption Algorithms for Internet of Things: A Review on Security and Performance Aspects [International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics]. *Computing and Technologies (3ICT)*, pp. 239-244, doi: 10.1109/3ICT56508.2022.9990859.
 5. Tang, Zh., Cui, J., Zhong, H., Yu, M., (2016). A Random PRESENT Encryption Algorithm Based on Dynamic S-box International. *Journal of Security and Its Applications*, 10(3), 383-392 <http://dx.doi.org/10.14257/ijisia.2016.10.3.33>
 6. Shirai, T., Shibutani, T., Akishita, K., et al.(2007). The 128-bit blockcipher CLEFIA. *FSE 2007*. LNCS, vol. 4593. – 181-195.
 7. Kerry, A.M., Larry, B., Meltem, S.T., Nicky, M.(2017). Report on Lightweight Cryptography. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8114>
 8. NIST, (2018). Submission Requirements and Evaluation Criteria for the Lightweight Cryptography Standardization Process. <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Projects/Lightweight-Cryptography/documents/final-lwc-submission-requirements-august2018.pdf>
 9. Ishhukova, E.A., Tolomanenko, E.A. (2019) Analiz algoritmov shifrovaniya maloresurnoj kriptografii v kontekste interneta veshhej. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 3(2), 182-186. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37462>
 10. Ischukova, E.A., Tolomanenko, E.A. (2019). Analysis of the algorithms for encryption of lightweight cryptography in the context of the Internet of Things [Modern High Technologies], No. 3-2, pp. 182-186, URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37462>
 11. Babenko, L.K., Golotin, D.V., Makarevich, O.B. (2016). Sozdanie i issledovanie maloresurnoj realizacii potocnogo shifra Trivium. *Izvestija JuFU*, № 12, 42–54.
 12. Alghamdi, Y., Munir, A. An Image Encryption Algorithm Based on Trivium Cipher and Random Substitution. *SN COMPUT. SCI*. 4, 713 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02172-7>
 13. Suhail, A., Mir, N., Mehvish, A., Ishfaq, S., Tariq, B. M. (2022). FPGA Implementation of PRESENT Block Cypher with Optimised Substitution Box [2022 Smart Technologies], *Communication and Robotics (STCR)*, pp.1-6. doi: 10.1109/STCR55312.2022.10009366.
 14. Babenko, L.K., Bepalov, D.A., Makarevich, O.B., Chesnokov, R.D., Trubnikov, Ja.A. (2014). Razrabotka i issledovanie programmno-apparatnogo kompleksa shifrovaniya po algoritmu Present dlja resheniya zadach maloresurnoj kriptografii. *Izvestija JuFU*, № 2, 174–180.
 15. Zhukov, A.E. (2015). Legkovesnaja kriptografija. Chast' 1. *Voprosy kiberbezopasnosti*, № 1, 26–43.
 16. Barański, R., Galewski, M., Nitkiewicz, S. (2019). The study of Arduino Uno feasibility for DAQ purposes. *Diagnostyka*, 20(2), 33-48. <https://doi.org/10.29354/diag/109174>
 17. D.S. Dyusenbaev, K.T. Alghazy, K.S. Sakan. Study of non-linear nodes used in symmetric ciphers // Materials of international scientific-practical conference "Actual problems of information security in Kazakhstan". - Almaty. June 11, 2021. – P. 34-38.
 18. Seitkulov E., Ospanov R., Yergaliev B. On cryptographic properties of S-blocks // *Vestnik KazNITU*, 2021, №143(4), – C.96-103 // <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i4.12>. (in Russian.)
 19. Ibrahim, N. and Agbinya, J. (2022) A Review of Lightweight Cryptographic Schemes and Fundamental Cryptographic Characteristics of Boolean Functions. *Advances in Internet of Things*, 12, 9-17. doi: 10.4236/ait.2022.121002.
-
-

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
INFORMATION SECURITY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_210
МРНТИ 81.93.29

А.Е. Хохлова¹, О.Е. Бакланова², Ш.Т. Тезекпаева³

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

¹E-mail: nsox2021@mail.ru

²E-mail: obaklanova@ektu.kz*

³E-mail: shtezekpaeva@ektu.kz

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИВНОГО БАЙЕСА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ СПАМА

СПАМДЫ СҮЗУ МӘСЕЛЕСІН ШЕШУДЕ АҢҒАЛ БАЙЕС ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

APPLICATION OF THE NAIVE BAYES METHOD IN SOLVING THE SPAM FILTERING PROBLEM

Аннотация. Актуальность исследования темы фильтрации спама заключается в том, что в настоящее время спам остается одной из самых крупных проблем, с которыми сталкивается интернет-сообщество. В настоящий момент эта проблема не решена до конца, так как появляются всё новые способы организации вредоносной или просто неприятной рассылки.

Один из локальных методов фильтрации спама – байесовская фильтрация. Это широкий класс алгоритмов классификации, основанный на принципе максимума апостериорной вероятности. Цель исследования заключается в оценке эффективности применения метода наивного Байеса в качестве метода фильтрации спама и выявить его преимущества и недостатки по сравнению с другими методами. Целесообразность исследования заключается в том, что наивный Байес является одним из самых популярных и доступных методов фильтрации спама. Этот метод основан на простых принципах и позволяет эффективно решать проблему фильтрации спама, используя минимум ресурсов. Практическая значимость исследования данного метода заключается в том, что по сравнению с другими алгоритмами классификации, метод наивного Байеса имеет высокую скорость обучения и может обрабатывать большое количество функций.

Ключевые слова: спам; фильтрация; условная вероятность; конфиденциальность; вредоносные рассылки; электронная почта, байесовская фильтрация

Аңдатпа. Спамды сүзу тақырыбын зерттеудің өзектілігі-қазіргі уақытта спам Интернет-қауымдастықтың алдында тұрған ең үлкен мәселелердің бірі болып қала береді. Қазіргі уақытта бұл мәселе толығымен шешілмеген, өйткені зиянды немесе жай ғана жағымсыз ақпараттық бюллетеньді ұйымдастырудың барлық жаңа тәсілдері пайда болады

Байес фильтрациясы – максималды артқы ықтималдық принципіне негізделген жіктеу алгоритмдерінің кең класы. Зерттеудің мақсаты – аңғал Байесті спамды сүзу әдісі ретінде қолданудың тиімділігін бағалау және оның басқа әдістермен салыстырғанда артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау. Зерттеудің орындылығы-аңғал Байес спамды сүзудің ең танымал және қол жетімді әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс қарапайым принциптерге негізделген және ең аз ресурстарды пайдалана отырып, спамды сүзу мәселесін тиімді шешуге мүмкіндік береді. Бұл әдісті зерттеудің практикалық маңыздылығы басқа жіктеу алгоритмдерімен салыстырғанда, аңғал Байес әдісі жоғары оқу жылдамдығына ие және көптеген функцияларды өңдей алады.

Түйін сөздер: спам; сүзу; шартты ықтималдық; құпиялылық; зиянды хабарлар; электрондық пошта, Байес сүзгісі

Abstract. The relevance of the study on spam filtering lies in the fact that spam remains one of the biggest problems faced by the internet community. Currently, this problem has not been fully solved as new ways of organizing malicious or just unpleasant mailing are appearing.

In this work, one of the local methods of filtering, Bayesian filtering, has been considered. Bayesian filtering is a wide class of classification algorithms based on the principle of maximum a posteriori probability. The goal of the research is to assess the effectiveness of using Naive Bayes as a method of spam filtering. The expediency of the study lies in the fact that Naive Bayes is one of the most popular and affordable methods of spam filtering. This method is based on simple principles and allows you to effectively solve the problem of spam filtering using a minimum of resources. The practical significance of the study of this method lies in the fact that, compared with other classification algorithms, the Naive Bayes method has a high learning rate and can process a large number of functions.

Keywords: spam; filtering; conditional probability; confidentiality; malicious mailings; email, Bayesian filtering.

Введение. Спам – это массово рассылаемые рекламные сообщения конкретных людей или организаций для тех, кто не желает получать таковые сообщения. С появлением в современном мире сети Интернет и связанной с ней электронной почтой резко возникла потребность в фильтрации спама в связи с тем, что распространение спам-сообщений стало очень частым явлением для владельцев виртуальных ящиков. В настоящий момент эта проблема не решена до конца, так как появляются всё новые способы организации вредоносной или просто неприятной рассылки [1,2].

Фильтрация спама является важным аспектом информационной безопасности в электронной почте. Существует множество методов и алгоритмов, которые используются для фильтрации спама, одним из них является метод наивного Байеса [3]. Наивный Байес – это простой и эффективный метод классификации, который основывается на предположении о независимости признаков. Цель данного исследования – эффективность и применимость метода наивного Байеса в процессе фильтрации спама, а также выявить возможные проблемы и пути их решения. Основными задачами исследования являются:

1. Исследовать существующие методы фильтрации спама и оценить их эффективность.
2. Разработать и описать метод наивного Байеса для фильтрации спама.
3. Подтвердить или опровергнуть гипотезу о том, что метод наивного Байеса является эффективным инструментом для фильтрации спама.
4. Рассмотреть перспективы дальнейшего развития и применения метода наивного Байеса для фильтрации спама.

Литературный обзор. Фильтрация спама является одной из самых важных проблем в электронной почте. Она необходима, чтобы отделить ценную информацию от мусора. Решение этой проблемы стало важным направлением в компьютерных науках, и в последние годы метод наивного Байеса стал одним из наиболее изучаемых и используемых методов фильтрации спама. Множество исследований было посвящено эффективности этого метода, а также его сравнению с другими методами фильтрации спама. Например, в статье «An overview of recent trends in email spam filtering techniques» [4] были рассмотрены различные методы фильтрации спама, включая методы машинного обучения, байесовскую фильтрацию и использование базы данных черных списков. Был сделан вывод, что наилучшие результаты показали методы машинного обучения. При рассмотрении различных методов машинного обучения в статье «Spam filtering using machine learning algorithms: a review» [5] был проведен анализ сильных и слабых сторон различных методов и выработаны рекомендации для выбора наилучшего метода в зависимости от конкретных потребностей. По результатам сравнения одним из лучших алгоритмов машинного обучения для фильтрации спама является байесовская фильтрация. Для повышения эффективности фильтрации был предложен метод, который объединяет в себе несколько байесовских классификаторов [6]. Также для улучшения точности фильтрации спама применяется использование метода наивного Байеса в сочетании с другими методами машинного обучения, такими как дерево решений [7].

Материалы и методы исследования. На сегодняшний день для борьбы со спамом существует множество методов по его устранению. Все методы борьбы можно разделить по способу их организации на две категории: распределенные и локальные [8] (рис. 1).



Рисунок 1. Алгоритмы фильтрации спама

Распределенные методы предполагают участие в сборе информации о спаме от большого числа независимых почтовых систем, которые обмениваются данными между собой. Каждая из систем-участниц предоставляет необходимую (специфичную для каждого метода) информацию о проходящем через нее почтовом трафике, тем самым пополняя базу данных информации о спаме. Качество фильтрации достигается привлечением как можно большего числа участников и совершенствованием механизмов сбора и анализа информации о спаме. Чем больше точек сети предоставляют информацию о спаме и чем качественнее эта информация, тем полнее становится картина действий спамеров и тем эффективнее можно с ними бороться. Однако в рамках распределенных методов фильтрации спама отсутствует возможность тонкой настройки фильтра в отдельно взятой почтовой системе.

Локальные методы работают в рамках одной почтовой системы и не используют для работы внешних ресурсов. Так как эти методы не предполагают получения информации о спаме из внешних источников, то каждый раз при изменении вида входящих писем или тактики спамеров, приводящих к большому числу ошибок фильтра, настройка фильтра под характер почтового трафика и работа по повышению качества фильтрации полностью ложится на администратора. Но, в отличие от распределенных методов фильтрации, локальные методы изначально имеют возможность тонкой адаптации под конкретную почтовую систему.

Наивные байесовские классификаторы [9, 10] – популярный локальный метод фильтрации электронной почты. Обычно они используют функции набора слов для идентификации спама по электронной почте – подход, используемый при классификации

текстов. Для классифицируемого объекта вычисляются функции правдоподобия каждого из классов, по ним вычисляются апостериорные вероятности классов. Объект относится к тому классу, для которого апостериорная вероятность максимальна.

Формула Байеса позволяет «переставить причину и следствие» [11]: по известному факту события вычислить вероятность того, что оно было вызвано данной причиной. События, отражающие действие «причин», в данном случае называют гипотезами, так как они – предполагаемые события, повлекшие данное. Безусловную вероятность справедливости гипотезы называют априорной (насколько вероятна причина вообще), а условную вероятность с учётом факта произошедшего события – апостериорной (насколько вероятна причина оказалась с учётом данных о событии). Основная формула:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}, \quad (1)$$

где: $P(A/B)$ – вероятность гипотезы A при наступлении события, условная (апостериорная) вероятность; $P(B/A)$ – вероятность наступления события B при истинности гипотезы A ; $P(A)$ – априорная вероятность гипотезы A ; $P(B)$ – полная вероятность наступления события B .

Применим теорему Байеса для описания вероятности того, что электронное письмо является спам-сообщением [12].

Электронное письмо является спам-сообщением, если встречается слово w , и определяется вероятностью того, что это слово w находится в спам-сообщении s , умноженной на общую вероятность того, что электронное письмо является спам-сообщением s . Это делится на вероятность появления этого слова в электронном письме (спам и не спам вместе взятые):

$$P(s|w) = \frac{P(W|S)P(s)}{P(w|s \cup h)}. \quad (2)$$

Чтобы решить, является ли электронное письмо спамом, нужно получить единую вероятность P для всего электронного письма, а не только для отдельных слов ($p_1 \dots p_n$). Поскольку спам-фильтр использует байесовский подход, достичь этого можно, перемножив вероятности для каждого слова и разделив их произведение на сумму совокупной вероятности того, что каждое слово окажется в спам-сообщении, и совокупной вероятности того, что каждое слово не окажется в спам-сообщении. Формула для достижения этой цели выглядит следующим образом:

$$P = \frac{p_1 p_2 \dots p_n}{p_1 p_2 \dots p_n + (1-p_1)(1-p_2) \dots (1-p_n)}. \quad (3)$$

Теперь, когда у нас есть вероятность того, что электронное письмо является спамом, нужно решить, является ли это электронное письмо спамом или нет. Отнесение письма к «спаму» производится при превышении его «веса» некой планки, заданной пользователем (обычно берут 60-80 % [13]). Если количество спама в электронном письме выше порогового значения, оно классифицируется как спам и получает индекс 1 (спам), если ниже – это безвредное электронное письмо и оно получает индекс 0 (не спам).

Для начала работы потребуется набор данных с помеченными спам-письмами и безвредными электронными письмами. Используемый набор данных содержит 5728 электронных писем и два столбца:

- Столбец «text», строка, содержащая сообщение, полученное из электронной почты;
- Столбец «спам», в двоичном формате), который классифицирует электронное письмо как спам (1) или не спам (0). Пример спам-сообщения приведен на рис. 2.

'Subject: unbelievable new homes made easy im wanting to show you this h
omeowner you have been pre - approved for a \$ 454 , 169 home loan at a 3
. 72 fixed rate . this offer is being extended to you unconditionally and
your credit is in no way a factor . to take advantage of this limited tim
e opportunity all we ask is that you visit our website and complete the
1 minute post approval form look foward to hearing from you , dorcas pit
tman'

Рисунок 2. Пример сообщения, содержащего спам

Чтобы создать функционирующий спам-фильтр, необходимо выполнить следующие шаги:

1. Удаление стоп-слов и специальных символов [14]. Многие слова не несут никакого значения для спам-фильтра. Эти слова рассматриваются как стоп-слова и могут быть полезны, только если мы хотим рассмотреть контекст электронного письма. Но поскольку теорема Байеса рассматривает каждое слово независимо (наивно), мы не будем использовать контекст. После очищения текста в нашем наборе мы понижаем регистр всех слов и избавляемся от заголовка «Subject: (Тема)» в каждом электронном письме.

2. Разделение набора данных на тренировочный/тестовый набор [15]. Набор данных содержит в общей сложности 5728 электронных писем с индексом 0 для не спама и 1 для спама. Более четверти электронных писем являются спамом (1368 из 5728). Следующий шаг – разделить набор данных на тестовый и обучающий наборы. Установим размер тестового набора на 0,3 или 30 %, чтобы обеспечить последовательность устанавливаем random_state функции train_test_split равным 42. Итог: набор данных теперь разделен на тренировочный (4009 электронных писем) и тестовый (1719 электронных писем) наборы.

3. Вычисление общей вероятности того, что электронное письмо является спамом или не спамом. После разделения на обучающий и тестовый наборы, мы можем рассчитать вероятность того, является электронное письмо спамом или нет. Для этого количество писем со спамом (n_{spam}) и не спамом (n_{ham}) делим на общее количество писем (n_{emails}):

$$P(s) = \frac{n_{spam}}{n_{emails}} = \frac{1368}{5728} = 0,23, \quad (4)$$

$$P(\neg s) = \frac{n_{ham}}{n_{emails}} = \frac{4360}{5728} = 0,77. \quad (5)$$

4. Вычисление условной вероятности появления слова в спаме ($P(w/s)$). Вероятность того, что слово будет найдено в спам-письме ($P(w/s)$), определяется количеством повторений этого слова в спам-письмах деленным на общее количество спам-писем. То же самое касается вероятности того, что слово находится в электронном письме, которое не является спамом. Этот подход не учитывает, встречается или нет одно и то же слово в электронном письме несколько раз и в каком отношении эти слова относятся друг к другу. Это означает, что контекст ни на что не влияет. Предложения вроде «БЕСПЛАТНАЯ! БЕСПЛАТНАЯ! Вещь», которые указывают на спам, не интерпретируются как таковые, а вместо этого рассматриваются как уникальное количество слов со словами «бесплатно» и «вещь». В нашем случае ($P(w/s)$) – это вероятность того, что эти слова появятся в спам-сообщении.

$$P(w|s) = \frac{\text{number of spam email constaining } w}{\text{total number of spam emails}} \quad (6)$$

$$P(w|\neg s) = \frac{\text{number of ham email constaining } w}{\text{total number of spam emails}} \quad (7)$$

Для большей эффективности мы создаем словарь, содержащий все слова (кроме стоп-слов) электронного письма в обучающем наборе, и предварительно рассчитываем вероятность того, что слово окажется в спаме или не спаме.

5. Расчет коэффициента правдоподобия (LR). После вычисления вероятности для каждого слова можно рассчитать коэффициент правдоподобия. Это соотношение дает информацию о том, насколько полезно слово в качестве индикатора спама. Коэффициент правдоподобия показывает, во сколько раз больше шансов получить определенное слово в категории не спам вместо спама. Таким образом, чем меньше число, тем больше вероятность того, что это слово появляется только в спам-письмах. Коэффициент правдоподобия для слова рассчитывается по следующей формуле:

$$L = \frac{P(w|s)}{P(w|h)}, \quad (8)$$

где $P(w|s)$ – вероятность попадания слова в спам; $P(w|h)$ – общая вероятность попадания слова в не спам.

6. Расчет общей вероятности P (спама) для каждого электронного письма. Для эффективного расчета необходимо объединить формулы (2) и (3) в одну:

$$P = \frac{P(s) \prod_{i=1}^n P(w_i|s)}{\prod_{i=1}^n P(w_i|s \cup h)}. \quad (9)$$

Вероятность того, что слово будет найдено в спам-письме ($P(w|s)$), определяется количеством появлений этого слова в спам-письмах, деленным на общее количество спам-писем. То же самое касается вероятности того, что слово находится в электронном письме, не содержащем спам ($P(w|\neg s)$). Визуализируем наш результат, построив гистограмму (рис. 3). Как видим, байесовский подход имеет тенденцию доводить значения до крайних точек (0 и 1).

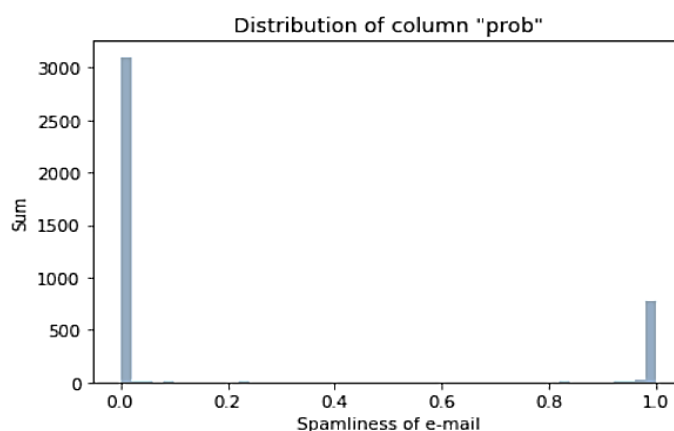


Рисунок 3. Результат расчета спама с помощью байесовского подхода для каждого письма

7. Выбор порогового значения для определения спама. Теперь, когда есть функция, которая вычисляет вероятности для наших электронных писем, можно запустить ее в нашем тестовом наборе, предварительно протестировав несколько различных пороговых значений в нашей функции классификации. Необходимо свести к минимуму количество ложноположительных результатов, т.к. мы не хотим, чтобы электронные письма, не являющиеся спамом, попадали в ящик спама. Для начала необходимо рассчитать показатели качества классификации [16]. Введем следующие переменные:

1. TR (true positive) – верно классифицированные не спам письма;
2. TN (true negative) – верно классифицированные спам-письма;
3. FR (false positive) – не верно классифицированные не спам-письма;
4. FN (false positive) – не верно классифицированные спам-письма;
5. P (actual positive) – фактическое количество не спам-писем;
6. N (actual negative) – фактическое количество спам-писем.

Рассчитаем TPR – долю верно классифицированных положительных не спам-писем по отношению к общему количеству не спам-писем в тренировочном наборе. TPR называется чувствительностью классификации и рассчитывается по следующей формуле:

$$TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP+FN}. \quad (10)$$

Рассчитаем TNR – долю верно классифицированных спам-писем по отношению к общему количеству спам-писем в тренировочном наборе. TNR называется специфичностью классификации и рассчитывается по следующей формуле:

$$TNR = \frac{TN}{N} = \frac{TN}{TN+FP}. \quad (11)$$

Рассчитаем OCR – долю верно классифицированных спам-писем от общего количества всех писем электронной почте. OCR – называется общей точностью классификации и рассчитывается по следующей формуле:

$$OCR = \frac{TP+TN}{P+N} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}. \quad (12)$$

Нам необходимо свести к минимуму количество ложных срабатываний. Для этого тестируем несколько различных пороговых значений в нашей функции классификации и выбираем пороговое значение, при котором минимальное значение у параметра FN и максимальная точность OCR . Построим график зависимости порогового значения и показателей качества классификации (рис. 4).

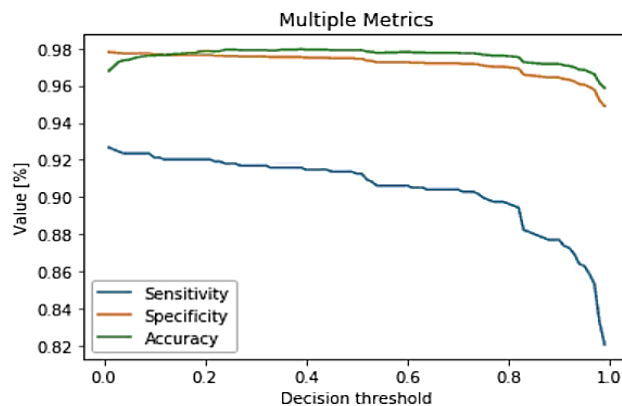


Рисунок 4. Зависимость показателей качества классификации от порогового значения

Результаты и их обсуждение. Используя пороговое значение, полученное на предыдущем этапе, мы можем протестировать наш классификатор на тестовом наборе. Для оценки качества результатов обучения построим матрицу ошибок (confusion matrix). Confusion matrix – это матрица, используемая в машинном обучении для оценки качества классификации [17]. Она показывает количество правильных и неправильных классификаций модели, распределенных по каждой категории. Это помогает выявить слабые и сильные стороны модели и принять решение о ее дальнейшей оптимизации.

Как видно в приведенной матрице ошибок (рис. 5), в результате обучения с помощью байесовского подхода мы получаем хороший результат: только два электронных письма в нашем тестовом наборе ошибочно помечены как спам (ложноположительный результат), при этом 90 спам-писем классифицированы как безвредные электронные письма (ложноотрицательный результат). Это следствие того, что в обучающей выборке было недостаточное количество спам-писем и спам-слов, чтобы классифицировать данные верно. Точность этого классификатора составляет более 94 % на тестовом наборе.

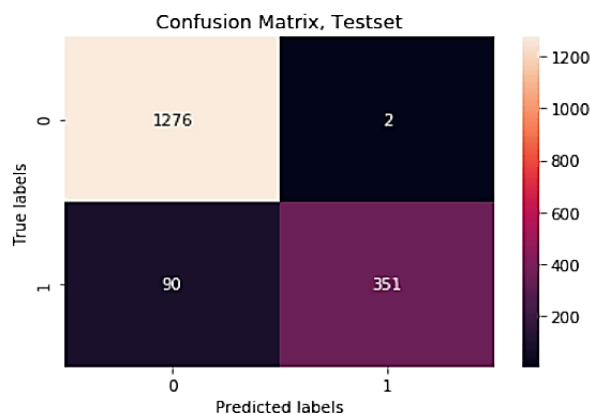


Рисунок 5. Матрица ошибок для тестового набора данных

Заключение. Метод наивного Байеса все еще остается одним из наиболее популярных и надежных методов для фильтрации спама. Дальнейшее развитие этого метода зависит от постоянно растущего объема информации и новых технологий, таких как искусственный интеллект и глубокое обучение. Одной из перспектив развития является совершенствование алгоритмов обучения, что позволит улучшить точность фильтрации спама. Уже разрабатываются сложные модели машинного обучения, которые способны выявлять спам на основе множества различных факторов, включая текстовые, графические и структурные элементы.

По сравнению с другими алгоритмами классификации, главное преимущество метода наивного Байеса состоит в том, что он может обрабатывать большое количество функций. В нашем примере тысячи разных слов и каждое слово рассматривается как функция. Кроме того, даже если есть нерелевантные функции, это дает хороший эффект. Следующее важное преимущество – относительная простота: метод можно использовать напрямую, и параметры редко нужно корректировать, если только данные распределения не известны и не нуждаются в корректировке. И последним преимуществом метода является быстрое обучение и скорость прогнозирования относительно объема данных, которые он может обработать.

Однако метод наивного Байеса имеет и ряд недостатков: во-первых, он не может обрабатывать взаимодействия между функциями, что может привести к низкой точности предсказания в некоторых случаях; во-вторых, может быть неустойчив к выбросам или выбросам данных, так как метод основывается на доверительных предположениях о распределениях.

Список литературы

1. Мурашов А. В., Сафонов В. В. ПРОБЛЕМА СПАМА И ЕЕ РЕШЕНИЕ //Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – №. 2.
2. Отчет «Лаборатории Касперского» по спаму и фишингу за 2021 год – Электронный ресурс.

3. M.G. Hossain, M.Z. Islam Naive Bayes Algorithm: A Comprehensive Study. – 2021.
4. Ehsan. M. and Ali. S. An overview of recent trends in email spam filtering techniques//Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2021. 1-22.
5. Tiwari. A. and Sharma. P. Spam filtering using machine learning algorithms: a review//Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing – 2020. – 11(4), 1-22.
6. J.M. Kim, H.S. Kim Naive Bayes Algorithm for Multi-class Text Classification: A Survey. – 2021.
7. Лютова Е.И., Коломойцева И.А. Анализ алгоритмов фильтрации спама. – 2020. – С. 116-120.
8. Е.В. Шарапова, Р.В. Шарапов Обнаружение почтового спама на основе сигнатур электронных писем // V Междунар. конф. и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2019). Владимирский гос. ун-т, Муромский ин-т. – 2019. – С. 924-930.
9. Буртолик Д.О. Байесовские методы классификации // Прикладная математика: современные проблемы математики, информатики и моделирования. – 2020. – С. 320-324.
10. Ломкина Л.С., Субботин А. Н. Классификация потоковых данных на основе байесовского критерия // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 1 (28). – С. 18.
11. Цицина А.С., Хоменко Т.В. формирование принятия решений на основе теоремы Байеса для горнодобывающих предприятий региона. – 2021.
12. Мальцева Д.Н., Лукин Д.В. Применение теоремы Байеса для фильтрации спама // Общество-наука-инновации. – 2021. – С. 6-8.
13. Gao H., Zeng X., Yao C. Application of improved distributed naive Bayesian algorithms in text classification // The Journal of Supercomputing. – 2019. – Т. 75. – С. 5831-5847.
14. Sarica S., Luo J. Stopwords in technical language processing // Plos one. – 2021. – Т. 16. – № 8.
15. Vabalas A. et al. Machine learning algorithm validation with a limited sample size // PloS one. – 2019. – Т. 14. – № 11.
16. Старовойтов, В.В. Сравнительный анализ оценок качества бинарной классификации / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб // Информатика. – 2020. – Т. 17. – № 1. – С. 87-101.
17. Liang J. Confusion Matrix: Machine Learning // POGIL Activity Clearinghouse. – 2022. – Т. 3. – № 4.

References

1. Murashov A.V., Safonov V.V. THE PROBLEM OF SPAM AND ITS SOLUTION //Science and Education. – 2020. – Т. 3. – No. 2.
2. Отчет «Лаборатории Касперского» по спаму и фишингу за 2021 год – Электронный ресурс
3. M.G. Hossain, M.Z. Islam Naive Bayes Algorithm: A Comprehensive Study. – 2021.
4. Ehsan. M. and Ali. S. An overview of recent trends in email spam filtering techniques//Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2021. 1-22.
5. Tiwari. A. and Sharma. P. Spam filtering using machine learning algorithms: a review//Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing – 2020. – 11(4), 1-22
6. J.M. Kim, H.S. Kim Naive Bayes Algorithm for Multi-class Text Classification: A Survey. – 2021.
7. Lyutova E. I, Kolomojceva I.A Analiz algoritmov fil'tracii spama. – 2020. – S.116-120
8. E.V. SHarapova, R.V. SHarapov Obnaruzhenie pochtovogo spama na osnove signatur elektronnyh pisem // V Mezhdunar. konf. i molodyozhnaya shkola «Informacionnye tekhnologii i nanotekhnologii» (ITNT-2019). Vladimirsij gosudarstvennyj un-t, Muromskij in-t. – 2019. – S.924-930
9. Burtolik D. O. Bajesovskie metody klassifikacii //Prikladnaya matematika: sovremennye problemy matematiki, informatiki i modelirovaniya. – 2020. – S. 320-324.
10. Lomakina L. S., Subbotin A. N. Klassifikaciya potokovyh dannyh na osnove bajesovskogo kriteriya // Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii. – 2020. – Т. 8. – №. 1 (28). – S. 18.
11. Cicina A. S., Homenko T. V. Formirovanie prinyatiya reshenij na osnove teoremy Bajesa dlya gornodobyvayushchih predpriyatij regiona. – 2021.
12. Mal'ceva D.N., Lukin D.V. Primenenie teoremy Bajesa dlya fil'tracii spama // Obshchestvo-nauka-innovacii. – 2021. – S. 6-8.
13. Gao H., Zeng X., Yao C. Application of improved distributed naive Bayesian algorithms in text classification // The Journal of Supercomputing. – 2019. – Т. 75. – С. 5831-5847.
14. Sarica S., Luo J. Stopwords in technical language processing //Plos one. – 2021. – Т. 16. – № 8.
15. Vabalas A. et al. Machine learning algorithm validation with a limited sample size // PloS one. – 2019. – Т. 14. – № 11.
16. Starovojtov, V.V. Sravnitel'nyj analiz ocenok kachestva binarnoj klassifikacii / V.V. Starovojtov, Yu.I. Golub // Informatika. – 2020. – Т.17, №1. – S. 87-101.
17. Liang J. Confusion Matrix: Machine Learning // POGIL Activity Clearinghouse. – 2022. – Т. 3. – № 4.



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_219
MFTAA 44.29.01

**Г.М. Абдукаликова¹, Л.М. Утепбергенова¹, Э.М. Смагулова¹, Е.Б. Жаркенов¹,
А.А. Абдуова², Ж.А. Шахмов¹, Ф.К. Кенжекулова¹, А.Е. Елеусинова¹, Ө.Ж. Тазабекова¹**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

E-mail: abdukalikova_gm@mail.ru*

E-mail: utepber78@mail.ru*

E-mail: elmirasmagulova@mail.ru

E-mail: berdenovich@gmail.com

E-mail: zhanbolat8624@mail.ru*

E-mail: farida075@bk.ru

E-mail: yeleussinova70@mail.ru

E-mail: omirgul.zhanarbekkyzy2000@gmail.com

²М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

E-mail: aisulu.abduova@mail.ru

АУЫЛДЫҚ ЕЛДІ МЕКЕНДЕРДІ СУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ҮШІН СУДЫ ТАЗАРТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

IMPROVEMENT OF WATER PURIFICATION TECHNOLOGY FOR WATER SUPPLY OF RURAL SETTLEMENTS

Аңдатпа. Ауылдық елді мекен тұрғындарын сапалы сумен қамтамасыз ету үшін қажетті ресурстардың жеткіліксіз болуы жиі кездеседі. Су құрамында ауыр металдар, пестицидтер, бактериялар және басқа да әртүрлі зиянды заттар болуы мүмкін. Бұл мақалада ауылдық елді мекендерді сумен жабдықтау үшін суды тазарту технологияларын жетілдірі мәселелері зерттеледі. Сондай-ақ мақалада ауылдық елді мекендердегі ауыз суды зарарсыздандыру әдістерінің ағымдағы жай-күйі де қарастылырды. Мақалада ауылдық жерлерде ауыз су сапасын жақсарту үшін қолдануға болатын су тазартудың әртүрлі технологиялары қарастырылды. Мақала авторлары тұрғындардың ауыз су қажеттіліктері үшін суды химиялық, физикалық және кешенді тазартуды, сонымен қатар ластанудың әртүрлі түрлерін жоюдың тиімді жолдарына зерттеу жүргізді. Олар сондай-ақ технологиялық инновациялардың аталған әдістердің құны мен қуат тұтынуына әсерін талқылады. Тазартудың әртүрлі әдістерінің қолжетімділігіне, тиімділігіне және экологиялық қауіпсіздігіне ерекше назар аударылды. Хлорлау және озондау әдістерін қолданбай, суды биоцидті өңдеу технологиясына талдау жасалынды. Тұтастай алғанда, мақала ауылдық елді мекендерді сумен қамтамасыз ету үшін суды тазартудың заманауи технологияларының мәселелері туралы ақпарат береді және осы аймақтардағы ауыз су сапасын жақсарту шешімдерін ұсынады.

Түйін сөздер: зарарсыздандыру, хлорлау, озондау, концентрация, суды аралас өңдеу.

Аннотация. В сельских районах часто имеются ограниченные ресурсы для обеспечения качественной воды для сельского населения. Водная среда, требующая очистки, может содержать различные загрязнения, такие как тяжелые металлы, пестициды, бактерии и другие вредные вещества. Данная статья исследует проблематику совершенствования технологии

очистки воды для водоснабжения сельских населенных пунктов. В статье рассмотрены вопросы текущего состояния методов обеззараживания питьевой воды в сельских населенных пунктах. Статья исследует различные технологии очистки воды, которые могут быть использованы для улучшения качества питьевой воды в сельских районах. Авторы статьи рассматривают химическую, физическую и комплексную очистки воды для питьевых нужд населения, а также их эффективность в удалении различных типов загрязнений. Они также обсуждают влияние технологических инноваций на стоимость и энергопотребление данных методов. Особое внимание уделяется доступности, эффективности и экологической безопасности различных методов очистки. Сделан анализ технологии биоцидной обработки воды без применения методов хлорирования и озонирования. В целом, статья предоставляет информацию о проблемах современной технологии очистки воды для водоснабжения сельских населенных пунктов и предлагает варианты решения для улучшения качества питьевой воды в этих регионах.

Ключевые слова: обеззараживание, хлорирование, озонирование, концентрация, комбинированная обработка воды.

Abstract. In rural areas, there are often limited resources to provide quality water to rural populations. The aquatic environment that requires cleaning may contain various pollutants such as heavy metals, pesticides, bacteria and other harmful substances. This article explores the problems of improving water purification technology for the water supply of rural settlements. The article discusses the current state of methods of disinfection of drinking water in rural settlements. The article explores various water purification technologies that can be used to improve the quality of drinking water in rural areas. The authors of the article consider chemical, physical and complex water purification for the drinking needs of the population, as well as their effectiveness in removing various types of pollutants. They also discuss the impact of technological innovations on the cost and energy consumption of these methods. Special attention is paid to the accessibility, efficiency and environmental safety of various cleaning methods. The analysis of the technology of biocidal water treatment without the use of chlorination and ozonation methods is made. In general, the article provides information about the problems of modern water purification technology for rural water supply and offers solutions to improve the quality of drinking water in these regions.

Keywords: disinfection, chlorination, ozonation, concentration, combined water treatment.

Кіріспе. Қазіргі таңда республиканың ауыл шаруашылығында ауылдық елді мекендерді сумен қамтамасыз ету үшін жер үсті және жер асыт су көздері, сондай-ақ суару каналдарынан толтырылған су қоймалары пайдаланылады. Бұндай су көздерінде ауыр металл иондары, детергенттер, пестицидтер, биогендік элементтер, фенолдар және басқа да адамға қауіпті зиянды заттар бар. Қолданыстағы тазартылған су дайындау қондырғылары қазіргі таңда шамадан тыс жүктемемен жұмыс жасауда, ал қолданылатын техникалық және технологиялық шешімдер бірнеше онжылдықтар бұрын жобаланып, жасалынғандықтан су құрамындағы зиянды қосылыстарды толықтай тазартуға қауқарсыз.

Бүгінде қолданыстағы немесе қайта жаңару сатысында тұрған 40-тан аспайтын топтық су құбырлары жұмыс жасайды. Сенімді жұмыс істеу ұзақтығы 25 жыл болып саналатын нормаланған мерзімге сүйенсек, аталған құбырлардың тозуы 70 %-ды құрайды. Барлық ауылдық сумен жабдықтау жүйелерінің су құбыры желілері мен құрылыстары жоғары тозумен, судың едәуір жоғалуымен (30-40 %) сипатталады, бұл электр энергиясы мен реагенттердің үлкен шығынына әкеледі, нәтижесінде су құнының жоғарылауына, пайдалану қызметтерінің дамымауына және жеткіліксіз жабдықталуына әкеледі.

[2] сәйкес ауыз суға келесідей талаптар қойылады (1-сурет):

Сумен жабдықтау көзінің түрін ескере отырып, су сапасын бағалау үшін жасалынатын зерттеулер жүргізудің ең аз жиілігі жерасты және жер үсті су көздері үшін тоқсанына 1 рет есептеледі.

Ауылдық елді мекендерді сумен қамтамасыз ету үшін суды тазарту жүйелерінің негізгі кемшіліктеріне жататындар:

– инфрақұрылымның жеткіліксіздігі – көптеген ауылдық елді мекендер инфрақұрылымның жетіспеушілігі салдарынан су тазарту құралдарына қол жеткізе алмауда. Бұл тиісті тазарту құралдарының болмауына немесе олардың ескіруімен байланысты болуы мүмкін;

– қаржылық шектеулер – заманауи су тазарту жүйелерін орнату және техникалық қызмет көрсету шағын ауылдық елді мекендер үшін қолжетімді болмауы, айтарлықтай қаржылық шығындарды талап етеді;

– техникалық мәселелер – кейбір жағдайларда техникалық проблемалар тазарту жүйелерінің тиімділігін төмендетуі мүмкін, әсіресе оларға қызмет көрсету және жөндеу жұмыстарын жүргізу үшін тиісті мамандардың болмауы себеп болады;

– су көздерінің ластануы – ауылдық жерлерде су көздерінің ауылшаруашылық және өндірістік қалдықтармен ластану қаупі жиі кездеседі, бұл тазарту процестерін күрделендіріп, оның құнын арттырады;

– халықтың хабарсыздығы мен білімінің төмендігі – кейбір жағдайларда ауыл тұрғындары суды тазартудың маңыздылығын түсінбеуі немесе судың қауіпсіздігін қамтамасыз етудің дұрыс әдістері туралы хабарсыз болуы мүмкін, бұл ластанған суды тұтыну әсерінен туындайтын аурулардың қаупін арттырады;

– мәселеге жеткіліксіз назар аудару – ауылдық елді мекендер көбінесе саяси және қоғамдық іс-шаралардан шалғай орналасқандықтан, таза сумен қамтамасыз ету мәчелесі мемлекеттік деңгейде шешілуі үшін жеткілікті басымдыққа ие болмауы мүмкін.



1-сурет. Ауыз су сапасына қойылатын талаптар

1-5-кестелерде 1-суреттің әрбір тармағы бойынша толық ақпараттар берілген.

1-кесте. Химиялық заттардың жалпы көрсеткіштері

№ п/п	Көрсеткіштер	Өлшем бірліктері	Нормативтер (шекті рұқсат етілген концентрациялар – ШРК артық емес)
1	Сутегі көрсеткіші	рН бірліктері	6-9 аралығында
2	Жалпы минералдану	(құрғақ қалдық) мг/л	1000 (1500)
3	Жалпы қаттылық	мг-экв./л	7,0 (10)
4	Перманганаттың тотығуы	мг/л	5,0
5	Мұнай өнімдері, жиынтығы	мг/л	0,1
6	Беттік белсенді заттар (ББЗ), анионоактивті заттар	мг/л	0,5
7	Фенолдық индекс	мг/л	0,25

2-кесте. Суды өңдеу кезінде түзілетін химиялық заттар

№ п/п	Көрсеткіштер		Өлшем бірлігі	Нормативтер (шекті рұқсат етілген концентрациялар – ШРК), артық емес	Зияндылық көрсеткіші	Қауіптілік класы
1	Хлор	бос қалдық	мг/л	0,3 – 0,5 аралығында	Орг.	3
		байланысқан қалдық	мг/л	0,8 – 1,2 аралығында	Орг.	3
2	Хлороформ (суды хлорлау кезінде)		мг/л	0,2	с.-т.	2
3	Қалдық озон		мг/л	0,3	Орг.	
4	Формальдегид (суды озондау кезінде)		мг/л	0,05	с.-т.	2
5	Полиакриламид		мг/л	2,0	с.-т.	2
6	Белсендірілген кремний қышқылы (Si бойынша)		мг/л	10	с.-т.	2
7	Полифосфаттар (PO ₄ ~ бойынша)		мг/л	3,5	Орг.	3

3-кесте. Су сапасының органолептикалық көрсеткіштері

№ п/п	Көрсеткіштер	Өлшем бірлігі	Нормативтер, артық емес
1	Иісі	балл	2
2	Дәмі	балл	2
3	Түсі	градус	20 (35)
4	Бұлыңғырлығы	ФЛБ (формазин бойынша лайлану бірліктері) немесе мг/л (каолин бойынша)	2,6 (3,5) 1,5 (2)

4-кесте. Радиациялық қауіпсіздік көрсеткіштері

№ п/п	Көрсеткіштер	Өлшем бірлігі	Нормативтер	Зияндылық көрсеткіштері
1	Жалпы α-радиоактивтілік	Бк/л	0,1	Радиация
2	Жалпы β-радиоактивтілік	Бк/л	1,0	Радиация

5-кесте. Микробиологиялық және паразитологиялық көрсеткіштері

№ п/п	Көрсеткіштер	Өлшем бірлігі	Нормативтер
1	2	3	4
1	Жалпы микробтық саны	Колония түзетін бактериялардың саны 1 мл	50-ден артық емес
2	Жалпы колиформды бактериялар	100 мл-дегі бактериялардың саны	Болмайды

5-кестенің соңы

1	2	3	4
3	Термотолерантты колиформды бактериялар		100 мл-дегі бактериялардың саны
4	Колифагтар		100 мл-дегі бляшка түзетін бірліктер саны
5	Лямблия цисталары	50 л-дегі циста саны	Болмайды
6	Сульфитредуктивті клостридия споралары	20 мл-дегі споралар саны	Болмайды

Аталған мәселелерді шешу мемлекеттік органдардың, жергілікті қауымдастықтардың, халықаралық ұйымдардың және басқа да мүдделі тараптардың бірлескен жұмысын талап етеді. Бұған инфрақұрылымды жақсарту, қаржылық қолдау, білім беру бағдарламалары және қоршаған ортаны қорғау саласында атқарылымын жұмыстар кіреді.

Ауылдық елді мекендердегі су тазарту технологиясын жетілдіру қажеттілігі бірқатар факторларға негізделген.

Біріншіден, мұндай елді мекендер, әдетте орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйесімен жабдықтау алмайды, сол себепті су көзі ретінде ұңғымаларды немесе өзен су қоймаларын пайдалануға мәжбүр. Алайда, мұндай судың сапасының төмендігі, құрамында зиянды қоспалар, бактериялар мен ластаушы заттардың болуы ауыл тұрғындарының денсаулығына қауіп төндіреді.

Екіншіден, ауылдық елді мекендердегі су ауылшаруашылық қалдықтарымен, пестицидтермен және ауылшаруашылық процесінде қолданылатын тыңайтқыштармен ластануы жиі кездеседі. Осындай зиянды заттардың ауыз суға түсуіне жол бермеу үшін суды тиімді тазарту қажеттілігі туады.

Ауылдық елді мекендер үшін суды тазарту технологиясын жетілдіру жергілікті тұрғындардың қауіпсіз ауыз сумен қамтамасыз етілуіне мүмкіндік береді. Бұл ауыл тұрғындарының өмір сүру сапасы мен денсаулығына оң әсерін тигізеді. Сонымен қатар, бұл ауыл шаруашылығының дамуына ықпалын тигізеді, себебі таза, қауіпсіз су тамақ өндіру және аграрлық инфрақұрылымды қолдау үшін аса қажет.

Тазартылған суды тек ішу мақсатында емес, сондай-ақ ауылшаруашылық жерледі суару үшін де пайдалануға болады, бұл өнімділіктің жоғарылауына және өсімдік аурулары қаупінің төмендеуіне әкеледі. Осылайша, ауылдық елді мекендер үшін суды тазарту технологиясын жетілдіру ауылдық жерлердің тұрақты дамуына және осы ауданның экономикалық әл-ауқатын жақсаруына ықпал ететін болады [3].

Ауылдық жерлерді сумен жабдықтауда кездесетін өзекті мәселелері мен келеңсіздіктеріне мыналар жатады:

1. Қолжетімді ауыз судың жетіспеушілігі: көптеген аудандарда таза ауыз судың жетіспеушілігі басты мәселелердің бірі болып қала береді. Бұған су қорларын дұрыс басқармау, сумен қамтамасыз ететін инфрақұрылымдардың болмауы немесе су көздерінің ластануы себеп болуы мүмкін.

2. Су ресурстарының біркелкі бөлінбеуі: кейбір елді мекендерде су көздері болғанымен, олар кеңістік пен уақыт бойынша біркелкі таралмауы мүмкін, бұл да өз кезегінде су жетіспеушілігі проблемаларын тудырады.

3. Инфрақұрылымның болмауы: әдетте жеткілікті мөлшерде сумен қамтамасыз етуді ұйымдастыру үшін қажетті инфрақұрылымдар жетіспеушілігі жиі кездеседі. Оларға су құбырлары, кәріз жүйелері немесе су қалдықтарын төгі жүйелерінің болмауы әсер етіп, су ресурстарының тікелей ластануына әкеп соғады.

4. Климаттың өзгеруі: ауылдық жерлердегі судың қол жетімділігі мен сапасына климаттық өзгерістер де өз әсерін тигізеді. Төтенше ауа-райы жағдайлары, оның ішінде құрғақшылық пен су тасқыны су ресурстарына теріс әсер етіп, сумен қамтамасыз етуді қиындатуы мүмкін.

5. Экономикалық тұрақтылық: табыс көзі төмен ауылдық елді мекендерде, қажетті инфрақұрылым мен су технологиясын қамтамасыз ету қаржылық тұрғыдан қиындықтар туғызуы мүмкін. Қажетті ресурстардың болмауы да кейде кедергі келтіретін проблема болуы мүмкін.

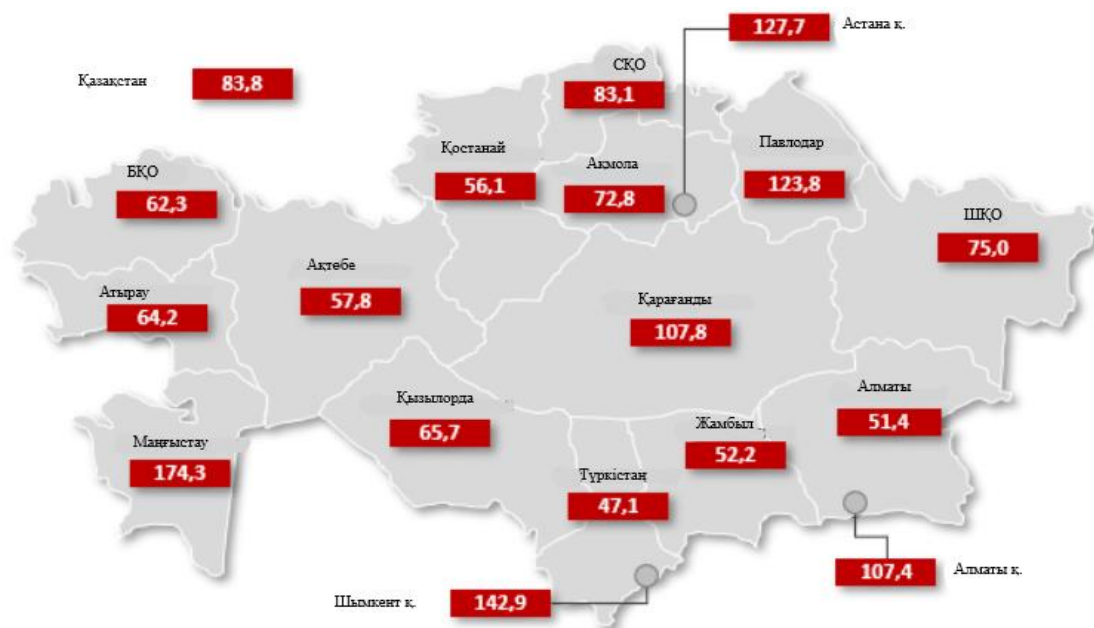
6. Хабарсыздық пен білімнің жетіспеушілігі: ауыл халқы таза ауыз судың маңыздылығы мен су ресурстарын сақтау қажеттілігінен хабарсыз болуы мүмкін. Бұл қолданыстағы су көздерін шамадан тыс жүктеп, су ресурстарының одан әрі сарқылуына әкеп соғуы мүмкін.

[4] сәйкес аймақтардың халқы орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйелерімен жеткілікті мөлшерде қамтамасыз етілген (2-сурет). Осы мөлшерге сүйенсек, бір тұрғынға күніне орта есеппен 90 л судан келеді (3-сурет). Табиғи су тексерілген технологияларды қолдана отырып тазартылады, және судың құрамы ондаған көрсеткіштер бойынша су арналары мен санитарлық қадағалау органдарымен үнемі бақылауда болады.



2-сурет. Халыққа жіберілген су көлемі, 2020 (млн текше.м)

Ауылдық елді мекендерді сумен жабдықтау мәселесі әрқашан өзекті мәселелердің бірі болған және, өкінішке орай әлі де шешімі табылмаған мәселе болып қала береді. Тұрғындар саны аз ауылдар мен елді мекендерді сумен жабдықтау үшін артезиан ұңғымаларын қолдану өте сирек кездеседі, көбінесе жер үсті суларының есебінен жүзеге асырылады. Ұңғымалар, негізінен, ауыз су қажеттіліктері мен шаруашылықта пайдалану сияқты халықтың тұрмыстық қажеттіліктері үшін қолданылады, себебі пайдаланылатын жер асты суларын толықтыру белсенді жүзеге асырылмайды. Бір су көзінен алынатын су бір немесе бірнеше отбасын қамтамасыз етуге жетуі мүмкін. Бірақ барлық ауылды, оның ішінде ауыл шаруашылығы қажеттіліктеріне қолдануы мүмкін емес. Бұндай жағдайда су іс жүзінде өнделмейді.



3-сурет. Бір адамға шаққандағы судың орташа тәуліктік демалысы, 2020 (литр)

Су ауылдық елді мекендерде келесі мақсаттарда пайдаланылады:

1. Ауыз су: ішу және ауылдық елді мекен тұрғындарының суға деген негізгі қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін қажет. Ол ішуге, тамақ дайындауға және сусын дайындауға арналған негізгі сұйықтық ретінде қолданылады.

2. Ауылшаруашылық қажеттіліктері: су өсімдіктердің өсуі мен дамуын қамтамасыз ету үшін, егістіктер мен бақтарды суару үшін қажет. Сонымен қатар су мал ішуге және суаруға, жануарларды тамақтандыруға, сүт және ет өнімдерін жууға қолданылады.

3. Тұрмыстық қажеттіліктер: су ауылдық елді мекендер тұрғындарының күнделікті тұрмыстық қажеттіліктерін қамтамасыз ету үшін пайдаланылады. Ол жуу, тазалау, шомылу және санитарлық қажеттіліктер.

4. Өнеркәсіп: Су ауылдық елді мекендерде болуы мүмкін өнеркәсіптік кәсіпорындарда тауарларды өндіру немесе іртүрлі өндіріс процестерін орындау үшін қолданылады.

5. Табиғи орта: Су экологиялық тепе-теңдікті сақтауда да маңызды рөл атқарады. Ол топырақтың, экожүйенің, өзендер мен көлдердің ылғалдылығын сақтау үшін, сондай-ақ өсімдіктер мен жануарлардың әртүрлі түрлерінің әртүрлілігі мен тіршілік әрекетін қорғау үшін қажет.

Дүниежүзі елдерінде де ауылдық елді мекендерінде таза суға қол жеткізу мәселесі өзекті және бұл тұрғындар денсаулығына елеулі әсерін тигізеді [5].

Ауылдық жерлерде таза суға қол жетімділіктің болмауының басты себебі – ауыз сумен сенімді қамтамасыз ету үшін қажетті инфрақұрылымның болмауы. Ауылдық елді мекендердің таза сумен жабдықтау жүйелері арқылы берілетін қалалық аудандардан айырмашылығы, сапалы сумен қамтамасыз ету жеткілікті дәрежеде болмауында.

Ауылдық елді мекендердегі ауыз су қажетті стандарттарға сай келмейтіндіктен және көп жағдайда әртүрлі зиянды заттармен ластанатындықтан, тұрғындар өзен, көл немесе құдықтар сияқты су көздеріне жүгінуге мәжбүр. Бірақ бұл су көздерінде бактериялар, вирустар, паразиттер және химиялық ластаушы заттар болуы мүмкін, бұл тұрғындардың, әсіресе балалардың денсаулығына аса қауіпті болуы мүмкін.

Ауылдық жерлерде таза судың болмауы әртүрлі аурулар мен денсаулыққа кері әсерін тигізуі мүмкін. Мысалы, ластанған су диарея, асқазан-ішек жолдарының бұзылуын, зәр шығару жолдарының инфекциясын және ішек паразиттік ауруларын тудыруы мүмкін. Балалардың иммундік жүйесі әлі толық жетілмегендіктен ластанған судан пайда болатын инфекцияларға бейім болып келеді [6].

Ластанған суды ұзақ уақыт бойы қолдану тырысқақ, сүзек және А гепатиті сияқты созылмалы ауруларға тудыру мүмкін және ауруларды асқындыруы тіпті өлімге әкеп соғуы мүмкін.

Сонымен қатар, таза судың қол жетімсіздігі ауылдық жерлердің әлеуметтік-экономикалық дамуына теріс әсерін тигізеді. Ластанған судан зардап шегетін халық емделуге және таза ауыз су сатып алуға қомақты қаржы жұмсауы мүмкін. Бұл өз кезегінде тұрғындардың білім беру, бизнесті дамыту және жалпы өмір сүру сапасын жақсарту мүмкіндіктерін төмендетеді.

Сондай-ақ, ағынды суларды тазарту мен кәдеге жаратудың тиісті әдістері қолданылмаса автокөлік жуатын ағынды сулар ауылдық елді мекендердің ауыз суына кері әсерін тигізуі мүмкін.

Ағынды сулармен ластанудың негізгі түрлерінің бірі – автокөліктерді жуу кезінде ағатын мұнай өнімдері болып табылады. Бұндай мұнай өнімдері улы болуы мүмкін және де суды, топырақты, тіпті жер асты суларын да ластауы мүмкін. Олар жерге, өзен мен көл суларына қосылып, ауылдық елді мекендердегі экожүйеге де теріс әсер етеді.

Және де, автокөлік жууда қолданылатын сабын, шыны жуғыштар, антифриз және басқа да химиялық заттар ағынды суға түсуі мүмкін. Бұл заттар су ресурстарын ластап, қоршаған ортаға және адам денсаулығына кері әсер етуі мүмкін.

Егер ауылдық елді мекендердің автокөліктерді жуу орындарының сарқынды сулары дұрыс тазаланбаса, олар ауыз сумен жабдықтау мақсатында пайдаланылатын өзендерге, көлдерге не су қоймаларына тікелей түсуі де мүмкін. Бұл ауыз судың ластанып, адам денсаулығына зиян тигізуі мүмкін.

Автокөлік жуатын ағынды сулардың ауылдық елді мекендерге тигізетін теріс әсерін азайту үшін ағынды суларды тазарту мен жоюдың тиісті әдістерін қолдану қажет. Бұған ластаушы заттарды кетіру үшін суды сүзу, тазарту ж.йелерін пайдалану, мұнай өнімдері мен химиялық қалдықтарды жинау және кәдеге жаратуды жатқызсақ болады. Автокөліктерді жууды пайдалану кезінде қоршаған ортаны қорғау саласындағы заңнаманы, талаптар мен нормаларды сақтау да өте маңызды.

Авторлар өз зерттеулерінде ағынды суларды тазарту мәселелерін шешуді ұсынды [7]. Зерттеу жұмыстарында авторлар микробтық отын элементтерін (МОЭ) графен оксидімен нығайтылған металлорганикалық тіректермен (MOT) интеграциялаудың тиімділігін автокөлік жууға арналған ағынды суларды тазартудың бірегей әдісі ретінде қарастырды.

Ағынды суларды тазартуды жақсарту үшін ультракүлгін жарықдиодты дезинфекциялаумен біріктірілген ауылшаруашылық қалдықтарының биофункционализацияланған адсорбенттерінің әлеуеті туралы жаңа көзқарасты авторлар өз зерттеулерінде көрсетті [8]. Зерттеу барысында ғалымдар күн сәулесімен жұмыс істейтін ультракүлгін жарықдиодты ағынды суларды тазарту кезінде биосорбцияны күшейту үшін ауылшаруашылық қалдықтарымен (жүзім сығындылары, кофе қабығы және жүгері түйіршіктері) біріктіріліп алынған үш биофункционаланған адсорбенттердің әлеуетін зерттеді.

Ауылдық елді мекендердегі жер асты суларының сапасы ағынды сулардың әсерінен қатты зақымдануы мүмкін. Себебі бұл жерлерде орталықтандырылған кәріз жүйелері жоқтың қасы және үй мен тұрмыстық қалдықтарды тиісті түрде өндеп, тазарту мүмкін емес. Нәтижесінде бұндай ағынды сулар топыраққа еніп, жер асты суларына кері әсер етуі мүмкін.

Ағынды сулардағы ластаушы заттардың көп мөлшерде болуы, жер асты сулары сапасының айтарлықтай төмендеуіне әкеп соғуы мүмкін. Жер асты суларының ластануы таза ауыз судың қол жетімділігін төмендетіп, тұрғындарды ауруға шалдықтыруы мүмкін. Сонымен қатар, ластанған су ауылшаруашылық өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігіне, және топырақ сапасы мен ауыршаруашықтың өнімділігіне кері әсерін тигізеді.

Ауылдық елді мекендердегі ағынды сулардың жер асты сулары сапасына теріс әсерін болдырмау үшін зерттеу авторлары [9] ағынды суларды тазарту жүйесінде цеолит имидазолат қарқасынан – 67, цеолит имидазолат қарқасынан – 8, полиэфир сульфонынан және графен оксидінен синтезделген жаңа полимерлі адсорбентті материалды қолдануды ұсынды.

Әдістер мен материалдар. Ауылдық елді мекендерде таза ауыз сумен қамтамасыз ету проблемалары жиі кездеседі. Бұл тұтынуға сапалы және қауіпсіз сумен қамтамасыз ету туралы маңызды сұрақтар туғызады [10]. Әсіресе соңғы онжылдықта ауылдық елді мекенде су ресурстарын өңдеу мен тазартуды қажет ете бастады. Мақаламызда ары қарай, біз суды тазарту әдістерін қарастырамыз және олардың тиімділігі мен ауылдық инфрақұрылым контекстінде қолданылуына талдау жасаймыз.

Қазақстан Республикасы аумағында ауыз су құрамындағы зиянды заттардың құрамын әртүрлі әдістермен анықтауды реттейтін бірқатар нормативтік құжаттар қолданылады. Республикада қолданылып жүрген нормативтік құжаттармен қатар, 10-нан астам атауы бар ҚР СТ ГОСТ Р 52180-2010 «Ауыз су. Инверсиялық вольтметррия әдісімен улы элементтердің құрамын анықтау», сонымен қатар СТБ 1188-99 «Ауыз су. Сапаны бақылауды ұйымдастыру мен әдістеріне қойылатын жалпы талаптар» (Белорусь Республикасының Мемлекеттік стандарты, Қазақстан Республикасында 2022-01-01 енгізілген); ГОСТ Р 51232-98 «Ауыз су. Сапаны бақылауды ұйымдастыру мен әдістеріне қойылатын жалпы талаптар» (Ресей Федерациясының Мемлекеттік стандарты, Қазақстан Республикасына 2022-01-01 енгізілген).

ҚР-да ауыз су халыққа тек нормативтік құжаттар мен сапа стандарттарының талаптарына сәйкес беріледі. Бұл судың белгіленген тазалық пен қауіпсіздік стандарттарын қанағаттандыру үшін қатаң бақылаудан өтіп, халықтың тұтынуы үшін жоғары сапаны қамтамасыз ететінін білдіреді. Ауыз су азаматтардың денсаулығының сақталауына кепілдік бере отырып, белгіленген нормаларға сәйкес әртүрлі зиянды заттар мен микроорганизмдердің болуына үнемі тексеріліп отырылады [11].

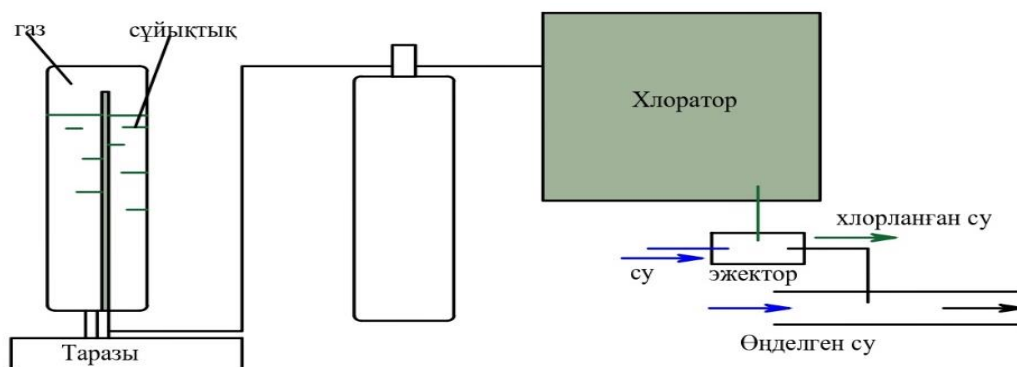
Қолданыстағы технологиялардың артықшылықтары мен кемшіліктерін бағалайтын болсақ. Бүгінгі күні ауыз суды тазартудың көптеген жолдары бар. Келесі әдістер суды дайындаудың негізгі әдістері болып табылады.

- химиялық - зиянды микроорганизмдерді жоюға және олардың белсенділігінің төмендеуіне әкелетін бейтараптану құралдарын пайдалануды қамтамасыз ететін әдіс;
- физикалық – реагентсіз әдіс;
- кешенді – алдыңғы екі технологияларды қосатын әдіс. Аталған әдіс бактериялардың көбеюінің алдын алатын, тиімділігі жоғары әдіс болып табылады.

Ауыз суды зарарсыздандыруды кешенді тазарту әдісі ретінде қарастырған жөн.

Химиялық әдіске жататындар: хлорлау, озондау, күміс, мыс, йод препараттарын қолдану. Хлорлау және озондау әдістері су құбырын тазарту қондырғыларында кеңінен қолданылады. Күміс, мыс, йод препараттарын қолдану автономды нысандардағы судың аз мөлшерін дезинфекциялау үшін қолданылады [12].

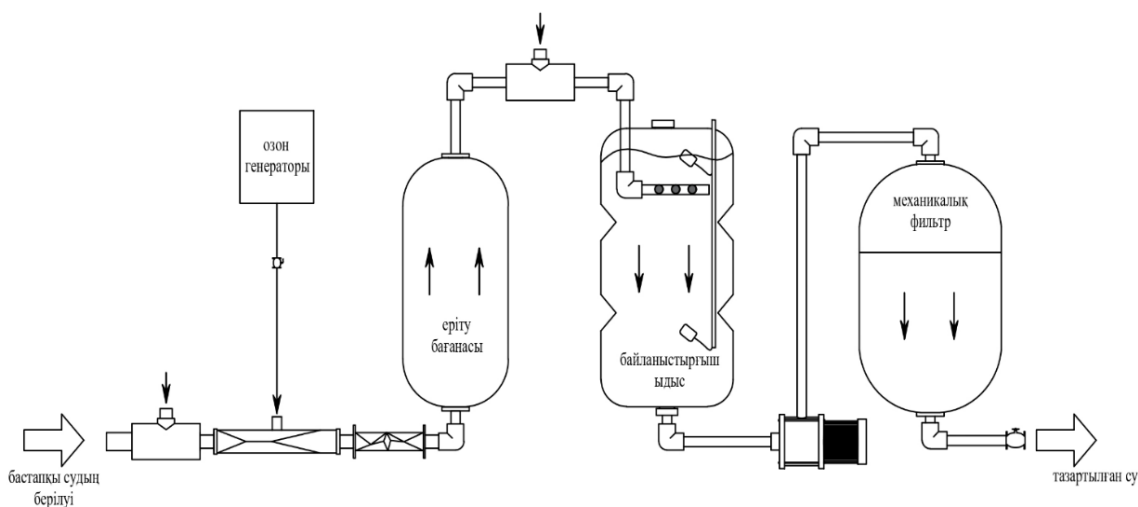
Хлорлау (4-сурет) хлор газымен немесе құрамында белсенді хлор бар заттармен жүргізіледі. Бұл әдіс біздің елде ғана емес, бүкіл әлемде кеңінен таралған. Ескеретін жайт ол хлордың әсеріне төзімді микроорганизмдердің болуы. Ондай бактерияларды жою үшін хлордың көп мөлшерін енгізу қажет, бұл судың денатурациясына әкеледі және судың органолептикалық қасиеттерін нашарлатады.



4-сурет. Ауыз суды хлорлаудың технологиялық сұлбасы

Реагенттерді қолдану аталған процесстердің кемшіліктерін көрсетеді. Кемшіліктеріне дезинфекциялаушы реагенттердің өздерін де, канцорегенді, мутагенді және басқа да бірқатар жағымсыз әсер беретін жанама өнімдерін жатқызсақ болады. Суда жиналу қасиетіне ие галогенді қосылыстар түзілу қаупін тудыруы мүмкін. Құрамында галоген бар қосылыстардың көздеріне гумин қышқылдары, фульво қышқылдары, хинолиндер, фенол, анилин туындылары және балдырлар метоболизмі өнідері жатады.

Озондау процесі арқылы зарарсыздандыру процесі (5-сурет) агрессивтілігі төмен әдіс болып табылады. Озон атомдық оттегіні алу үшін оңай ыдырайды, ал бұл өз кезегінде күшті тотықтырғыштардың бірі болып табылады. Атомдық оттегі бактерияларды, спораларды, вирустарды жояды, суда еріген органикалық заттарды бұзады.



5-сурет. Озондау арқылы тазартудың негізгі сұлбасы

Озонды суды дезинфекциялаушы зат ретінде қолдану бірнеше жағымсыз қасиеттерге ие, мәселен жанама улы өнімдердің пайда болуы. Ондай өнімдерге: броматтар, альдегидтер, кетондар, карбон қышқылдары, гидроксилденген және алифатты хош иісті қосылыстар жатады. Озон адам үшін улы реагент және жарылғыш зат болып табылады, осы себептен оны суды дезинфекциялаушы зат ретінде қолдану аясын шектелген.

Ауылдық елді мекендер үшін суды тазартуда кешенді тазарту мен тұщыландырудың конверсиялық жылжымалы станциялары қолданылады.

Суды кешенді тазарту және тұщыландыру станциялары суды табиғи ластанудан тазартуға, зарарсуздандыруға және залалсыздандыруға арналған. Станцияның жұмысын талдау [13], оның суды тазарту процесіндегі ең әлсіз дезинфекциялау торабы екенін көрсетті. Дезинфекциялаушы заттар ретінде көбінесе кальций гипохлориті $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (НГК) немесе кальций гипохлориті тұзы $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \times 2\text{Ca}(\text{OH})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (ДТС ГК) қолданылады. Кальций гипохлоритін дезинфекциялау мақсатында қолдану экологиялық жағынан тиімсіз болғандықтан, оның орнына дайын ерітінді түріндегі натрий гипохлоридін қолдану арқылы немесе сол жерде электролиттік жолмен алу арқылы алмастыруға болады. Станцияның техникалық-экономикалық көрсеткіштерін жақсарту мақсатында ауылдық сумен жабдықтауда станцияның қолданыстағы технологиялық схемасына аралас ионатор енгізуге болады. Ионаторлар екі электролиз ваннасынан тұрады: біреуі электродты «күміс-тот баспайтын болат», екіншісі электродты «титан-платиналанған титан».

Нәтижелері. Ауылдық елді мекендердің сумен жабдықтау жүйелері баяу сүзгілерге негізделген суды реагенттерсіз ағарту әдісін кеңінен қолданады. Біздің еліміздің ауыл тұрғындары тұратын кейбір аудандарында жер асты суларында минералдар мөлшері көп, ал жер бетіндегі бұлақтар құрғақшылық кезінде қажетті су көлемімен қамтамасыз ете алмайды. Мұндай жағдайларда тұтынушыдан алыс қашықтықта орналасқан фермалар мен совхоздардың су көздерін пайдалануға мәжбүр. Алыс қашықтықтан суды тасымалдау құны арзан болмағандықтан, ең дұрыс шешім – бірнеше шаруа қожалықтары үшін жалпы сумен жабдықтау жүйесін ұйымдастыру. Көп жағдайларда ауылдық елді мекендер үшін суды суару жүйелері арналарынан алынған кездерде кездеседі.

Тұщы су көздері жоқ ауылдарды сумен қамтамасыз ету үшін қатты минералданған жер асты су қабаттары, сондай-ақ жер бетіндегі басқа да су көздері қолданылады. Мұндай жағдайларда су экономикалық және басқа да қажеттіліктер үшін қалыпты мөлшерге дейін тұзсыздандырылады. Бұл минералданған сумен және тұщы суды біріктіретін жүйелер болып табылады [14].

Біріктірілген әдістерді іске асырудағы маңызды шешім ауылдық жерлердің жағдайына барынша бейімделген жергілікті тазарту қондырғыларын жаңғырту болып табылады. Қолданыстағы жергілікті жүйелердің көпшілігі дезинфекциялаушы ретінде хлорды немесе оның ультракүлгін сәулемен үйлесімін қолданады. Хлорды бактерицид-иондарға ауыстыру экологиялық және эпидемиологиялық қауіпсіздің талаптарына жауап беретін ауыз су алуға мүмкіндік береді. Осылайша, судың бактерияға қарсы тұрақтылығын ұзартатын және процестің эпидемиологиялық қауіпсіздігінің тиісті деңгейін қамтамасыз ететін ШРК-дан төмен концентрацияда бактерицид иондарын енгізу арқылы ультракүлгін сәулелену немесе сутегі асқын тотығының белсенділігін арттыру арқылы суды біріктіретін дезинфекциялау тиімділігін арттыру, осылайша «хлорсыз» су дайындау технологияларын қолданудың ресурс үнемдейтін әсерін қамтамасыз етеді. Мыс иондарымен, ультракүлгін сәулелермен және сутегі асқын тотығымен өңделген судың бактериялық құрамына жасалған талдау нәтижелері, оның ауылдық елді мекендерде суды дезинфекциялауда қолданудың ең тиімді тәсілі екенін көрсетті.

Суды кешенді тазарту және тұщыландыру станцияларында екі электролизді ванналарды қолдануда, хлоралау әдістерін қолдана отырып суды тазарту әдісі толығымен алынып тасталады. Бірінші ваннада күміс иондары, екіншісінде натрий гипохлориті пайда болады. Күміс иондары пайда болатын ваннада ионатордың тиімділігін арттыру үшін тот баспайтын болаттан жасалған электродтың орнына мыс электроды қолданылады.

Осылайша, шағын және орта ауылдық елді мекендердің шаруашылық-ауыз сумен жабдықтау жүйелеріндегі суды хлорлауды біріктіретін (УК сәулелері мен мыс иондары немесе күміс иондары) залалсыздандыру процесіне ауыстырудың тиімділігі анықталады.

Ол өз кезегінде: 1) табиғи су объектілерін хлордың түсуінен болатын экологиялық, экономикалық залады азайтуға; 2) дезинфекциялаушы заттардың дозаларын азайту арқылы ресурс үнемдейді арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Зерттелген сәулелену дозаларындағы H_2O_2 + УК бірлескен әсері суды дезинфекциялаудың белгіленге нәтижесіне қол жеткізуге мүмкіндік бермейді. Негізгі кемшілігі ультракүлгін сәулеленудің әсерін тоқтатқаннан кейін және сутегі асқын тотығының (1-3 сағ) ыдырағанынан кейін, тазартылған су қайтадан қарқынды түрде ластануға ұшырайды. Сондықтан суды сутегі асқын тотығымен өңдеу барысында суға бактерицид иондарын енгізу ұсынылды. Ультракүлгін сәулелер мен мыс иондары тек H_2O_2 және УК-сәулеленімен қарағанда тереңірек дезинфекциялауға қол жеткізеді, бұл аталған иондардың ШРК-дан төмен концентрацияда көрінетін катализдік әсерін көрсетеді. Бұндай жүйе ауылшаруашылық су жүйесінде ауыз судың жоғары сапасын қамтамасыз етеді және ұзақ мерзімді микробиологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етеді [14, 15].

Ауылдық елді мекендерді сумен жабдықтау үшін суды тазартуды жетілдіруге ұсынылатын суды тазарту технологиялары қаржыландыру мен тұрақтылықты қамтамасыз ету мәселесі, тазарту жүйелерін әзірлеушілер мен операторлардың алдында тұрған негізгі мәселелердің бірі болып табылады. Төменде, осы мәселелердің бірнеше аспектілері көрсетілген:

– орнату мен техникалық қызмет көрсетудің қымбат шығындары. Суды тазартудың заманауи технологияларын орнату да, күтіп ұстау да өте қымбат болуы мүмкін. Бұған жабдықты сатып алу, қызметкерлерді оқыту, энергия шығындары және жүйеге техникалық қызмет көрсету шығындары кіреді. Бюджеті шектеулі ауылдық елді мекендер үшін бұл ауыр жүк болуы мүмкін;

– қаржыландырудың қолжетімсіздігі – кейбір жағдайларда ауылдық елді мекендер суды тазарту жүйелерін жақсарту үшін қаржыландыру алуды біршама қиындықтарға тап болуы мүмкін. Олар мемлекеттік немесе халықаралық қорларға қол жеткізе алмауы, және де инфестияларды өз бетінше тарта алмауы мүмкін;

– технологияның тұрақсыздығы – суды тазартудың кейбір заманауи технологиялары тұрақсыз болуы мүмкін немесе үнемі техникалық қызмет көрсетуді қажет етуі мүмкін. Бұл жабдықты жөндеуге және ауыстыруға қосымша шығындар тудыруы мүмкін, ол өз кезегінде ауылдық қауымдастықтарға қаржылық жүктемені арттыруға себеп болады;

– ресурстар мен сараптамалардың шектеулі болуы – ауылдық жерлерде суды тазартудың заманауи технологияларын тиімді енгізу және оларға қызмет көрсету үшін білікті қызметкерлер мен ресурстар жетіспейді. Бұл жабдықтың дұрыс жұмыс жасамауына және тазалау тиімділігінің төмендеуіне әкеп соғуы мүмкін.

Бұл мәселелерді шешу үшін кешенді әдістерді қолдану қажет:

1. Мемлекеттік қолдау. Үкімет ауылдық елді мекендердегі суды тазарту жүйелерін жақсарту үшін субсидиялар беру мәселелерін немесе қаржылық қолдаудың басқа да түрлерін қарастыруы мүмкін.

2. Халықаралық ынтымақтастық. Халықаралық ұйымдар мен донорлар суды тазартудың тұрақты технологияларын енгізу үшін қаржылық көмек пен сараптамалық көмек көрсете алады.

3. Оқыту және білім беру. Оқыту бағдарламаларын жүргізу және таза судың маңыздылығы мен дұрыс тазарту әдістері туралы халықты хабардар ету тазарту жүйелерінің тиімділігі мен тұрақтылығын арттыруға көмектеседі.

Суды тазарту саласындағы инновацияларды ынталандыру және қолжетімді және тұрақты технологияларды дамыту да мәселені шешуде шешуші рөл атқаруы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Тогабаев Е.Т. К вопросу о разработке локальных систем водоснабжения сельских населенных пунктов Казахстана / Сборник материалов I Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение жилищно-коммунального хозяйства» / ЕНУ. – Астана, 2012. – С. 42-45.
2. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к водисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов», утверждены Приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 16 марта 2015 года № 209.
3. Хайдукова Е.В., Моница Е.С. / Потребление и качество питьевой воды / Наука XXI века: Опыт прошлого – взгляд в будущее / Материалы Международной научно-практической конференции / Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СИБАДИ). 2015. – С. 130-134.
4. <https://www.gov.kz/memleket/entities/krem/press/article/details/67>.
5. А.В. Малышева / О проблемах сельского водоснабжения и пути их решения. / Energy machines and system, № 2, Санкт Петербург. 2015. – С. 60-67.
6. Будыкина Т.А. / Оценка качества питьевой воды по показателю "общая минерализация" / Современные проблемы охраны труда и окружающей среды / Сборник трудов секции № 10 XXXIII Международной научно-практической конференции. Химки. 2023, С. 26-30.
7. T.Mkilima, Y.Zharkenov, L.Utepbergenova, E.Smagulova, K.Fazylov, I.Zhumadilov, K.Kirgizbayeva, A.Baketova, G.Abdukalikova / Carwash wastewater treatment through the synergetic efficiency of microbial fuel cells and metal-organic frameworks with graphene oxide integration / Case Studies Chemical and Environmental Engineering, Volume 9, June 2024,100582
8. T.Mkilima, Y.Sabitov, Zh.Shakmov, T.Abilmazhenov, A.Tlegenov, A.Jumabayev, A.Turashev, Zh.Kaliyeva, L.Utepbergenova / Exploring the potential of biofunctionalized agricultural waste adsorbents integrated with UV-LED disinfection treatment / Case Studies Chemical and Environmental Engineering, Volume 9, June 2024,100582
9. T. Mkilima, Y. Zharkenov, L. Utepbergenova, A. Abduova, N. Sarypbekova, E. Smagulova, G. Abdukalikova K. Fazylov, I. Zhumadilov / Harnessing graphene oxide-enhanced composite metal-organic frameworks for efficient wastewater treatment / Water Cycle, Volume 5, 2024. – P. 86-98.
10. Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н. / Оценка гидроэкологического качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям и качеству питьевой воды / Наука, образование, технологии: проблемы, достижения и перспективы / Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 134-138.
11. Алукер Н.Л., Инновационный подход к определению основных показателей качества питьевой воды и мониторингу качества питьевых вод, употребляемых населением / Проблемы и перспективы современной научной мысли в России и за рубежом / Сборник тезисов III Международной конференции. – Кемерово, 2021. – С. 3-5.
12. Авчинников А.В. / Гигиеническая оценка современных способов обеззараживания питьевой воды / Гигиена и санитария. – № 2, Хабаровск, 2001. – С. 11-20.
13. Т.И. Дровозова / Научные основы повышения качества воды / Санкт Петербург. 2019
14. Кулакова Е.С. / Повышение качества питьевой воды и рационализация водопотребления как перспектива развития систем водоснабжения сельских поселений / Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – № 6. – 2012. – С. 111-115.
15. Петроченко А.В. / Инновационные решения подготовки воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения и капельного орошения / Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – № 3 (63). – 2016. – С. 142-150.

References

1. Togabaev E.T. / K voprosu o razrabotke lokal'nykh sistem vodosnabzheniya sel'skikh naselennykh punktov Kazakhstana / Sbornik materialov I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii

- «Nauchnoe obespechenie zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva» / ENU. – Astana, 2012. – S. 42-45.
2. Sanitarnye pravila «Sanitarno-epidemiologicheskije trebovaniya k vodoistochnikam, mestam vodozabora dlya khozyaistvenno-pit'evykh tselei, khozyaistvenno-pit'evomu vodosnabzheniyu i mestam kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya i bezopasnosti vodnykh ob'ektov», utverzhdeny Prikazom Ministra natsional'noi ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 16 marta 2015 goda № 209.
 3. Khaidukova E.V., Monina E.S. / Potreblenie i kachestvo pit'voi vody / Nauka XXI veka: Opyt proshlogo - vzglyad v budushchee / Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii / Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya (SibADI). 2015. – S. 130-134.
 4. <https://www.gov.kz/memleket/entities/krem/press/article/details/67>.
 5. A.V. Malysheva / O problemakh sel'skogo vodosnabzheniya i puti ikh resheniya. / Energy machines and system. – № 2. – Sankt Peterburg, 2015. – S. 60-67.
 6. Budykina T.A. / Otsenka kachestva pit'voi vody po pokazatelyu "obshchaya mineralizatsiya" / Sovremennye problemy okhrany truda i okruzhayushchei sredy / Sbornik trudov sektsii № 10 KhKhXIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Khimki, 2023. – S. 26-30.
 7. T. Mkilima, Y. Zharkenov, L. Utepbergenova, E. Smagulova, K. Fazylov, I. Zhumadilov, K. Kirgizbayeva, A. Baketova, G. Abdusalikova / Carwash wastewater treatment through the synergetic efficiency of microbial fuel cells and metal-organic frameworks with graphene oxide integration / Case Studies Chemical and Environmental Engineering, Volume 9, June 2024, 100582
 8. T. Mkilima, Y. Sabitov, Zh. Shakmov, T. Abilmazhenov, A. Tlegenov, A. Jumabayev, A. Turashev, Zh. Kaliyeva, L. Utepbergenova / Exploring the potential of biofunctionalized agricultural waste adsorbents integrated with UV-LED disinfection treatment / Case Studies Chemical and Environmental Engineering, Volume 9, June 2024, 100582
 9. T. Mkilima, Y. Zharkenov, L. Utepbergenova, A. Abduova, N. Sarypbekova, E. Smagulova, G. Abdusalikova K. Fazylov, I. Zhumadilov / Harnessing graphene oxide-enhanced composite metal-organic frameworks for efficient wastewater treatment / Water Cycle, Volume 5, 2024. – P. 86-98.
 10. Chembarisov E.I., Rakhimova M.N. / Otsenka gidroekologicheskogo kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam i kachestvu pit'voi vody / Nauka, obrazovanie, tekhnologii: problemy, dostizheniya i perspektivy / Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Moskva, 2023. – S. 134-138.
 11. Aluker N.L., Innovatsionnyi podkhod k opredeleniyu osnovnykh pokazatelei kachestva pit'voi vody i monitoringu kachestva pit'evykh vod, upotrebyaemykh naseleniem / Problemy i perspektivy sovremennoi nauchnoi mysli v Rossii i za rubezhom / Sbornik tezisov III Mezhdunarodnoi konferentsii. – Kemerovo, 2021. – S. 3-5.
 12. Avchinnikov A.V. / Gigienicheskaya otsenka sovremennykh sposobov obezrazhivaniya pit'voi vody / Gigiena i sanitariya. – № 2. – Khabarovsk, 2001. – S. 11-20.
 13. T.I. Drovovozova / Nauchnye osnovy povysheniya kachestva vody / Sankt Peterburg, 2019
 14. Kulakova E.S. / Povyshenie kachestva pit'voi vody i ratsionalizatsiya vodorosleniya kak perspektiva razvitiya sistem vodosnabzheniya sel'skikh poselenii / Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. – № 6. – 2012. – S. 111-115.
 15. Petrochenko A.V. / Innovatsionnye resheniya podgotovki vody v sistemakh sel'skokhozyaistvennogo vodosnabzheniya i kapel'nogo orosheniya / Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. – № 3 (63). – 2016. – S. 142-150.
-
-

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_233
MPHTI 67.09.05

**А. Аскербекова¹, Д. Дюсембинов², А. Жумагулова³, Р. Лукпанов⁴,
М. Конканов⁵, А. Джексембаева⁶**

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

¹E-mail: araj_09.91@mail.ru

²E-mail: dusembinov@mail.ru

³E-mail: zaaskarovna@gmail.com*

⁴E-mail: rauan_82@mail.ru

⁵E-mail: marcon@metrology.kz

⁶E-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОНА
НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ФИБРЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ОТХОДОВ
ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ**

**МИНЕРАЛДЫ ОҚШАУЛАУ ӨНДІРІСІНІҢ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АЛЫНҒАН
МИНЕРАЛДЫ ТАЛШЫҚ НЕГІЗІНДЕ КӨБІК БЕТОН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

**TECHNOLOGY OF FOAM CONCRETE PRODUCTION ON THE BASIS OF MINERAL
FIBER OBTAINED FROM WASTES OF MINERAL INSULATION PRODUCTION**

Аннотация. Пенобетон в настоящее время широко применяется в строительстве благодаря ряду преимуществ, таких как экологическая безопасность, отличные теплоизоляционные характеристики и способность поглощать шум. В данной статье проводится исследование двух видов пенобетона: традиционного и с добавлением минеральной фибры, и предлагается технология получения пенобетона на основе отходов производства утеплителей. Используя стандартные методы испытаний, были определены показатели прочности и плотности готовых изделий. Полученные результаты свидетельствуют о равномерной поровой структуре и прочности блоков по всей поверхности. Это указывает на высокое качество материала и его способность эффективно выдерживать нагрузки. При этом использование минеральной фибры в пенобетоне дополнительно улучшает его характеристики, делая материал еще более прочным и устойчивым к воздействию различных факторов. Таким образом, исследование подтверждает эффективность пенобетона в качестве строительного материала и его потенциал для различных применений в строительной индустрии.

Ключевые слова: пенобетон, прочность, плотность, поры, минеральная фибра, поровая структура, вяжущее.

Аңдатпа. Қазіргі таңда көбік бетон құрылыста экологиялық қауіпсіздік, жоғары жылу оқшаулау өнімділігі және шуды сіңіру қабілеті сияқты бірқатар артықшылықтардың арқасында кеңінен қолданылады. Бұл мақалада көбік бетонының екі түрі зерттеледі: дәстүрлі және минералды талшық қосылған көбік бетондар. Сонымен қатар оқшаулау өндірісінің қалдықтары негізінде көбік бетонын алу технологиясы ұсынылады. Стандартты сынақ әдістерін қолдана отырып, дайын өнімнің беріктігі мен тығыздығының көрсеткіштері анықталды. Нәтижелер бүкіл бетіндегі блоктардың біркелкі кеуекті құрылымы мен беріктігін көрсетеді. Бұл материалдың жоғары сапасын және оның жүктемелерге тиімді төтеп беру қабілетін көрсетеді. Сонымен қатар, көбік бетонында минералды талшықты қолдану оның сипаттамаларын одан әрі жақсартады, бұл материалды одан да берік және әртүрлі факторлардың әсеріне төзімді етеді. Осылайша, зерттеу көбік бетонының құрылыс материалы ретіндегі тиімділігін және оның құрылыс индустриясында әртүрлі қолданбалар үшін өлеуетін растайды.

Түйін сөздер: көбік бетон, беріктік, тығыздық, тері тесігі, минералды талшық, кеуек құрылымы, тұтқыр.

Abstract. Foamed concrete is now widely used in construction due to a number of advantages such as environmental safety, excellent thermal insulation characteristics and the ability to absorb noise. This paper studies two types of foamed concrete: traditional and with the addition of mineral fiber, and proposes a technology for producing foamed concrete based on insulation waste. Using standard test methods, the strength and density indices of the finished products were determined. The obtained results indicate a uniform pore structure and strength of the blocks over the entire surface. This indicates the high quality of the material and its ability to effectively withstand loads. At the same time, the use of mineral fiber in foam concrete further improves its characteristics, making the material even more durable and resistant to various factors. Thus, the study confirms the effectiveness of foamed concrete as a building material and its potential for various applications in the construction industry.

Keywords: foam concrete, strength, density, pores, mineral fiber, pore structure, binder.

Введение. С развитием строительной отрасли большое внимание уделяется новым технологиям производства строительных материалов изделий [1].

Легкие бетоны используются в строительстве с давних времен и являются предшественниками современного бетона [2]. Первые образцы легкого бетона были использованы две тысячи лет назад во времена ранней Римской империи. Ярким примером истории возведения сооружений из бетона является Пантеон в Риме, построенный примерно в 128 г.н.э. с использованием природных легких заполнителей в сцепке с вяжущим компонентом. Изделия из ячеистого легкого бетона востребованы в строительстве зданий и сооружений, в отличие от кирпича и монолитного бетонного блока, благодаря относительно легкому весу и высоким теплотехническим показателям. Блоки из ячеистого бетона примерно на 40 % легче обычного керамического кирпича, а больший размер и гладкая поверхность блоков уменьшают количество как упаковочного, так и штукатурного раствора [3]. В строительстве зданий по монолитной технологии активно применяются газобетонные блоки для заполнения ненесущих стен.

Основным фактором при научных разработках является энергоэффективность, физико-механические свойства разрабатываемых материалов и изделий [4-6]. Одним из энергоэффективных и часто применяемых материалов в строительстве жилых зданий является ячеистый бетон [6-8]. Ячеистые бетоны делятся на пено- и газобетоны, у которых имеются определенные недостатки: как правило, для производства газобетона применяют преобразователь – алюминиевую пудру, что обеспечивает образование поровой структуры посредством химической реакции с выделением газа. Однако при относительной стабильности порообразования материал имеет сообщающиеся поры [7-9]. Также для производства газобетона применяют известково-гипсовые вяжущие или едкие компоненты (едкий натрий) для улучшения химической реакции с большим выделением газа. Пенобетон получают путем получения поровой структуры с применением пены. Полученные таким образом поры замкнутые и не сообщающиеся, что является большим преимуществом в процессе эксплуатации материала. Также в пенобетоне не применяются едкие компоненты, что обеспечивает экологическую составляющую в процессе эксплуатации. Основным негативным фактором пенобетона является нестабильность при распределении пор по скелету изделия [10-13].

Целью статьи является исследование качества пенобетона с применением минеральной фибры, полученной из отходов производства минеральных утеплителей.

Задачи статьи:

1. Изучение технологии применения минеральной фибры, полученной из отходов производства минеральных утеплителей.

2. Методика исследования физико-механических свойств пенобетона и определение качественной структуры скелета пенобетона.

3. Анализ эффективности применения минеральной фибры, полученной из отходов производства минеральных утеплителей.

Методы исследования. Для производства пенобетона с применением минеральной фибры, полученной из отходов производства минеральных утеплителей необходимо учитывать плотность проектируемого пенобетона, а также учитывать процесс подготовки отходов минеральных утеплителей.

При подготовке отходов минеральных утеплителей необходимо учитывать форму отходов [14-16]. Отходы минеральных утеплителей бывают двух видов: отходы с завода по производству минеральных утеплителей и отходы с производства изделий с применением минеральных утеплителей. Отходы с заводов по производству минеральных утеплителей имеют мелкую структуру и могут применяться в производстве пенобетона, отходы производства изделий с применением минеральных утеплителей имеют целостную структуру и требуют механической доработки [17,18].

На рис. 1 представлены фото отходов производства минеральных базальтовых утеплителей и фибры, полученной на его основе.



Рисунок 1. Отходы производства минеральных базальтовых утеплителей (а) и минеральной фибры (б)

Для проведения механической доработки была разработана схема (рис. 2), согласно которой для получения готовой минеральной фибры необходимо отходы производства минерального утеплителя поместить в смеситель принудительного типа, заполнить его водой, затем перемешивать до полного смачивания отходов. В процессе смачивания волокна будут расслаиваться, создавая отдельные небольшие волокна размерами от 10 до 40 мм. Полученные волокна выгружаются из смесителя через задвижку, так как данная технология разгрузки самая оптимальная. Полученные волокна не требуют полного высушивания, достаточно дать готовому сырью отстояться 2 часа для того, чтобы волокна освободились от излишков воды. Готовую минеральную фибру можно применять для производства пенобетона.

Для анализа качества пенобетона на основе минеральной фибры из отходов минеральных утеплителей были приняты два состава: с минеральной фиброй – тип 2 и контрольный образец – тип 1.

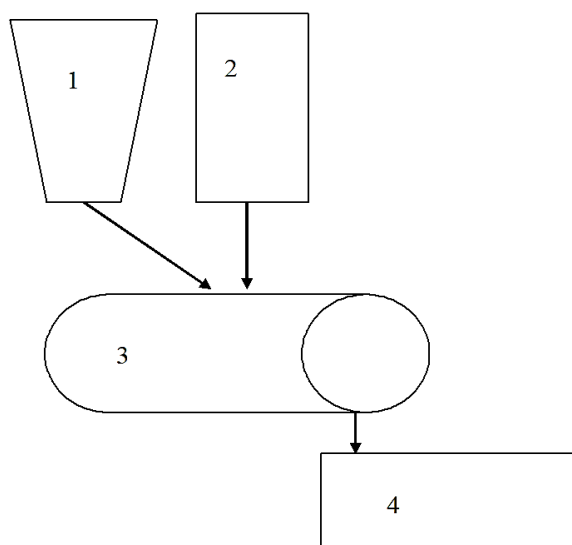


Рисунок 2. Схема механической доработки отходов минеральных утеплителей для получения минеральной фибры: 1 – бункер для отходов минеральных утеплителей; 2 – емкость с водой; 3 – смеситель принудительного типа с задвижкой для разгрузки готового сырья; 4 – склад готовой продукции

В табл. 1 представлен состав пенобетона типа 1 и типа 2.

Таблица 1. Состав пенобетона марки D 600

№	Состав	Применяемые компоненты				
		Цемент, кг	Песок, кг	Вода, л	Пеноконцентрат, л	Минеральная фибра, кг
1	Тип 1	350	240	150	1,5	–
2	Тип 2	300	270	130	1,5	20

Для определения физико-механических свойств подготовленных образцов типа 1 и типа 2 проводились лабораторные испытания плотности, прочности, морозостойкости.

Для определения плотности пенобетона применялась методика согласно ГОСТ 12730.1-2020 [19]. Объем определялся с помощью штангенциркуля, так как образец (куб) имел правильные геометрические формы 100х100х100 мм. Определялась плотность всех образцов, подготовленных к испытанию на физико-механические показатели.

Плотность определялась по формуле:

$$\rho_w = \frac{m}{V} * 1000, \quad (1)$$

где ρ_w – плотность материала; m – масса образца гр.; V – объем образца см³.

Прочность определяли согласно ГОСТ 31359-2007 [20]. Испытания проводили на образцах-кубах 100х100х100 мм.

Морозостойкость определялась согласно ГОСТ 10060-2012 на образцах-кубах 100х100х100 мм, по 12 образцов двух типов [21].

Время заморозки установили на 4 часа при минус 18°С, время оттаивания 4 часа при температуре плюс 18 °С и влажности 95 %. Испытания образцов начинали после 15 циклов замораживания и оттаивания с последующим интервалом 25, 35, 50, 75, 100 циклов.

Относительное снижение прочности R_{rel} в % определяли по формуле:

$$R_{rel} = \left(1 - \frac{\bar{R}_{mtn}}{\bar{R}_{mtk}}\right) * 100, \quad (2)$$

где: R_{mtn} – среднее значение прочности основных образцов после заданных циклов испытаний, МПа; R_{mtk} – среднее значение прочности контрольных образцов, МПа.

Потерю массы Δ_m в % рассчитывали по формуле:

$$\Delta_m = \frac{m_n (1-w_n) - \bar{m}_n (1-\bar{w}_n)}{m_n (1-w_n)} 100, \quad (3)$$

где m_n – среднее значение массы основных образцов после водонасыщения, гр.;

w_n – среднее значение влажности контрольных образцов в частях от единицы после водонасыщения;

\bar{m}_n – среднее значение массы основных образцов после прохождения промежуточного числа циклов, гр.;

\bar{w}_n – среднее значение влажности основных образцов в частях от единицы после прохождения промежуточного числа циклов.

Все образцы были подготовлены путем выпиливания из целого блока размерами 600x300x400 мм. Возраст образцов 28 суток.

Результаты исследований. Испытания на определение плотности пенобетона проводились на всех образцах, подготовленных к испытаниям. Полученные результаты проведенных испытаний на плотность образцов типа 1 и типа 2 представлены в табл. 2.

Таблица 2. Фактическая плотность выпиленных образцов пенобетона (проектируемая марка по плотности D600)

№	Состав	Плотность образцов							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тип 1	550	571	635	698	679	532	581	637
		9	10	11	12	13	14	15	16
		589	578	611	531	624	673	564	672
2	Тип 2	1	2	3	4	5	6	7	8
		598	608	610	604	602	602	593	601
		9	10	11	12	13	14	15	16
		605	609	609	591	612	605	612	588

Согласно результатам, представленным в табл. 2, можно увидеть нестабильную плотность образцов типа 1. Анализ плотности образцов типа 1 показал, что разность между самой низкой плотностью, которая составила 531 кг/м³, и самой высокой плотностью 698 кг/м³ составляет 28 %. Тип 2 показал более качественный результат: разность между самой низкой плотностью, составившей 588 кг/м³, и самой высокой, которая составила 612 кг/м³, составила 4 %. Таким образом, образец типа 2 показал наиболее стабильную прочность материала в отличие от типа 1.

Испытания прочности проводились на 4 образцах каждого типа: образец с самой низкой плотностью относительно D600, образец, максимально достигший проектируемой плотности со знаком минус, образцы с самой высокой плотностью и образцы, максимально достигшие проектируемой плотности со знаком плюс. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

По результатам проведенных испытаний образцов определено, что образцы пенобетона типа 1 имеют среднюю плотность 607 кг/м^3 при средней прочности 2,9 МПа. Однако минимальная прочность составила 2,2 МПа, а самая высокая 3,5 МПа. Такое большое расхождение было вызвано большой разницей в плотности между образцами.

Таблица 3. Прочность пенобетона D600

№	Состав	Показатели прочности МПа каждого образца и его плотность			
		Плотность/ прочность	Плотность/ прочность	Плотность/ прочность	Плотность/ прочность
1	Тип 1	531/2,2	589/2,9	698/3,5	611/3,1
Средняя плотность и прочность					607/2,9
2	Тип 2	588/4,9	598/5	612/5,8	601/5,2
Средняя плотность и прочность					600/5,2

Образцы типа 2 имели небольшой разрыв между самой высокой плотностью и самой низкой, которая составила 588 кг/м^3 и 612 кг/м^3 , и как результат прочность показала стабильное качество при минимальном показателе 4,9 МПа и максимальном 5,8 МПа. Таким образом, пенобетон типа 2 при стабильной плотности показывает стабильную прочность.

Испытания морозостойкости пенобетона типа 1 и типа 2 представлены в табл. 4.

Таблица 4. Морозостойкость пенобетона D600

№	Состав	Прочность при сжатии в МПа					
		F15	F25	F35	F50	F75	F100
1	Тип 1	2,9	3,2	1,9			
2	Тип 2	5,3	5,4	5,4	5,3	4,8	2,5

Согласно проведенным испытаниям, образец типа 1 имеет низкую морозостойкость независимо от плотности, образцы начали терять прочность после 35 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Напротив, у образцов типа 2 потеря прочности наступила после 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания, что показывает высокую эффективность образца типа 2.

Заключение. Результаты проведенных исследований показали эффективность применения минеральной фибры на основе отходов производства минеральных утеплителей. Минеральная фибра имеет высокую адсорбцию, что обеспечивает сохранение структуры пенобетона в момент его формования. Это явление обусловлено тем, что после формовки минеральная фибра ускоряет процесс схватывания путем адсорбции лишней влаги. Вторым положительным фактором, обеспечивающим высокое качество физико-механических свойств, является минеральное происхождение фибры, так как в процессе гидратации цементное вяжущее образует качественные связи между волокнами. Полученная прочность является стабильной, так как снижается хрупкость материала за счет армирующих свойств минеральной фибры. Увеличение морозостойкости также обеспечивается за счет армированного скелета структуры ячеек пенобетона.

Таким образом, предлагаемая технология производства пенобетона с применением минеральной фибры является эффективной как с точки зрения качества материала, так и с точки зрения экологии.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность научно-производственному центру «ENU-Lab» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева за предоставленную лабораторную базу для проведения экспериментальных работ.

Данное исследование финансируется в рамках программно-целевого финансирования Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882278 «Создание строительно-технического инжинирингового центра по оказанию полного цикла аккредитованных услуг строительного, дорожно-строительного сектора Республики Казахстан»).

Список литературы

1. Токаев К.К. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана». 2023.
2. Бойко В. et al. Исторические очерки строительства дорог и мостов. Litres, 2022. – 227 p.
3. Vijayan D.S. et al. Evaluation of the impact of thermal performance on various building bricks and blocks: A review // *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 23. – P. 101577.
4. Оценка эффективности современных композиционных фасадных систем с тонкими штукатурными слоями и утеплителем из минеральной ваты [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-sovremennyh-kompozitsionnyh-fasadnyh-sistem-s-tonkimi-shtukaturnymi-sloyami-i-uteplitelem-iz-mineralnoy-vaty/viewer> (accessed: 20.03.2024).
5. I.G'.Ahmedov, I.I.Umarov. INSULATION COMPOSITE PLASTER FOR ENERGY-SAVING CONSTRUCTION: 1 // *Journal of new century innovations*. 2023. Vol. 43. – № 1. – P. 281-293.
6. Hafez F.S. et al. Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research // *Energy Strategy Reviews*. 2023. Vol. 45. P. 101013.
7. Shi M. et al. Mix proportion optimization and early strength development in modified foam concrete: an experimental study // *Mater. Res. Express*. IOP Publishing, 2023. Vol. 10, № 6. P. 065507.
8. Baronins J. et al. The Effect of Raw Materials and Mechanical Activation Stages on Properties of Foamed Concrete: SSRN Scholarly Paper 4728421. Rochester, NY, 2024.
9. Zhang X. et al. Effects of different control methods on the mechanical and thermal properties of ultra-light foamed concrete // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262. – P. 120082.
10. Экологичность конструкционных строительных материалов [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologichnost-konstruksionnyh-stroitelnyh-materialov/viewer> (accessed: 20.03.2024).
11. Dhasindrakrishna K. et al. Collapse of fresh foam concrete: Mechanisms and influencing parameters // *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 122. – P. 104151.
12. Zhao Z., Zhou X.-P. Digital analysis for pore-scale compressive strength and permeability of foamed cement with realistic microstructures by X-ray- μ CT imaging // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 346. P. 128456.
13. Jin L. et al. Characterizing the foam-shell microstructure of industrial ultra-light foamed concrete cast under different temperatures // *Materials Characterization*. 2021. Vol. 173. – P. 110938.
14. Yap Z.S. et al. Waste Mineral Wool and Its Opportunities – A Review: 19 // *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021. Vol. 14, № 19. – P. 5777.
15. Yang S. et al. A sustainable foamed material preparation via ettringite-targeted mineral transition of industrial solid wastes // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 375. – P. 134029.
16. dos Reis G.S. et al. Fabrication, microstructure, and properties of fired clay bricks using construction and demolition waste sludge as the main additive // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 258. P. 120733.
17. Неорганические термоденосиликатные материалы на основе минерального и техногенного сырья Кольского полуострова [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neorganicheskie-termopenosilikatnye-materialy-na-osnove-mineralnogo-i-tehnogennogo-syrya-kolskogo-poluostrova/viewer> (accessed: 20.03.2024).
18. Цховребов Э.С. О мерах повышения уровня ресурсосбережения с учётом снижения экологической опасности отходов в строительстве и городском хозяйстве: 1(21) // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии»*. 2022. № 1(21). – P. 83-96.
19. ГОСТ 12730.1-2020 «Бетоны. Методы определения плотности» (с поправкой) [Electronic resource]. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35437080 (accessed: 20.03.2024).
20. ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия» [Electronic resource] // Информационная система ПАРАГРАФ. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30397436 (accessed: 20.03.2024).

21. ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» (поправка) (изм. 1) [Electronic resource] // Информационная система ПАРАГРАФ. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31521910 (accessed: 20.03.2024).

References

1. Tokaev K.K. Poslanie Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazakhstana «Ehkonomicheskij kurs Spravedlivogo KazakhstanA». 2023.
 2. Bojko V. et al. Istoricheskie ocherki stroitel'stva dorog i mostov. Litres, 2022. – 227 p.
 3. Vijayan D.S. et al. Evaluation of the impact of thermal performance on various building bricks and blocks: A review // *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 23. P. 101577.
 4. Ocenka ehffektivnosti sovremennykh kompozicionnykh fasadnykh sistem s tonkimi shtukaturnymi sloyami i uteplitelem iz mineral'noj vaty [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ehffektivnosti-sovremennykh-kompozitsionnykh-fasadnykh-sistem-s-tonkimi-shtukaturnymi-sloyami-i-uteplitelem-iz-mineralnoy-vaty/viewer> (accessed: 20.03.2024).
 5. I.G.Ahmedov, I.I.Umarov. INSULATION COMPOSITE PLASTER FOR ENERGY-SAVING CONSTRUCTION: 1 // *Journal of new century innovations*. 2023. Vol. 43, № 1. P. 281–293.
 6. Hafez F.S. et al. Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research // *Energy Strategy Reviews*. 2023. Vol. 45. P. 101013.
 7. Shi M. et al. Mix proportion optimization and early strength development in modified foam concrete: an experimental study // *Mater. Res. Express*. IOP Publishing, 2023. Vol. 10, № 6. P. 065507.
 8. Baronins J. et al. The Effect of Raw Materials and Mechanical Activation Stages on Properties of Foamed Concrete: SSRN Scholarly Paper 4728421. Rochester, NY, 2024.
 9. Zhang X. et al. Effects of different control methods on the mechanical and thermal properties of ultra-light foamed concrete // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262. P. 120082.
 10. Ehkologichnost' konstrukcionnykh stroitel'nykh materialov [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ehkologichnost-konstruktsionnykh-stroitelnykh-materialov/viewer> (accessed: 20.03.2024).
 11. Dhasindrakrishna K. et al. Collapse of fresh foam concrete: Mechanisms and influencing parameters // *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 122. P. 104151.
 12. Zhao Z., Zhou X.-P. Digital analysis for pore-scale compressive strength and permeability of foamed cement with realistic microstructures by X-ray- μ CT imaging // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 346. P. 128456.
 13. Jin L. et al. Characterizing the foam-shell microstructure of industrial ultra-light foamed concrete cast under different temperatures // *Materials Characterization*. 2021. Vol. 173. P. 110938.
 14. Yap Z.S. et al. Waste Mineral Wool and Its Opportunities – A Review: 19 // *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021. Vol. 14, № 19. P. 5777.
 15. Yang S. et al. A sustainable foamed material preparation via ettringite-targeted mineral transition of industrial solid wastes // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 375. P. 134029.
 16. dos Reis G.S. et al. Fabrication, microstructure, and properties of fired clay bricks using construction and demolition waste sludge as the main additive // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 258. P. 120733.
 17. Neorganicheskie termopenosilikatnye materialy na osnove mineral'nogo i tekhnogennogo syr'ya Kol'skogo poluostrova [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neorganicheskie-termopenosilikatnye-materialy-na-osnove-mineralnogo-i-tehnogennogo-syr'ya-kolskogo-poluostrova/viewer> (accessed: 20.03.2024).
 18. Kkhovrebov E.H.S. O merakh povysheniya urovnya resursosberezheniya s uchotom snizheniya ehkologicheskoy opasnosti otkhodov v stroitel'stve i gorodskom khozyajstve: 1(21) // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya «Materialy. Konstrukcii. Tekhnologii»*. 2022. № 1(21). P. 83–96.
 19. ГОСТ 12730.1-2020 «Бетоны. Методы определения плотности» (с поправкой) [Electronic resource]. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35437080 (accessed: 20.03.2024).
 20. ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия» [Electronic resource] // Информационная система ПАРАГРАФ. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30397436 (accessed: 20.03.2024).
 21. ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» (поправка) (изм. 1) [Electronic resource] // Информационная система ПАРАГРАФ. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31521910 (accessed: 20.03.2024).
-
-

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_241
MFTAA 67.03.03

С.Б. Ахажанов¹, Б.М. Нурланова¹, Л.К. Абеуова¹, А.Н. Мергенбекова²

¹Қарағанды Бекетов университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

E-mail: stjg@mail.ru*

E-mail: b.nurlanova@mail.ru

E-mail: alk83@mail.ru

²Қарағанды медицина университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

E-mail: asel_45520@mail.ru

ЖҰҚА ИЗОТРОПТЫ ПЛАСТИНАЛАРДЫҢ ИЛУІН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ИЗГИБА ТОНКИХ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН

BENDING ANALYSIS OF THIN ISOTROPIC PLATES

Abstract. In the field of modern construction, thin isotropic plates are widely used. The development of calculation methods and mathematical models for thin isotropic plates of rectangular shape is an important issue. The article examines the bending of a rectangular thin isotropic plate. The method of separation of variables is employed to derive the plate calculation theory. New formulas for the function of deflection and internal forces of the plate are determined. A simplified version of the classical theory is presented, defining the solution to the plate bending problem using simple polynomials. The values of the deflection function and internal forces of a rectangular thin isotropic plate are presented in the form of tables and diagrams. The obtained calculation results are compared with Navier's method and the finite element method. The results obtained completely coincide with the results obtained by other methods and thereby confirm the correctness of the proposed version of the theory.

Keywords: Thin isotropic plate, method of separation of variables, Navier's solution, deflection function, bending moment, transverse force, torque.

Аңдатпа. Қазіргі заманғы құрылыс саласында жұқа изотропты пластиналар кеңінен қолданылады. Тікбұрышты жұқа изотропты пластиналарды есептеу әдістері мен математикалық моделдерін құру маңызды мәселе болып табылады. Мақалада тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның иілуі қарастырылған. Пластинаның есептеу теориясын алу үшін айнымалыларды бөлу әдісі пайдаланылған. Пластинаның майысу функциясы мен ішкі күштерінің жаңа формулалары анықталған. Пластинаны иілуінің шешімін қарапайым полиномдар арқылы анықтайтын классикалық теорияның жеңілдетілген нұсқасы ұсынылған. Тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның майысу функциясының және ішкі күштерінің мәндері кестелер мен эпюралар бойынша көрсетілген. Есептеу нәтижелері Навье және ақырлы элементтер әдістерімен салыстырылған. Алынған нәтижелер басқа әдістермен алынған нәтижелермен толығымен сәйкес келеді және ұсынылған теорияның нұсқасының дұрыстығын растайды.

Түйін сөздер: Жұқа изотропты пластина, айнымалыларды бөлу әдісі, Навье шешімі, майысу функциясы, иілу моменті, көлденең күш, бұралу моменті.

Аннотация. В сфере современного строительства широко используются тонкие изотропные пластины. Важным вопросом является разработка методов расчета и математических моделей тонких изотропных пластин прямоугольной формы. В статье рассмотрен изгиб прямоугольной тонкой изотропной пластины. Для вывода теории расчета пластин использован метод разделения переменных. Определены новые формулы функции прогиба и внутренних сил пластины. Представлена упрощенная версия классической теории, определяющая решение задачи изгиба пластины с помощью простых полиномов. Значения функции прогиба и внутренних сил прямоугольной тонкой изотропной пластины представлены в виде таблиц и эпюр. Результаты расчета сравниваются с методом Навье и методом конечных элементов. Полученные результаты полностью совпадают с результатами,

полученными другими методами и тем самым подтверждают правильность предложенного варианта теории.

Ключевые слова: Тонкая изотропная пластина, метод разделения переменных, решение Навье, функция прогиба, изгибающий момент, поперечная сила, крутящий момент.

Кіріспе. Қазіргі заманғы өнеркәсіпте, сондай-ақ құрылыста, иілуде жұмыс істейтін жұқа изотропты пластиналар түріндегі конструкцияның элементтері кеңінен қолданылады. Берілген жүктемелердің әсерінен мұндай элементтерді беріктікке, орнықтылыққа және тербеліс әсеріне есептеу конструкцияны жобалау процесінде қажетті кезеңдердің бірі болып саналады. Иілу деформациясына ұшырайтын жұқа қабырғалы конструкциялардың ерекшелігі ретінде қалыңдығы бойынша бірқалыпсыз таралған үлкен кернеулердің пайда болуын айтуға болады, бұл қолданылатын математикалық модельдер мен есептеу әдістерінің дәлдігіне жоғары талаптарды қояды. Осыған байланысты қарапайым геометриялық пішінді пластиналардың иілу есептерін шешудің аналитикалық әдістерін зерттеу мәселесі өзекті болады, яғни ол жаңа модельдерді әзірлеуде және есептеу үлгілерін құруда маңызды болып табылады.

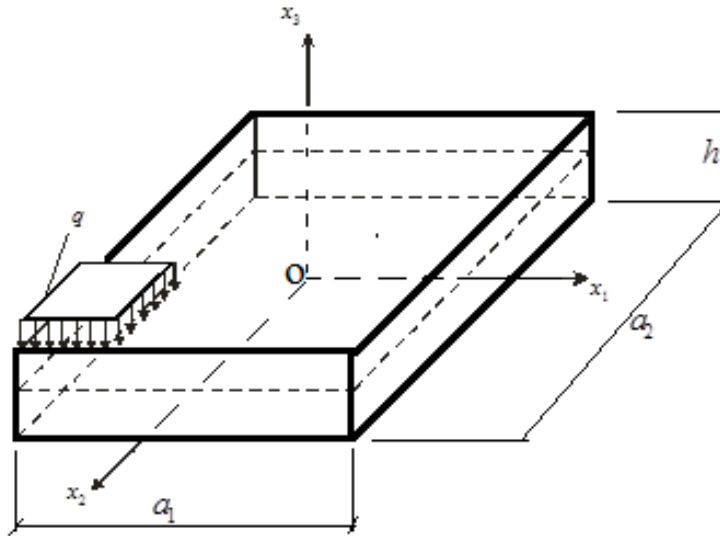
Изотропты пластинаның иілуінің классикалық теориясы Г. Кирхгоф гипотезаларын қолдану арқылы жасалады. Бұл теорияда жылжулар мен деформациялар, кернеулік күй, Гук заңдарының өрнектері және тепе-теңдік дифференциалдық теңдеулердің арнайы шешімдері қарастырылады.

Изотропты пластинаның иілуін есептеу үшін аналитикалық әдістер мен сандық әдістер қолданылады. Аналитикалық әдістер қатарына Ритц-Тимошенко, Бубнов-Галеркин, Канторович-Власов, Навье, Леви т.б. жатқызуға болады. Бұл әдістер бойынша пластинаның белгісіз майысу функциясының шешімі қатар түрінде ізделінеді.

Классикалық және нақтыланған пластиналар теориясымен көптеген зерттеушілер әртүрлі жағдайда теориялар құрып, талдаулар жасап келеді. Классикалық пластиналар теориясында ортаңғы беттегі нормаль сызықтық деформацияға дейін және одан кейін де өзгеріссіз қалады деген болжамға негізделген. Классикалық пластиналар теориясы негізінен жұқа пластиналарды есептеуде қолданылады [1,2]. Пластинаның иілу сипаттамаларынан ұзындығы мен еніне қарағанда қалыңдығының әсері көп болатындығын көруге болады [3,4]. Зерттеушілер қалың пластиналарды есептеуде ығысу деформациясының әсері ескерілмегендіктен, классикалық теорияның жарамсыз екенін анықтады [5-8]. Бұл кемшілік пластинаның нақтыланған теориясының дамуына әкелді [9-11]. Сонымен қатар, әртүрлі бекітілген тікбұрышты пластинаны ақырлы элементтер әдісімен есептеу келесі жұмыстарда кездеседі [12-15].

Тікбұрышты жұқа изотропты пластинаны есептеуде классикалық теорияның көптеген кемшіліктері болғандықтан, мақалада есептеу әдістерін жетілдіру және нақтыланған теорияларды құру ұсынылады. Бұл жұмыста тікбұрышты жұқа изотропты пластинаны есептеу үшін айнымалыларды бөлу әдісі қолданылады. Пластинаның майысу функциясы арқалықтың майысу функцияларының көбейтіндісі түрінде қабылданады. Бұл ұсынылған әдіс арқылы пластиналардың кернеулік-деформациялық күйін оңай түрде анықтауға болады.

Материалдар және зерттеу әдістер. Тікбұрышты жұқа изотропты пластинаны координаттық жүйеде қарастырайық (1-сурет). Координаттық жүйеде жұқа изотропты пластина былайша қабылданады: $-z_1 \leq x_1 \leq z_1$, $-z_2 \leq x_2 \leq z_2$, $-z_3 \leq x_3 \leq z_3$, $z_1 = \frac{a_1}{2}$, $z_2 = \frac{a_2}{2}$, $z_3 = \frac{h}{2}$, мұндағы a_1, a_2, h – пластинаның x_1, x_2, x_3 координаттық өстері бойындағы өлшемдері. Бұл пластинаға әсер ететін сыртқы көлденең күштің қарқындылығы $q(x_1, x_2)$ болып табылады.



1-сурет. Тікбұрышты жұқа изотропты пластина

Осы пластинаны есептеу үшін Кирхгоф-Лявтың классикалық теориясын қолданайық. Классикалық теорияны жүзеге асыру келесі әдісті пайдалану арқылы жүргізіледі:

– Майысу функциясы анықталады.

$$W(x_1, x_2) = W_0 \cdot f(x, y), \quad f(x, y) = X(x) \cdot Y(y), \quad x = \frac{x_1}{a_1}, \quad y = \frac{x_2}{a_2}, \quad (1)$$

мұнда W_0 – ең үлкен майысу, $f(x, y)$ – пластинаның өлшемсіз майысу функциясы, $X(x)$, $Y(y)$ – пластинаның талшықтарының (арқалықтардың) шекаралық шарттарды қанағаттандыратын белгілі өлшемсіз функциялары, (x, y) – өлшемсіз координаталар.

– Бұрылу бұрыштары табылады.

$$\theta_1 = -\theta_1^0 \frac{\partial f}{\partial x}, \quad \theta_1^0 = \frac{W_0}{a_1}, \quad \theta_2 = -\theta_2^0 \frac{\partial f}{\partial y}, \quad \theta_2^0 = \frac{W_0}{a_2}, \quad (2)$$

мұнда θ_1, θ_2 – пластинаның нормалының x_1, x_2 – координаттық өстер бойындағы бұрылу бұрыштары.

– Ішкі күштер анықталады.

$$\begin{aligned} M_1 &= -M_1^0 \cdot m_1(x, y), \quad M_1^0 = \frac{D \cdot W_0}{a_1^2}, \quad m_1(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \nu \cdot m^2 \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, \\ M_2 &= -M_2^0 \cdot m_2(x, y), \quad M_2^0 = \frac{D \cdot W_0}{a_2^2}, \quad m_2(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\nu}{m^2} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \\ M_{12} &= -M_{12}^0 \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}, \quad M_{12}^0 = \frac{D(1-\nu) \cdot W_0}{a_1 a_2}, \quad m^2 = \frac{a_1^2}{a_2^2}, \\ Q_1 &= -Q_1^0 \cdot q_1(x, y), \quad Q_1^0 = \frac{D \cdot W_0}{a_1^3}, \quad q_1(x, y) = \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + m^2 \frac{\partial^3 f}{\partial x \partial y^2}, \\ Q_2 &= -Q_2^0 \cdot q_2(x, y), \quad Q_2^0 = \frac{D \cdot W_0}{a_2^3}, \quad q_2(x, y) = \frac{\partial^3 f}{\partial y^3} + \frac{1}{m^2} \cdot \frac{\partial^3 f}{\partial y \partial x^2}, \\ \bar{M}_{12} &= \frac{M_{12}^0}{k^2 a_1^2} \frac{\partial q_1}{\partial y} = \frac{M_{12}^0}{k^2 a_2^2} \frac{\partial q_2}{\partial x}, \end{aligned} \quad (3)$$

мұнда M_1, M_2 – x_1, x_2 координаттық өстері бойындағы иілу моменттері, M_{12} – (классикалық теория), \bar{M}_{12} – (ұсынылып отырған жаңа теория) пластинаның шеттеріндегі бұралу моменттері, Q_1, Q_2 – координаттық өстерге x_1, x_2 – перпендикуляр көлденең күштер, m^2 – пластинаның өлшемдерінің квадратының қатынасы, D – цилиндрлік қатандық, ν – Пуассон коэффициенті.

Сыртқы көлденең күштің қарқындылығы ішкі көлденең күштің қарқындылығы арқылы анықталады.

$$\begin{aligned} D\nabla^2\nabla^2W &= q(x, y), \\ P_0 \cdot S(x, y)q &= (x, y), \\ P_0 &= \frac{D \cdot W_0}{a_1^2 a_2^2}, \quad S(x, y) = \frac{1}{m^2} \cdot \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 f}{\partial x^2 \partial y^2} + m^2 \frac{\partial^4 f}{\partial y^4}, \end{aligned} \quad (4)$$

мұнда $q(x, y)$ – пластинаға x_3 өсі бойымен әсер ететін сыртқы жайылған жүктеменің қарқындылығы, P_0 – майысу параметрі, $S(x, y)$ – пластинаның ішкі күштерінің қарқындылығы.

(4) теңдеуді түрлендіру арқылы тепе-теңдік теңдеуінің шарттары алынады.

$$\begin{aligned} \text{a) } P_0^1 &= \frac{q(x_0, y_0)}{S(x_0, y_0)}, \\ \text{b) } P_0^2 &= \frac{\int_{-z}^z \int_{-z}^z q(x, y) dx dy}{\int_{-z}^z \int_{-z}^z S(x, y) dx dy}, \\ \text{c) } P_0^3 &= \frac{\int_{-z}^z \int_{-z}^z q(x, y) \cdot f(x, y) dx dy}{\int_{-z}^z \int_{-z}^z S(x, y) \cdot f(x, y) dx dy}, \quad z = \frac{1}{2}, \end{aligned} \quad (5)$$

мұнда x_0, y_0 – пластинаның таңдап алынған нүктесінің координаталары, а) сыртқы және ішкі жүктемелердің теңдігі, б) сыртқы және ішкі жүктемелердің тең әсерлі күштерінің теңдігі, с) осы жүктемелердің жұмыстарының теңдігі.

Пластинаның деформациялық күйінің параметрі анықталады.

$$\begin{aligned} \text{a) } k^2 a_1^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \Big|_{y=y_0}^{x=x_0} &= - \frac{\partial q_1}{\partial y} \Big|_{y=y_0}^{x=x_0}, \\ \text{b) } \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + m^2 \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} &= -k^2 a_1^2 f(x, y), \\ \text{c) } k^2 a_1^2 &= \frac{X''(x_0)}{X(x_0)} + m^2 \frac{Y''(y_0)}{Y(y_0)}, \end{aligned} \quad (6)$$

мұнда а) нүктедегі бұралу моменттерінің теңдігі ($M_{12} = \bar{M}_{12}$), б) мембрананың еркін тербеліс теңдігінің меншікті саны түрінде, с) арқалықтық майысу функцияларын қолдану арқылы.

Пластинаның шеттері мынандай шекаралық шарттар орындалады:

а) пластинаның шеттері $x_1 = \pm z_1$ топсалы тірелген болғанда

$$W = W_0 \cdot f(\pm z, y) = 0, \quad M_1 = -M_1^0 \cdot m(\pm z, y) = 0, \quad \theta_2 = 0 \quad (7)$$

б) пластинаның шеттері $x_2 = \pm z_2$ бекітілген болғанда

$$W = W_0 \cdot f(x, \pm z) = 0, \quad \theta_1 = 0, \quad \theta_2 = 0 \quad (8)$$

в) пластинаның шеттері $x_1 = \pm z_1$ бос болғанда (байланыс болмаса)

$$Q_1 = -Q_1^0 \cdot q_1(\pm z, y) = 0, \quad M_1 = 0, \quad \bar{M}_{12} = \frac{M_{12}^0}{k^2 a_1^2} \frac{\partial q_1}{\partial y} \quad (9)$$

(9)-шы шарттағы бұралу моменті (\bar{M}_{12}) көлденең күш (Q_1) өрнегін қолдану арқылы анықталады.

Ұсынылған айнымалыларды бөлу әдісі бойынша кез келген пластина келесі алгоритм бойынша есептеледі:

1) Координаттық жүйе және есептеу үлгісі (пластина, жақтардағы байланыстар, сыртқы күштер) таңдалынып алынады;

2) Пластинаның талшықтарының (көлденең, тік) өлшемсіз майысу функциялары $X(x), Y(y)$ арқалықтардың нормаланған майысу функциялары түрінде қабылданады;

3) Пластинаның өлшемсіз майысу функциясы (1) табылады да, оның туындылары анықталады;

4) Ішкі күштердің таралу функциялары (3) табылады;

- 5) Пластинаның шеттеріндегі шекаралық шарттардың (7)-(9) орындалуы тексеріледі.
 6) Үлкен майысу параметрі P_0 (5) бойынша табылып, бұрылу бұрыштарының және ішкі күштердің көбейткіштері анықталады;
 7) Бұрылу моментінің параметрі (6) анықталып, оның өзгеру заңдылығы табылады;
 8) Пластинаның шеттеріндегі көлденең күштердің (тік реакциялардың) тең әсерлі күштері анықталады;
 9) Пластинаның тепе-теңдігі және иілу есебінің дұрыстығы тексеріледі;
 10) Пластинаның деформациялық және кернеулік күйлерін сипаттайтын эпюралар тұрғызылып, олар бойынша талдау және қорытынды жасалынады.

Шеттері әртүрлі бекітілген тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның деформациялық және кернеулік күйлерін анықтайтын формулалар (1)-(9) болып табылады.

Осы алгоритм бойынша шеттері топсалы бекітілген тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның иілуінің есебін шығарайық.

Нәтижелері және оларды талқылау. Шеттері топсалы бекітілген тікбұрышты жұқа изотропты пластинаға тұрақты таралған күш $q(x_1, x_2) = q_0$ түсірілген (1-сурет). Пластинаның деформациялық және кернеулік күйін анықтау керек.

Пластинаның барлық шеттері топсалы тіректер арқылы бекітілген болғандықтан, оның талшықтарының өлшемсіз майысу функцияларын белгілі арқалықтардың майысу функциялары түрінде аламыз.

$$X(x) = 1 - \frac{24}{5}x^2 + \frac{16}{5}x^4, \quad Y(y) = 1 - \frac{24}{5}y^2 + \frac{16}{5}y^4 \quad (10)$$

Осы (10) формуланы қолданып, тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның майысу функциясы (1) мен ішкі күштерінің (3) нәтижелері кестелер мен графиктер түрінде анықталды.

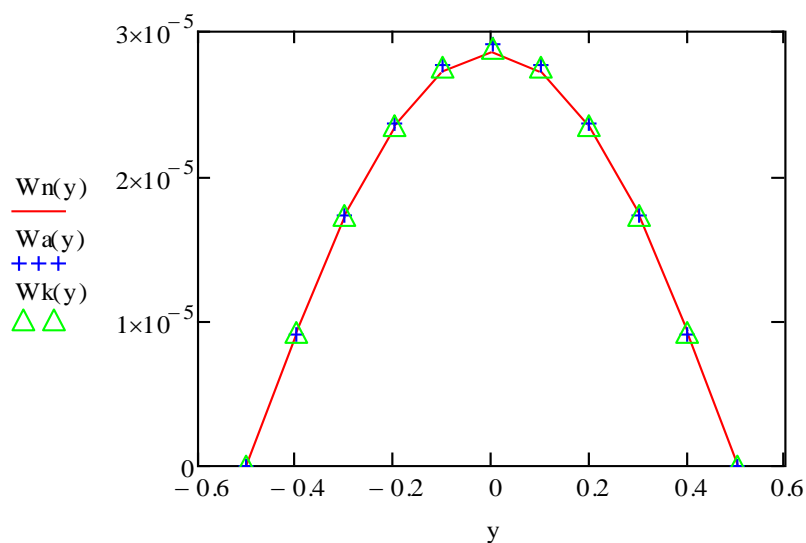
1-кесте. Топсалы бекітілген пластинаның майысу функциясының ең үлкен мәндері

a_2/a_1	a_1/h	Әдіс	W_{\max}	%	a_2/a_1	a_1/h	Әдіс	W_{\max}	%
1	5	Навьё	0,0000286	1,8	2	5	Навьё	0,0000712	4,6
		Ақырлы элементтер	0,0000288				Ақырлы элементтер	0,0000728	
		Ұсынылған	0,0000290				Ұсынылған	0,0000745	
	10	Навьё	0,0002285	1,8		10	Навьё	0,0005695	4,6
		Ақырлы элементтер	0,0002310				Ақырлы элементтер	0,0005845	
		Ұсынылған	0,0002327				Ұсынылған	0,0005956	
	100	Навьё	0,2284890	1,8		100	Навьё	0,5695823	4,6
		Ақырлы элементтер	0,2299445				Ақырлы элементтер	0,5889811	
		Ұсынылған	0,2327075				Ұсынылған	0,5956077	

2-кесте. Топсалы бекітілген пластинаның ішкі күштерінің ең үлкен мәндері

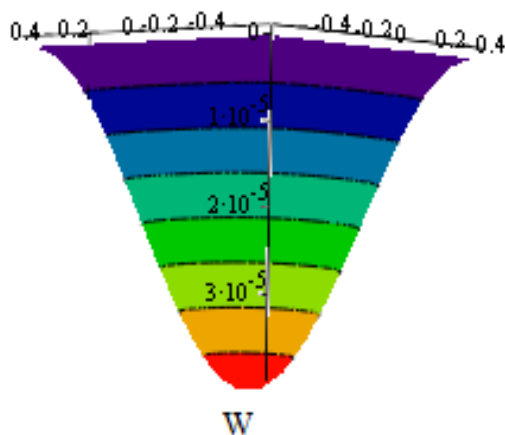
a_2/a_1	a_1/h	Әдіс	$M_{1\max}$	$M_{2\max}$	$Q_{1\max}$	$Q_{2\max}$	$M_{12\max}$
1	10	Навьё	0,0459	0,0459	0,3120	0,3120	0,0345
		Ақырлы элементтер	0,0482	0,0482	0,3054	0,3054	0,0368
		Ұсынылған	0,0496	0,0496	0,2860	0,2860	0,0386
		%	8,0	8,0	8,3	8,3	11,8

1-кестеде тікбұрышты пластинаның шеттерінің өлшемдерінің қатынасы және бір жағының өлшемінің қалыңдығына қатынасы әртүрлі болған жағдайдағы ең үлкен майысу функциясының Навье, ақырлы элементтер мен ұсынылған айнымалыларды бөлу әдісі бойынша табылған мәндері көрсетілген. 2-кестеде тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның иілу моменттері, көлденең күштері және бұралу моментінің ең үлкен мәндері анықталған. 2-суретте тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның бір талшығының майысу функциясының максимал мәндері Навье, ақырлы элементтер әдісі және айнымалыларды бөлу әдісі арқылы табылып, мәндері салыстырылған. 3-6 суреттерде ұсынылған әдіс бойынша тікбұрышты жұқа изотропты пластинаның майысу функциясы мен ішкі күштерінің эпюралары тұрғызылған. Кестелер және суреттерден айнымалыларды бөлу әдісінің басқа әдістермен салыстырғандағы майысу функциясы мен ішкі күштерінің мәндерінің алшақтығы аз болатындығын көруге болады.

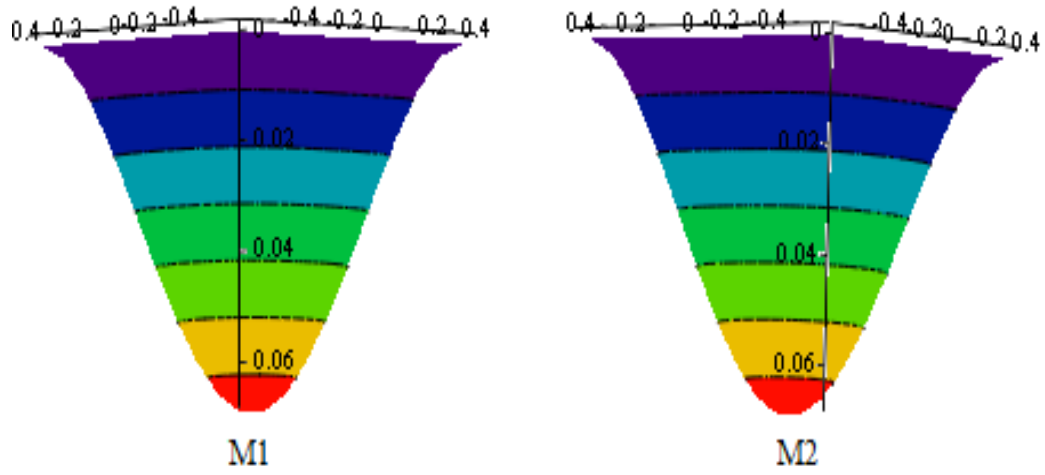


2-сурет. Ең үлкен майысу функциясының эпюрасы

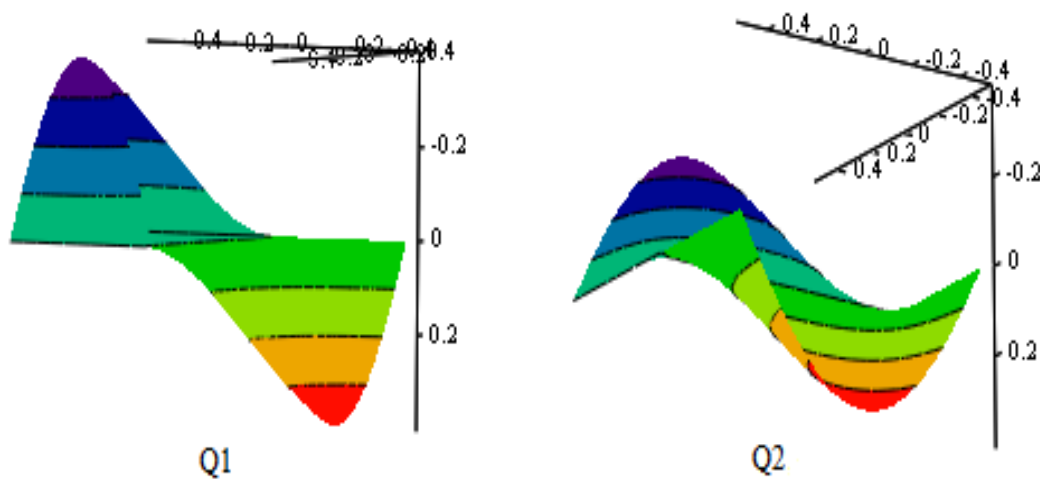
мұндағы W_n – Навье әдісі, W_k – ақырлы элементтер әдісі, W_a – айнымалыларды бөлу әдісімен табылған ең үлкен майысу функциясының мәндері.



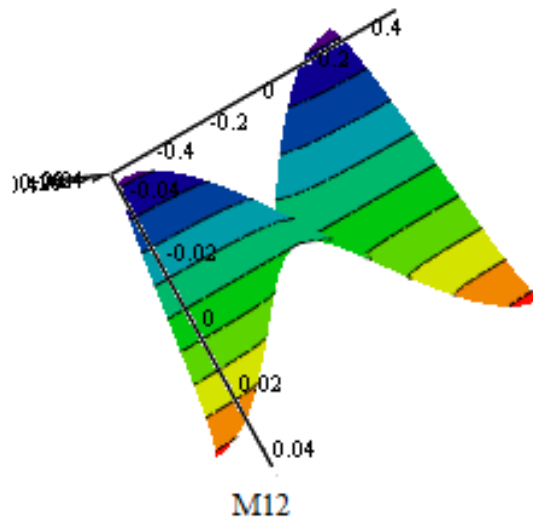
3-сурет. Майысу функциясының эпюрасы



4-сурет. Иілу моменттерінің эпюрасы



5-сурет. Көлденең күштердің эпюрасы



6-сурет. Бұралу моментінің эпюрасы

Қорытынды. Алынған нәтижелерді саралай келе келесі қорытындыларға келуге болады:

1. Айнымалыларды бөлу әдісі бойынша басқа аналитикалық және сандық әдістерден қарағанда пластинаның иілу есебінің шешімін қарапайым полиномдар арқылы алып, жалпыланған қатандығы бар арқалықтың иілу есебіне келтіруге болатындығы анықталды.

2. Мысал түрінде шеттері топсалы тірелген тікбұрышты изотропты пластинаның иілу есебі шығарылды.

3. Есептеу нәтижелері кестелер мен эпюралар түрінде көрсетіліп, аналитикалық Навье әдісі және ақырлы элементтер әдісімен салыстырылды.

4. Салыстыру барысында пластинаның майысу функциясы мен ішкі күштерінің мәндерінде алшақтық өте аз болғандықтан, ұсынылған әдіс арқылы алынған нәтижелердің дұрыстығын көруге болады.

Ұсынылып отырған айнымалыларды бөлу әдісімен кез келген түрде бекітілген тікбұрышты изотропты пластинаның кернеулік-деформациялық күйі қарапайым түрде анықталады.

References

1. Mathieu G.O., Tyekolo D., Belay S. The nonlinear bending of simply supported elastic plate // Rudn Journal of Engineering Researches. – 2017. – 18(1). – P. 58-69. DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-1-58-69.
2. Fogang V. Bending Analysis of Isotropic Rectangular Kirchhoff Plates Subjected to a Thermal Gradient Using the Fourier Transform Method // Preprints. – 2021. – 2021060479. DOI: 10.20944/preprints202106.0479.v1
3. Mama B.O., Oguaghamba O.A., Ike C.C. Single Finite Fourier Sine Integral Transform Method for the Flexural Analysis of Rectangular Kirchhoff Plate with Opposite Edges Simply Supported, Other Edges Clamped for the Case of Triangular Load Distribution // IJERT. – 2020. – 13(7). – P. 1802-1813. DOI: 10.37624/IJERT/13.7.2020.1802-1813
4. Mama B.O., Nwoji C.U., Ike C.C., Onah H.N. Analysis of simply supported rectangular Kirchhoff plates by the finite Fourier sine transform method // International Journal of Advanced Engineering Research and Science. – 2017. – 4(3). – P. 285–291. DOI: 10.22161/ijaers.4.3.44
5. Ezeh J.C., Ibearugbulem O.M., Ettu L.O., Gwarah L.S., Onyechere I.C. Application of shear deformation theory for analysis of CCCS and SSFS rectangular isotropic thick plates // Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE). – 2018. – 15(5). – P. 33 – 42. DOI: 10.9790/1684-1505023342
6. Khoma I.Y., Proshchenko T.M. The Stress State of a Transversely Isotropic Plate with a Curvilinear Hole for a Given Splitting Force on the Boundary Surface // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55. – P. 434–448. DOI: 10.1007/s10778-019-00963-1
7. Onodagu P.D., Aginam C.H., Uzodinma C.F. Flexural Analysis of Thick Isotropic Rectangular Plates Using Orthogonal Polynomial Displacement Functions // European Journal of Engineering and Technology Research. – 2021. – 7(6). – P. 144 – 152. DOI: 10.24018/ejers.2021.6.7.2690
8. Onyechere C., Ibearugbulem O.M., Anya U.C., Anyaogu L., Awodiji C.T.G. Free-vibration study of thick rectangular plates using polynomial displacement functions // Saudi Journal of Engineering and Technology. – 2020. – 5(2). – P. 73-80. DOI: 10.36348/sjet.2020.v05i02.006
9. Enem J.I. Nonlinear Analysis of Isotropic Rectangular Thin Plates Using Ritz Method // Saudi Journal of Engineering and Technology. – 2022. – 7(8). – P. 502-512. DOI: 10.36348/sjet.2022.v07i08.011
10. Onyeka F.C., Edozie O.T. Analytical Solution of Thick Rectangular Plate with Clamped and Free Support Boundary Condition Using Polynomial Shear Deformation Theory // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. – 2021. – 6(1). – P. 1427–1439. DOI: 10.25046/aj0601162
11. Ibearugbulem M.O., Onyeka F.C. Moment and Stress Analysis Solutions of Clamped Rectangular Thick Plate // European Journal of Engineering Research and Science. – 2020. – 5(4). – P. 531-534. DOI: 10.24018/ejers.2020.5.4.1898
12. Sobamowo M.G., Agbelusi C.T., Oladosu S.A., et al. Finite element analysis of vibration of an isotropic thin rectangular plate subjected to different boundary conditions under point and uniformly distributed loadings. – Aeron Aero Open Access J. – 2022. – 6(4). – P. 196-205. DOI: 10.15406/aaaj.2022.06.00162

13. Delyavskyy M., Rosiński K. The New Approach to Analysis of Thin Isotropic Symmetrical Plates // Appl. Sci. – 2020. – 10(17). – P. 5931. DOI: 10.3390/app10175931
14. Bhaskar D.P., Thakur A.G., Sayyad I.I., Bhaskar S.V. Numerical Analysis of Thick Isotropic and Transversely Isotropic Plates in Bending using FE Based New Inverse Shear Deformation Theory // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. – 2021. – 18(3). – P. 8882-8894. DOI: 10.15282/ijame.18.3.2021.04.0681
15. Videla J., Natarajan S., Bordas S.P.A. A new locking-free polygonal plate element for thin and thick plates based on Reissner-Mindlin plate theory and assumed shear strain fields // Computers & Structures. – 2019. – 220. – P. 32-42. DOI: 10.1016/j.compstruc.2019.04.009

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_249
MPHTI 67.11.29

М.Ж. Досжанов¹, К. Байтасов², М.А. Ембергенов³, Ф.Ж. Тасболат⁴

Кызылординский университет «Болашак», г. Кызылорда, Казахстан

¹E-mail: doszhanov55@mail.ru*

²E-mail: kbaitasov@mail.ru

³E-mail: ema-2802@mail.ru

⁴E-mail: galymzhan_zh@mail.ru

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАДАЧ
СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНКИ КАК ПЛОСКОГО ЭЛЕМЕНТА,
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ**

**ПЛАСТИНАНЫҢ ӨЗ ТЕРБЕЛІСТЕРІНІҢ ЕСЕПТЕРІН ҚОРШАҒАН ОРТАМЕН
ӘРЕКЕТТЕСЕТІН ЖАЗЫҚ ЭЛЕМЕНТ РЕТІНДЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ**

**THEORETICAL STUDIES OF THE PROBLEMS OF NATURAL VIBRATIONS
OF A PLATE AS A PLANE ELEMENT INTERACTING WITH THE ENVIRONMENT**

Аннотация: актуальной проблемой теоретических исследований в области нестационарных колебаний упругих и вязкоупругих тел является развитие строго математического подхода к исследованию двумерных и пространственных задач. Основная цель исследования нестационарного поведения различных элементов конструкций и сооружений в этой работе сводится к строгой и обоснованной постановке краевых задач колебания и волновых процессов в деформируемых средах. На основе метода, развиваемого в работах И.Г. Филиппова, статья посвящена математической постановке краевых задач колебания элементов конструкций и сооружений. Разработана методика расчета частот собственных колебаний плоских элементов в различных условиях их закрепления. Решены практически важные задачи в области строительной практики. Создание новых технологий строительства и использование качественно новых материалов выдвигают повышенные требования динамического поведения деформируемых сред. Полученные теоретические и прикладные результаты позволяют решать широкий класс практических задач колебания элементов конструкций и сооружений, подтверждаются строгой математической постановкой проблем, проверкой и сопоставлением с классическими теориями колебаний и другими теориями последних лет.

Ключевые слова: упругие и вязкоупругие тела; колебания; элемент; конструкция; сооружения; пластинки; основания; инерционность; деформируемость.

Аңдатпа: серпімді және тұтқыр серпімді денелердің стационарлы емес тербелістері саласындағы теориялық зерттеулердің өзекті мәселесі екі өлшемді және кеңістіктік есептерді зерттеудің қатаң математикалық тәсілін жасау болып табылады. Бұл жұмыста құрылымдар мен құрылымдардың әртүрлі элементтерінің стационарлы емес мінез-құлқын зерттеудің негізгі мақсаты деформацияланатын орталардағы тербелістердің және толқындық процестердің

шекаралық есептерін қатаң және негізделген тұжырымдау болып табылады. еңбектерінде жасалған әдіс негізінде И.Г. Филиппов, мақала құрылымдар мен құрылымдардың элементтерінің тербелістерінің шектік есептерін математикалық тұжырымдауға арналған. Тегіс элементтердің әр түрлі бекіту жағдайларындағы табиғи тербелістерінің жиілігін есептеу әдістемесі әзірленді. Құрылыс тәжірибесі саласындағы іс жүзінде маңызды міндеттер шешілді. Құрылыстың жаңа технологияларын жасау, сапалы жаңа материалдарды қолдану деформацияланатын орталардың динамикалық әрекетіне жоғары талаптар қояды. Алынған теориялық және қолданбалы нәтижелер конструкциялар мен құрылымдардың элементтерінің тербелістерінің практикалық есептерінің кең класын шешуге мүмкіндік береді және есептерді қатаң математикалық тұжырымдаумен, тербелістердің классикалық теорияларымен және соңғы жылдардағы басқа теориялармен салыстырумен және тексерумен расталады.

Түйін сөздер: серпімді және тұтқыр серпімді денелер; ауытқулар; элемент; дизайн; құрылымдар; жазбалар; негіздер; инерция; деформациялану.

Abstract: an urgent problem of theoretical research in the field of non-stationary oscillations of elastic and viscoelastic bodies is the development of a strictly mathematical approach to the study of two-dimensional and spatial problems. The main goal of studying the non-stationary behavior of various elements of structures and structures in this work is reduced to a rigorous and justified formulation of the boundary value problems of vibrations and wave processes in deformable media. Based on the method developed in the works of I.G. Filippov, the article is devoted to the mathematical formulation of boundary value problems of vibrations of elements of structures and structures. A technique has been developed for calculating the frequencies of natural vibrations of flat elements under various conditions of their fixing. Practically important tasks in the field of construction practice have been solved. The creation of new construction technologies, the use of qualitatively new materials puts forward increased requirements for the dynamic behavior of deformable media. The obtained theoretical and applied results make it possible to solve a wide class of practical problems of oscillations of elements of structures and structures, and is confirmed by a rigorous mathematical formulation of problems, verification and comparison with classical theories of oscillations and other theories of recent years.

Keywords: elastic and viscoelastic bodies; fluctuations; element; design; structures; records; grounds; inertia; deformability.

Введение. Огромный размах промышленного и жилищного строительства приводит к необходимости дальнейшего развития и усовершенствования методов расчета в строительной науке и практике. Конкретные инженерные задачи и законы внутреннего развития фундаментальных исследований в области современного строительства выявили тенденции к последовательному, возможно более полному, учету физико-механических свойств элементов строительных материалов. При решении прикладных задач колебания прямоугольных плоских элементов строительных конструкций, взаимодействующих с окружающей средой, возникает широкий класс задач колебаний, связанных с различными граничными условиями на краях плоского элемента и начальными условиями. Исследование колебаний прямоугольного плоского элемента с учетом усложняющих факторов сводится к решению достаточно сложных задач. Трудность решения данных задач обусловлена как типом приближенных уравнений колебаний, так и разнообразием граничных условий по краям ограниченного плоского элемента. В настоящей работе исследуются собственные колебания прямоугольного плоского элемента с учетом окружающей среды или основания при различных видах граничных условий [1, 2, 3].

Литературный обзор. В объеме настоящего введения и обзора литературы не представляется возможным осветить даже то наиболее важное и ценное, что достигнуто исследованиями в решении рассматриваемой проблемы. Это объясняется тем, что содержание работ в области строительных конструкций, лежащих на деформируемом основании, определяется не только принятой моделью основания, но и типом конструкции, и тем, какая задача рассматривается: статическая или динамическая, линейная или нелинейная, и т.д. В настоящее время имеются достаточно полные обзоры работ, представляющих большой

прикладной интерес по расчету конструкций на деформируемом основании. Фундаментальные идеи и подходы в развитии математических моделей, теоретические и экспериментальные исследования в области динамики конструкций и сооружений связаны с именами таких ученых, как Ж.Д. Ахенбах, В.З. Власов, Э.И. Гриколюк, А.А. Илюшин, Г. Кольский, Н.Н. Леонтьев, В.В. Новожилов, Г.И. Петрашень, Г.И. Пшеничников, Ю.М. Работнов, Х.А. Рахматуллин, С.П. Тимошенко, И.Г. Филиппов и многих других [2, 4, 5].

Из моделей упругого основания следует отметить наиболее старую и простую модель, называемую винклеровским упругим основанием. В математическом отношении модель Винклера является наиболее простой, так как приводит к интегрированию сравнительно простых дифференциальных уравнений, вследствие чего получила наибольшее развитие.

И.Г. Филипповым [2,3,5,7,8] решены задачи по неустановившемуся движению водонасыщенных сжимаемых грунтов, исследовано влияние многокомпонентности на распространение сейсмических волн, предложен приближенный метод решения динамических задач для линейных вязкоупругих сред.

Материалы и методы исследования.

1. Собственные колебания прямоугольной пластинки, шарнирно опертой по краям.

Собственные колебания плоского элемента, лежащего на деформируемом основании, так и находящегося под поверхностью слоя, относятся к уравнениям гиперболического типа, т.е. к решению однородного уравнения [5, 6, 13, 14]

$$A_1 \left(\frac{\partial^2 W_1^{(1)}}{\partial t^2} \right) + A_2 \left(\frac{\partial^4 W_1^{(1)}}{\partial t^4} \right) \cdot A_3 \left(\frac{\partial^2 W_1^{(1)}}{\partial t^2} \right) + A_4 (\Delta^2 W_1^{(1)}) + P_1(W_1^{(1)}) = 0, \quad (1)$$

где операторы A_j, P зависят от рассматриваемых задач при граничных условиях:

$$\begin{aligned} W_1^{(1)} = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = 0 & \quad (x = 0; l_1) \\ W_1^{(1)} = \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = 0 & \quad (y = 0; l_2) \end{aligned} \quad (2)$$

где (l_1, l_2) – размеры плоского элемента в плане.

В случае упругого плоского элемента, основания верхнего слоя операторы A_j являются постоянными величинами.

Например, в случае изотропной упругой пластинки и упругого основания постоянные A_1, A_2, A_3, A_4 и оператор P_1 будут равны:

$$\begin{aligned} A_1 = 1, \quad A_2 = \frac{h^2(7-8\nu)}{12b^2(1-\nu)}; \\ A_3 = \frac{2h^2(2-\nu)}{3(1-\nu)}; \quad A_4 = \frac{2h^2b^2}{2(1-\nu)}; \\ P_1(W_1^{(1)}) = \frac{s}{2h} \rho b^4 \left\{ \frac{\partial W}{\partial t} + h^2 \left[\frac{1}{b^2} \left(\frac{5-8\nu}{2(1-\nu)} \right) \frac{\partial^3 W}{\partial t^3} - 4\Delta \frac{\partial W}{\partial t} \right] \right\}; \end{aligned} \quad (3)$$

Для простоты рассмотрим случай упругого плоского элемента, основания и верхнего слоя. В этом случае величины A_j являются постоянными. Решение сформулированной задачи будем искать в виде

$$W_1 = \exp\left(\frac{b_1}{h} \xi t\right) \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} W_{n,m} \sin\left(\frac{\pi n x}{l_1}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi m y}{l_2}\right); \quad (4)$$

где ξ – безразмерная комплексная частота.

Подставляя выражение (4) в уравнение колебания (1), для безразмерной комплексной частоты ξ получаем алгебраическое уравнение:

$$\begin{aligned} & A_2 \frac{b_1^4}{h^4} \xi^4 + \left\{ A_1 \frac{b_1^2}{h^2} + A_3 \frac{b_1^2}{h^2} \left[\left(\frac{\pi n}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi m}{l_2}\right)^2 \right] \right\} \xi^2 + \\ & + A_4 \left[\left(\frac{\pi n}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi m}{l_2}\right)^2 \right]^2 + P_1^{(0)}(\xi) = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

где $P_1^{(0)}(\xi)$ равно

$$\begin{aligned} P_1^{(0)}(\xi) = & \frac{S}{2h} \rho b_1^4 \left\{ \frac{b_1}{h} \xi + h^2 \left[\left(\frac{5-8\nu}{2(1-\nu)}\right) \frac{b_1}{h^3} \xi \right] + \right. \\ & \left. + 4 \left[\left(\frac{\pi n}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi m}{l_2}\right)^2 \right] \frac{b_1}{h} \xi \right\}; \end{aligned} \quad (6)$$

Аналогично выводится частотное уравнение для вязкоупругой пластинки.

В частности, для вязкоупругой пластинки, удовлетворяющей модели Максвелла, в уравнении (1) необходимо производные [7, 8, 13, 14, 15]

$$\frac{\partial^4 W}{\partial t^4}; \quad \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial W}{\partial t};$$

заменить на производные

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^4 W}{\partial t^4} + \frac{2}{\tau} \cdot \frac{\partial^3 W}{\partial t^3} + \frac{1}{\tau^2} \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}; \\ & \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\partial W}{\partial t}; \\ & \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{1}{\tau} W; \end{aligned}$$

где τ – время релаксации.

Частотные уравнения (5) удобнее представить в виде

$$\xi^4 + A_0 \xi^3 + B_0 \xi^2 + C_0 \xi + D_0 = 0; \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} A_0 = & \frac{3S_0(5-8\nu)}{2(7-8\nu)}; \quad B_0 = \frac{4(1-\nu)}{(7-8\nu)} \left[3 + 2\pi^2 \left(\frac{2-\nu}{1-\nu}\right) \gamma \right]; \\ C_0 = & \frac{6S_0(1-\nu)}{(7-8\nu)} (1 - \pi^2 \gamma); \quad D_0 = \frac{8\pi^4}{(7-8\nu)} \gamma^2; \\ \gamma = & \left(\frac{hn}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{hm}{l_2}\right)^2; \end{aligned} \quad (8)$$

ν – коэффициент Пуассона пластинки, а γ учитывает как геометрические размеры пластинки, так и номера гармоник колебательного процесса.

Исходя из теоремы Гурвица [1,2,3,14,15] и положительности коэффициентов (8), следует, что действительные части комплексных корней алгебраического уравнения отрицательны, что отвечает затухающему характеру колебания пластинки за счет инерционности и деформируемости основания, причем параметр S_0 характеризует или может характеризовать одно или двухкомпонентное упругое основание.

В отличие от основания Винклера, у которого алгебраическое уравнение для частоты ξ является биквадратным и имеет только чисто мнимые корни (отсутствия затухания), уравнение (7) более соответствует физике явления, так как, во-первых, получено без привлечения каких-либо гипотез, во-вторых, описывает отток энергии от пластинки к основанию, колебания которого возбуждаются колеблющейся пластинкой [9,10,11,12]. Алгебраическое уравнение (7) решалось численно на ЭВМ.

В табл. 1 приведены данные расчета при значении параметров ν и S_0 равных

$$\nu = 0,2; S_0 = 0,3; S_0 = 0,5.$$

Таблица 1. Данные расчета

ν	S_0	γ	$\text{Re } \xi_{10}$	$\text{Re } \xi_{20}$	$\text{Im } \xi_{10}$	$\text{Im } \xi_{20}$
0,2	0,3	1	-0,0337	-0,108	2,602	4,615
		2	-0,0245	-0,117	5,473	8,779
		3	-0,0220	-0,119	8,297	13,030
		4	-0,0211	-0,120	11,110	17,110
		5	-0,0206	-0,121	13,910	21,590
		6	-0,0204	-0,121	16,710	25,890
		7	-0,0202	-0,121	19,500	30,180
		8	-0,0201	-0,121	22,300	34,480
		9	-0,0200	-0,122	25,090	38,780
		10	-0,0200	-0,122	27,602	43,080
0,2	0,5	1	-0,056	-0,180	2,602	4,609
		2	-0,041	-0,195	5,474	8,776
		3	-0,037	-0,199	8,298	13,030
		4	-0,035	-0,201	11,110	17,310
		5	-0,034	-0,202	13,910	21,590
		6	-0,034	-0,202	16,710	25,890
		7	-0,034	-0,202	19,500	30,180
		8	-0,033	-0,203	22,300	34,480
		9	-0,033	-0,203	25,090	38,780
		10	-0,033	-0,203	27,602	43,080

Здесь введены обозначения

$$\xi_{1,2} = \text{Re } \xi_{10} \pm i \text{Im } \xi_{10}; \quad \xi_{1,2} = \text{Re } \xi_{20} \pm i \text{Im } \xi_{20}; \quad (9)$$

при этом $\text{Re } \xi_{j0}$ – коэффициенты затухания, $\text{Im } \xi_{j0}$ – частоты собственных колебаний, причем параметр γ принимался в достаточно широком диапазоне:

$$0 \leq \gamma \leq 10.$$

На рис. 1 приведены численные результаты зависимости $\text{Re } \xi_{j0}$ от γ .

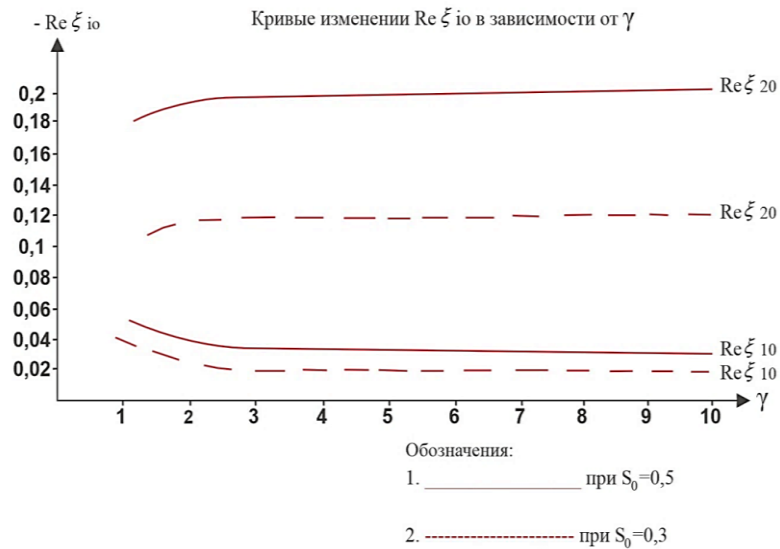


Рисунок 1. Кривые изменения $\text{Re } \xi_{j0}$ в зависимости от γ

На рис. 2 приведены зависимости мнимых величин $\text{Im}(\xi)$, определяющие частоты собственных колебаний от параметра γ .

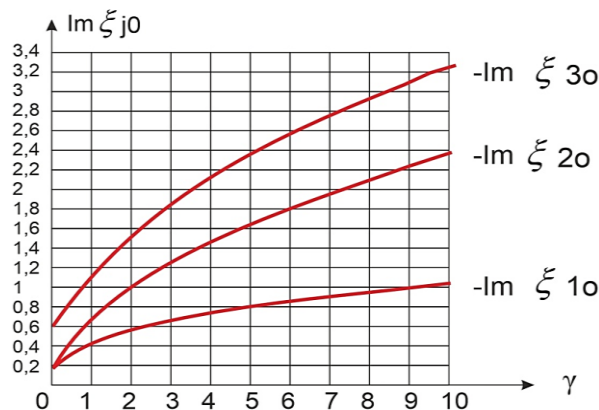


Рисунок 2. Кривые изменения $\text{Im}(\xi)$, в зависимости от γ

Как видно из рис. 1, 2, коэффициенты затухания зависят от параметров деформируемого основания, а собственные частоты слабо зависят от этих же параметров основания [3, 5, 13, 15].

Как показывают расчеты, аналогичные явления относятся и к пластинке, лежащей под поверхностью деформируемого слоя.

2. Задача о собственных колебаниях двухслойной пластинки, лежащей на деформируемом основании.

Более сложной задачей колебания является задача о собственных колебаниях двухслойной пластинки, лежащей на деформируемом основании. Простейшим

уравнением колебания двухслойной пластинки является уравнение шестого порядка при нулевой правой части, т. е. уравнение [9, 10, 16, 17, 18, 19]

$$\begin{aligned} & Q_1 \left(\frac{\partial^4 W}{\partial t^4} \right) + Q_2 \left(\Delta \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right) + Q_3 (\Delta^2 W) + Q_4 \left(\frac{\partial^6 W}{\partial t^6} \right) + \\ & + Q_5 \left(\Delta \frac{\partial^4 W}{\partial t^4} \right) + Q_6 \left(\Delta^2 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right) + Q_7 (\Delta^3 W) + P(W) = 0; \end{aligned} \quad (10)$$

где $P(W)$ – закон отпора и для упругой пластинки и упругого основания. Величины Q_j являются постоянными и равны

$$\begin{aligned} Q_1 &= M_1^{-1} (h_0 \rho_0 + h_1 \rho_1); \\ Q_2 &= -(h_0 P_2 + h_1); \end{aligned} \quad (11)$$

$$Q_3 = \frac{1}{6} M_1^{-1} \left[h_0^2 (h_0 \rho_0 + 3h_1 \rho_1) \rho_0 M_0^{-1} + h_1^2 (h_1 \rho_1 + 3h_0 \rho_0) \rho_1 M_1^{-1} \right];$$

$$\begin{aligned} Q_4 &= -\frac{4}{6} h_0^2 \left\{ 2P_2 h_0 \rho_0 M_0^{-1} + 3h_1 (\rho_0 M_0^{-1} + \rho_1 M_1^{-1}) \right\} + \\ &+ h_1^2 \left\{ 2h_1 \rho_1 M_1^{-1} + 3P_2 h_0 (\rho_0 M_0^{-1} + \rho_1 M_1^{-1}) \right\}; \end{aligned}$$

$$Q_5 = \frac{1}{6} \left[h_0^2 (P_2 h_0 + 3h_1) + h_1^2 (h_1 + 3P_2 h_0) \right];$$

$$\begin{aligned} Q_6 &= \frac{1}{120} \left\{ h_0^5 P_2 \rho_0^2 M_0^{-2} (10\rho_1 M_1^{-1} + \rho_0 M_0^{-1}) + h_1^5 \rho_1 M_1^{-2} (10\rho_0 M_0^{-1}) + \right. \\ &+ 5h_0 h_1 \rho_0 \rho_1 M_0^{-1} M_1^{-1} \left[h_0^3 \rho_0 M_0^{-1} (3 - 3D_0 - D_0^2) - h_1^3 P_2 \rho_1 M_1^{-1} (3 - 3D_1 - D_1^2) \right] \left. \right\}; \\ Q_7 &= \frac{1}{120} \left\{ -13(h_0^5 P_5 \rho_0^2 M_0^{-2} + h_1^5 \rho_1^2 M_1^{-2}) + 20(h_0^5 P_2 + h_1^5) \rho_0 \rho_1 M_0^{-1} M_1^{-1} - \right. \\ &- 5h_0 h_1 \left[h_0^3 \rho_0 M_0^{-1} ((3 - 3D_0 - D_0^2) \rho_0 M_0^{-1} - (D_0 - 4) \rho_1 M_1^{-1}) + \right. \\ &\left. \left. + h_1^3 P_2 \rho_1 M_1^{-1} ((3 - 3D_1 D_1^2) \rho_1 M_1^{-1} - (D_1 - 4) \rho_0 M_0^{-1}) \right] \right\}; \end{aligned}$$

Для шарнирно опертой двухслойной пластинки для поперечного смещения W для решения уравнения (10) имеем граничные условия

$$\begin{aligned} W = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} &= 0; & (x = 0, l_1) \\ W = \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} &= 0; & (y = 0, l_2) \end{aligned} \quad (12)$$

Решение уравнения (10) также будем искать в виде

$$W = \exp\left(\frac{b_1}{h} \xi t\right) \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} W_{n,m} \sin\left(\frac{\pi n x}{l_1}\right) \sin\left(\frac{\pi m y}{l_2}\right); \quad (13)$$

при этом граничные условия (11) удовлетворяются автоматически.

Подставляя решение (13) в уравнение (10) для частоты ζ получаем уравнение шестого порядка предыдущего пункта. В силу громоздкости уравнения оно не проводится.

Введем безразмерные переменные:

$$\begin{aligned} h &= \frac{h_1}{h_0}; & \rho &= \frac{\rho_1}{\rho_0}; & P_2 &= \frac{\mu_0}{\mu_1}; & b &= \frac{b_1}{b_0}; \\ D_0 &= \frac{1}{2(1-\nu_0)}; & D_1 &= \frac{1}{2(1-\nu_1)}; \end{aligned} \quad (14)$$

где: ν_0, ν_1 – коэффициент Пуассона материала слоев;

b_0, b_1 – скорости распространения поперечных волн в материале слоев пластинки;

h_0, h_1 – соответствующие толщины составляющих двухслойных пластинки.

Таблица 2. Результаты расчетов

h	ρ	ν_0	ν_1	γ	$\text{Re } \xi_{j0}$	$\text{Im } \xi_{j0}$
0,5	5,57	0,2	0,32	0	0,000	0,000
					0,000	0,000
					0,000	0,000
					0,100	0,000
					0,041	0,558
0,5	5,57	0,2	0,32	1	0,099	0,000
					0,117	0,000
					0,006	0,504
					0,017	0,686
					0,011	1,150
0,5	5,57	0,2	0,32	2	0,100	0,000
					0,116	0,000
					0,015	0,586
					0,013	1,030
					0,006	1,540
0,5	5,57	0,2	0,32	3	0,100	0,000
					0,115	0,000
					0,017	0,661
					0,012	1,280
					0,004	1,860
0,5	5,57	0,2	0,32	4	0,100	0,000
					0,115	0,000
					0,018	0,729
					0,012	1,490
					0,003	2,120
0,5	5,57	0,2	0,32	5	0,100	0,000
					0,114	0,000
					0,019	0,791
					0,012	1,670
					0,003	2,360

Окончание табл. 2

h	ρ	v_0	v_1	γ	$\text{Re } \xi_{j0}$	$\text{Im } \xi_{j0}$
0,5	5,57	0,2	0,32	6	0,101	0,000
					0,114	0,000
					0,019	0,848
					0,012	1,840
					0,003	2,570
0,5	5,57	0,2	0,32	7	0,101	0,000
					0,114	0,000
					0,020	0,902
					0,012	1,990
					0,002	2,770
0,5	5,57	0,2	0,32	8	0,101	0,000
					0,114	0,000
					0,020	0,953
					0,012	2,130
					0,002	2,960
0,5	5,57	0,2	0,32	9	0,101	0,000
					0,114	0,000
					0,020	0,661
					0,012	1,280
					0,002	1,860
0,5	5,57	0,2	0,32	10	0,101	0,000
					0,113	0,000
					0,020	1,000
					0,012	2,260
					0,002	3,130

На рис. 3 приведены кривые изменения $I_m \xi_{j0}$ в зависимости от γ .

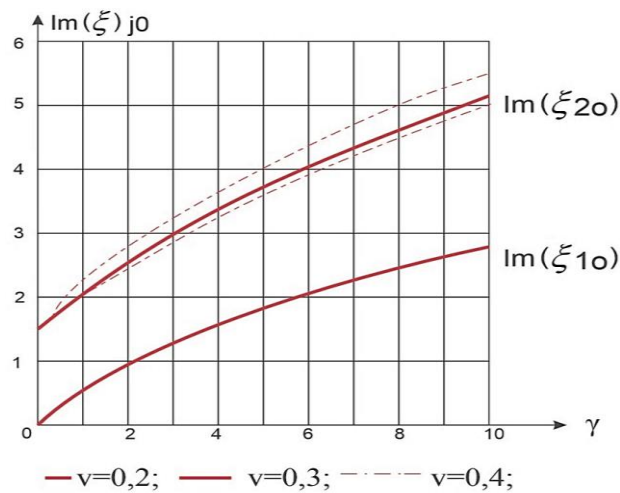


Рисунок 3. Кривые изменения $I_m \xi_{j0}$ в зависимости от γ

3. Собственные колебания прямоугольной пластинки, два противоположных края которой шарнирно оперты.

Более сложной задачей исследования собственных колебаний плоского прямоугольного элемента является, когда два противоположных края пластинки шарнирно оперты, а два других имеют различные виды закрепления или свободны от напряжений [2, 4, 8, 17, 19].

Для простоты рассмотрим пластинку, лежащую на деформируемом основании, т.е. рассмотрим уравнение (1).

Решение уравнения (1), например, шарнирно опертых по краям ($y = 0, l_2$) будем искать в виде

$$W_1^{(1)}(x, y, t) = \exp\left(\frac{b}{h} \xi t\right) \sum_{k=1}^{\infty} W_k^{(1)}(x) \sin\left(\frac{k\pi y}{l_2}\right); \quad (15)$$

Подставляя выражения (15) в (1) для определения $W_k(x)$ получаем уравнение

$$\left\{ A_1 \left(\frac{b^2}{h^2} \xi^2 \right) + A_2 \left(\frac{b^4}{h^4} \xi^4 \right) - A_3 \left(\frac{b^2}{h^2} \xi^2 \right) \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \left(\frac{k\pi}{l_2} \right)^2 \right] + \right. \\ \left. + A_4 \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \left(\frac{k\pi}{l_2} \right)^2 + P_1^{(1)} \left(\xi, \frac{\partial}{\partial x} \right) \right] \right\} W_k^{(1)} = 0; \quad (16)$$

где $P_1^{(1)} = \left(\xi, \frac{\partial}{\partial x} \right) W_k^{(1)}$ равен

$$P_1^{(1)} \left(\xi, \frac{\partial}{\partial x} \right) W_k^{(1)} = \frac{S}{2h} \rho b^4 \left\{ \frac{b}{h} + h^2 \left[\frac{1}{b^2} \left(\frac{5-8\nu}{2(1-\nu)} \right) \frac{b^3}{h^3} + \right. \right. \\ \left. \left. + 4 \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \left(\frac{k\pi}{l_2} \right)^2 \right) \right] \right\} W_k^{(1)}; \quad (17)$$

Общее уравнение будем искать в виде

$$W_k^{(1)}(x) = C_1 \left[\frac{\cos(\alpha_0 x)}{\alpha_0^n} + \frac{\cos(\alpha_1 x)}{\alpha_1^n} \right] + C_2 \left[\frac{\cos(\alpha_0 x)}{\alpha_0^n} - \frac{\cos(\alpha_1 x)}{\alpha_1^n} \right] + \\ + C_3 \left[\frac{\sin(\alpha_0 x)}{\alpha_0^m} + \frac{\sin(\alpha_1 x)}{\alpha_1^m} \right] + C_4 \left[\frac{\sin(\alpha_0 x)}{\alpha_0^m} - \frac{\sin(\alpha_1 x)}{\alpha_1^m} \right]; \quad (18)$$

где: C_j – постоянные интегрирования,

α_j – корни характеристического уравнения дифференциального уравнения (16).

Целые числа (n, m) выбираются из условия упрощения задачи при удовлетворении граничных условий при $x = 0$, другие из граничных условий – при $x = l_1$.

Рассмотрим пример, когда края пластинки $x = 0$; l_1 жестко закреплены, т.е. имеем граничные условия

$$W_k^{(1)} = \frac{\partial W_k^{(2)}}{\partial x} = 0; \quad (19)$$

При граничных условиях (19) числа $n = 0$; $m = 1$.

Из граничных условий при $x = l_1$ получаем частотное уравнение:

$$2 - \frac{\alpha_0^2 + \alpha_1^2}{\alpha_0 \alpha_1} \sin(\alpha_0 l_1) \sin(\alpha_1 l_1) - 2 \cos(\alpha_0 l_1) \cos(\alpha_1 l_1) = 0. \quad (20)$$

Аналогично выводится частотное уравнение для других комбинаций граничных условий при ($x = 0$; l_1).

Частотное уравнение (20) численно решалось на ЭВМ и на рис. 4 приведены кривые изменения двух первых частот, где $l = \frac{l_1}{h}$.

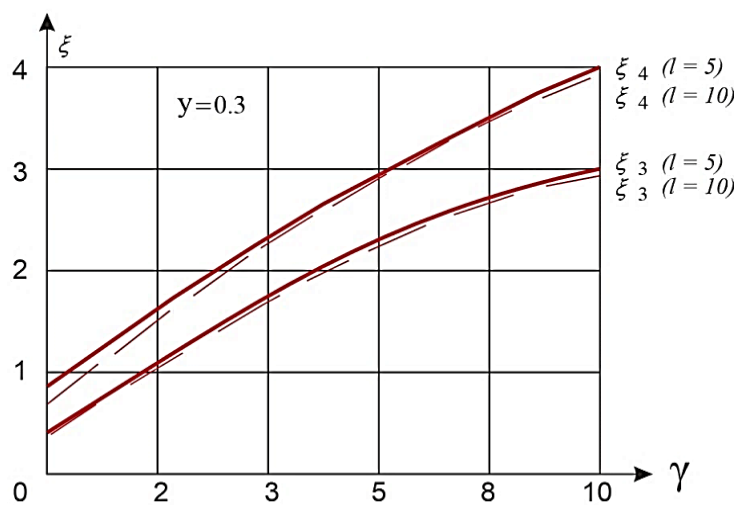


Рисунок 4. Кривые изменения двух первых частот, где $l = \frac{l_1}{h}$

Предложенный метод определения частот собственных колебаний нетрудно обобщить и для исследования колебания пластинки, лежащей под поверхностью слоя.

Результаты и их обсуждения. Метод декомпозиции в теории колебания.

При более сложных условиях закрепления краев плоского элемента можно применять приближенный метод получения частотных уравнений на основе метода декомпозиции, развитого в работах профессора Г.И. Пшеничного для задачи статики [1, 2, 8, 11, 14, 15, 18].

Метод декомпозиции изложим для плоских элементов в случае упругого материала на основе уравнения (1), которое удобнее записать в виде:

$$\Delta^2 W_1^{(1)} + B_1 \left(\frac{\partial^2 W_1^{(1)}}{\partial t^2} \right) + B_2 \left(\frac{\partial^4 W_1^{(1)}}{\partial t^4} \right) - B_3 \left(\Delta \frac{\partial^2 W_1^{(1)}}{\partial t^2} \right) + P_1^{(2)}(W_1^{(1)}) = 0; \quad (21)$$

$$B_j = \frac{A_j}{A_4}; \quad f_1^{(2)}(W_1^{(1)}) = \frac{1}{A_4} P_1(W_1^{(1)}).$$

Решение уравнения (21) будем искать в виде

$$W_1^{(1)} = \exp\left(\frac{b}{h}\xi t\right) W_1^{(0)}(x, y). \quad (22)$$

Для применения метода декомпозиции введем новые зависимые и независимые переменные:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\pi}{l_1} x; & \beta &= \frac{\pi}{l_2} y; & W_1^{(0)} &= \frac{l_1^4}{\pi^4} v, \\ \lambda &= \frac{l_1}{l_2}; & \lambda_1 &= \frac{l_1}{\pi h}; \end{aligned} \quad (23)$$

В переменных (23) уравнения (21) принимают вид

$$\left[\frac{\partial^4 v}{\partial \alpha^4} + 2\lambda^2 \frac{\partial^4 v}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \lambda^4 \frac{\partial^4 v}{\partial \beta^4} \right] + Q(v) = 0; \quad (24)$$

где $Q(v)$ – остальные слагаемые дифференциального уравнения (21).

Метод декомпозиции сводится к решению двух вспомогательных задач:

1. Найти решение уравнения

$$\frac{\partial^4 v_1}{\partial \alpha^4} = f^{(1)}(\alpha, \beta) \quad (25)$$

при граничных условиях

$$M_1(\alpha, \beta) = 0; \quad M_2(\alpha, \beta) = 0; \quad (\alpha = 0, \pi); \quad (26)$$

2. Найти решение уравнения

$$\lambda^4 \frac{\partial^4 v_2}{\partial \beta^4} = f^{(2)}(\alpha, \beta) \quad (27)$$

при граничных условиях

$$M_3(\alpha, \beta) = 0; \quad M_4(\alpha, \beta) = 0; \quad (\beta = \pi, 0); \quad (28)$$

где вид граничных условий $M_j(\alpha, \beta)$ зависит от условия ее закрепления или на свободном крае.

Оставшуюся часть уравнения (24) запишем в виде

$$2\lambda^2 \frac{\partial^4 v_3}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + Q(v_3) + f^{(1)}(\alpha, \beta) + f^{(2)}(\alpha, \beta) = 0; \quad (29)$$

где вид произвольных функций зависит от решаемых задач.

Следуя методу декомпозиции, будем считать, что

$$v_3 = \frac{1}{2} [v_1 + v_2] \quad (30)$$

и условие $v_1 \cong v_2$ должно выполняться в заданных точках плоского элемента.

Общие решения уравнений вспомогательных задач (25) и (27) имеют вид

$$v_1 = f_1(\alpha, \beta) + \frac{\alpha^3}{6} \varphi_1(\beta) + \frac{\alpha^2}{2} \varphi_2(\beta) + \alpha \varphi_3(\beta) + \varphi_4(\beta); \quad (31)$$

$$v_2 = f_1(\alpha, \beta) + \frac{\beta^3}{6} \psi_1(\alpha) + \frac{\beta^2}{2} \psi_2(\alpha) + \beta \psi_3(\alpha) + \psi_4(\alpha);$$

где $\varphi_j; \psi_j$ – произвольные функции аргументов и определяются из граничных условий (26) и (28).

В дальнейшем произвольные функции в общем виде представим как

$$f^{(j)}(\alpha, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{n,m}^{(j)} \sin(\alpha n) \sin(\beta m); \quad (32)$$

где $\alpha_{n,m}^{(j)}$ – произвольные постоянные, а функции $f_j(\alpha, \beta)$ в общих решениях (31) равны

$$f_1(\alpha, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\alpha_{n,m}^{(1)}}{n^4} \sin(\alpha n) \sin(\beta m); \quad (33)$$

$$f_2(\alpha, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\alpha_{n,m}^{(2)}}{m^4} \sin(\alpha n) \sin(\beta m).$$

Используя частные решения задач при заданных граничных условиях и приближенные представления (30) для нахождения неизвестных $\alpha_{n,m}^{(j)}$, получаем однородную линейную систему алгебраических уравнений, нетривиальное решение которых приводит к частному уравнению.

Данный подход применим к различным краевым задачам [1, 2, 11, 13, 15, 19].

Не приводя решение широкого класса задач, отметим лишь одну, когда прямоугольная пластинка шарнирно закреплена по всем четырем краям.

В данной задаче имеем граничные условия:

$$\begin{aligned} v_1 = \frac{\partial^2 v_1}{\partial \alpha^2} = 0 & \quad (\alpha = 0; \pi); \\ v_2 = \frac{\partial^2 v_2}{\partial \beta^2} = 0 & \quad (\beta = 0; \pi); \end{aligned} \quad (34)$$

удовлетворяя которым, общие решения (31) получим

$$v_1 = f_1(\alpha, \beta); \quad \lambda^4 v_2 = f_2(\alpha, \beta); \quad (35)$$

удовлетворяя решение (35) условиям (3.1), для частоты ζ вновь получаем уравнение (7).

Приближенный метод декомпозиции для сформулированной задачи дает тот же результат, что и прямой метод, изложенный в разделе 1 настоящей статьи.

Изложенный результат для шарнирно опертой пластинки позволяет сделать вывод о возможности применения данного приближенного метода декомпозиции для решения задач собственных колебаний плоского прямоугольного элемента при более сложных граничных условиях.

Заключение. На основе предложенного в работе уточненного математического метода расчета колебаний деформируемых слоистых сред получены приближенные уравнения колебания плоского слоистого элемента с учетом различных механических характеристик. Преложимый теоретический подход позволяет решить большинство прикладных задач по теории колебания слоистых пластин с деформируемым основанием с учетом различных

краевых условий пластины, в том числе условий свободного края. Полученные общие или приближенные уравнения в явном виде содержат как вязкоупругие операторы, так и внешние и внутренние усилия, вызывающие колебания пластинки – фундамента, в предельных случаях переходят в известные классические уравнения поперечного колебания пластин. На основе выполненного и представленного в работе теоретического и численного анализа выявлены новые механические чисто высокочастотные эффекты при колебании слоистого полупространства и приведены решения частных задач собственных и вынужденных колебаний различных плоских элементов сооружений с учетом окружающей среды.

Из решения частных прикладных задач следует, что расчет частот колебания прямоугольной шарнирно закрепленной пластинки показывает, что эти частоты комплексные, причем действительная часть этих частот отрицательна и характеризует затухание колебания пластинки за счет инерционности и деформативности основания. В случае Винклеровского основания затухание отсутствует. Таким образом, развиваемый подход к исследованию колебаний строительных конструкций и их элементов обобщает известные классические и приближенные теории.

В настоящей работе в качестве исследуемой модели принята так называемая модель Био-Френкеля, так как эта модель относительно других является достаточно обоснованной и хорошо поддается теоретическому изучению динамического взаимодействия и колебательных процессов в ней [2, 7, 8, 13, 15, 18, 19].

Список литературы

1. Агаларов Дж.Г., Мамедова Г.А. Колебания пластины, шарнирно закрепленной и упруго подвешенной на Винклеровском основании // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 7. – С. 48-53.
2. Доронин А.М., Соболева В.А. Собственные колебания круглой пластинки, лежащей на переменном упругом основании типа Винклера» // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2014, № 4 (1). – С. 254-258.
3. Досжанов М.Ж. Динамическое взаимодействие плоских элементов строительной конструкции с деформируемым основанием: дис. ... д-ра техн. наук. – Самара, 2000. – С. 194.
4. Досжанов М.Ж., Филиппов И.Г. Некоторые характеристики одно и двух компонентных сплошных сред в теории колебаний // Технологии бетонов. – М., 2009. – №4 (33).
5. Досжанов М.Ж., Байтасов К.Н., Танжарыков П.А., Абдикерова У.Б. Теория нестационарного динамического поведения элементов строительных конструкций с окружающей средой: Монография. – г. Шымкент, 2016. – С. 200. – ISBN 978-9965-726-98-9.
6. Био М.А. Теория деформаций пористого вязкоупругого анизотропного твердого тела // Механика. Сборник переводов и обзоров иностранной периодической литературы. – М.: Иностранная литература, 1957. – № 5. – С. 95-111.
7. Досжанов М.Ж., Ысқақ Е., Тасбергенова Г.Ж., Юсупова Л., Ержанова А.Т. Основные соотношения динамического поведения вязкоупругих сред при влиянии внешних нестационарных усилий // Междун.научн.журнал «Путь науки», «The Way of Science», ISBN 2311-2158 №2(60), 2019 (Global Impact Factor, Австралия, импакт-фактор – 0.543), (Open Academic Journals Index, Россия – 0.350). – С. 21.
8. Досжанов М.Ж., Байтасов К., Ембергенов М.А., Тасболат Г.Ж. Влияния фундаментов – оснований на колебания плоских элементов строительных сооружений // GLOBAL SCIENCE AND INNOVATIONS 2020: CENTRAL ASIA. – № 1(12). Февраль 2021. – ISSN 2664-2271.
9. Досжанов М.Ж., Байтасов К., Ембергенов М.А., Тасболат Г.Ж. Особенности двухкомпонентных сред модели М.А. Био, описывающие динамическое взаимодействие пластинки как фундамента. International Euroasia Congress on Scaientific Researches and Recent Trends 10 February 16-17, 2023 Baku, Azerbaijan. – P.60-64 ISBN 978-625-6404-89-2
10. Егорычев О.А. Приближенные поперечные колебания плоских элементов строительных конструкций. учебное пособие / О.А. Егорычев, О.О. Егорычев, О.И. Поддаева. – Москва Издательство МИСИ-МГСУ, 2017. – С.113.

11. Кныш Т.П., Абдикаримов Р.А., Сухотерин М.В., Барышников С.О. Собственные колебания прямоугольной пластины, защемленной по двум смежным краям. – С-Петербург: Magazine of Civil Engineering. – 2018, 6(82). – С. 242.
12. Масленников А. М. Динамика и устойчивость сооружений: учебник и практикум для вузов / А. М. Масленников. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – С. 366. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00220-1-Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/511543> (дата обращения: 09.11.2023).
13. Medeubaev N.K., Seytmuratov, A.Zh., Ramazanov M.I. Solving Problems of Vibrational Processes of Isotropically Homogeneous Elastic Plates. Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Vol. 41. – № 9. – P. 1846-1853 DOI: 10.1134/S1995080220090188 <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000587460100027>
14. Рамазанов М.И., Таймуратова Л.У., Медеубаев Н.К., Мукеева Г.И. Приближённые уравнения колебаний цилиндрических оболочек переменной толщины // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби Серия математика, механика, информатика. – 2019. – Vol. 4. – № 104. – P. 71-84. – <https://doi.org/10.26577/JMMCS-2019-4-m8>
15. Сейтмуратов А., Тилебай С., Токсанова С., Ибрагимова Н., Досжанов Б. The problem of the oscillation of the elastic layer bounded by rigid boundaries. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series, ISSN 1991-346X. Vol. 5, Number 321. – P.42-48. – DOI: <https://doi.org/10.32014/2018.2518-1726.6> Опубликовано 2018, Дата индексации 2018-12-03. – <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000450801400006>.
16. Сейтмуратов А.Ж. Приближенный метод определения частот собственных колебаний пластинки // International scientific and practical conference «Modern problems of physics of metals» Baku, Azerbaijan 10-11 June, 2016.
17. Сейтмуратов А.Ж., Сейлова З.Т., Тилеубай С.Ш., Смаханова А.К., Серікбол М.С. Применение математического метода И.Г. Филиппова при решении краевых задач колебания цилиндрических оболочек // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан ISSN 1991- 346X. – Volume 4, Number 320 (2018). – P. 66-71.
18. Сейтмуратов А.Ж., Нурғалиева А.С. Решение задач частоты собственных колебаний плоского элемента методом декомпозиций // Знание. – М. 2020., 2(78). – С. 70-75.
19. Medeubaev N.K., Seytmuratov A.Zh., Ramazanov M.I. Solving problems on the vibrational processes of isotropically homogeneous elastic plates. Lobachevskii Journal of Mathematics, 2020. – Tom. 41. – № 9, – S. 1846-1853 <http://link.springer.com/article/10.1134/S1995080220090188> Импакт-фактор журнала 2021.0,62 Квартиль категории web of science Q3.
20. Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей XI Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. – С. 314. ISBN 978-5-00159-629-5.

References

1. Agalarov Dzh.G., Mamedova G.A. Vibrations of a plate pivotally fixed and elastically suspended on a Winkler base // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2018. – № 7 – S. 48-53.
2. Doronin A.M., Soboleva V.A. Natural vibrations of a circular plate lying on a variable elastic base of the Winkler type // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo, 2014. – № 4 (1). – S. 254-258.
3. Doszhanov M.Zh. Dynamic interaction of flat elements of a building structure with a deformable base: dis. ... d-ra tekhn. nauk. – Samara, 2000. – S. 194.
4. Doszhanov M.Zh., Filippov I.G. Some characteristics of one- and two-component continuous media in the theory of oscillations // Tekhnologii betonov. – М., 2009. – №4 (33).
5. Doszhanov M.Zh., Bajtasov K.N., Tanzharykov P.A., Abdikerova U.B. Theory of non-stationary dynamic behavior of building structure elements with the environment: Monografiya. – g. SHymkent, 2016. – S. 200. – ISBN 978-9965-726-98-9
6. Bio M. A. Theory of deformations of a porous viscoelastic anisotropic solid // Mekhanika. Sbornik perevodov i obzorov inostrannoј periodicheskoy literatury. – М.: Inostrannaya literatura, 1957. – № 5. – S. 95-111.
7. Doszhanov M.Zh., Ysqaq E., Tasbergenova G.Zh., YUsupova L., Erzhanova A.T. The main relations of the dynamic behavior of viscoelastic media under the influence of external unsteady

- forces // *Mezhdun.nauchn.zhurnal «Put' nauki», «The Way of Science»*, ISBN 2311-2158 №2(60), 2019 (Global Impact Factor, Avstraliya, impakt-faktor – 0.543), (Open Academic Journals Index, Rossiya – 0.350). – S. 21.
8. Doszhanov M.ZH., Bajtasov K., Embergenov M.A., Tasbolat G.ZH. The influence of foundations on the vibrations of flat elements of building structures // *GLOBAL SCIENCE AND INNOVATIONS 2020: CENTRAL ASIA*. – № 1(12). Fevral' 2021. –2664-2271
 9. Doszhanov M.ZH., Bajtasov K., Embergenov M.A., Tasbolat G.ZH. Features of two-component media of the M.A.Bio model describing the dynamic interaction of a plate as a foundation // *International Euroasia Congress on Scaientific Researches and Recent Trends 10*, February 16-17, 2023. – Baku, Azerbaijan. – P.60-64. – ISBN 978-625-6404-89-2.
 10. Egorychev O.A. Approximate transverse vibrations of flat elements of building structures. *Uchebnoe posobie / O.A. Egorychev, O.O. Egorychev, O.I. Poddaeva-Moskva Izdatel'stvo MISI-MGSU*, 2017. – S. 113.
 11. Knysh T.P., Abdikarimov R.A., Suhoterin M.V., Baryshnikov S.O. Natural vibrations of a rectangular plate pinched at two adjacent edges. *S-Peterburg // Magazine of Civil Engineering*. – 2018, 6(82). – S. 242.
 12. Maslennikov A. M. Dynamics and stability of structures: textbook and workshop for universities / A.M. Maslennikov. – Moskva: Izdatel'stvo YUrajt, 2023. – S. 366. – (Vyssee obrazovanie). – ISBN 978-5-534-00220-1. – Tekst: elektronnyj // *Obrazovatel'naya platforma YUrajt [sajt]*. – URL: <https://urait.ru/bcode/511543> (data obrashcheniya: 09.11.2023).
 13. Medeubaev N.K., Seytmuratov, A.Zh., Ramazanov M.I. Solving Problems of Vibrational Processes of Isotropically Homogeneous Elastic Plates // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. – 2020. – Vol. 41. – № 9. – P. 1846 1853. – DOI:10.1134/S1995080220090188 <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000587460100027>
 14. Ramazanov M.I., Tajmuratova L.U., Medeubaev N.K., Mukeeva G.I. Approximate equations of vibrations of cylindrical shells of variable thickness // *Vestnik KazNU imeni Al'-Farabi Seriya matematika, mekhanika, informatika*. – 2019. – Vol. 4. – № 104. – P. 71-84. – <https://doi.org/10.26577/JMMCS-2019-4-m8>
 15. Sejtmuratov A., Tilebaj S., Toksanova S., Ibragimova N., Doszhanov B. The problem of the oscillation of the elastic layer bounded by rigid bouhdaries. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series*, ISSN 1991-346H. Volume 5, Number 321. – P. 42-48 DOI: <https://doi.org/10.32014/2018.2518-1726.6> Opublikovano 2018, Data indeksacii 2018-12-03 <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000450801400006>
 16. Sejtmuratov A.ZH. An approximate method for determining the frequencies of natural vibrations of a plate // *International scientific and practical conference «Modern problems jf physics of metais» Baku, Azerbaijan 10-11 June, 2016*
 17. Sejtmuratov A.ZH., Sejlova Z.T., Tileubaj S.SH., Smahanova A.K., Serikbol M.S. Application of the mathematical method of I.G.Filippov in solving boundary value problems of vibrations of cylindrical shells *Izvestiya. Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan*. – ISSN 1991-346H. – Vol. 4, Number 320 (2018). – P. 66-71.
 18. Sejtmuratov A.ZH., Nurgalieva A.S. Solving problems of the natural oscillation frequency of a plane element by the decomposition method // *Znanie*. – M. 2020, 2(78). – S. 70-75.
 19. Medeubaev N.K., Seytmuratov A.Zh., Ramazanov M.I. Solving problems on the vibrational processes of isotropically homogeneous elastic plates // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. – 2020. – Tom. 41. – № 9. – S. 1846-1853. – <http://link.springer.com/article/10.1134/S1995080220090188>. – *Impakt-faktor zhurnala 2021. 0,62 Kvartil' kategorii web of science Q3*.
 20. Results of modern scientific research and development: sbornik statej XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Penza: MCNS «Nauka i Prosveshchenie». – 2020. – S. 314. – ISBN 978-5-00159-629-5.
-
-

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_265
IRSTI 625.073

**G. Zhakypova¹, S.S. Uderbayev¹, N.A. Saktaganova¹, A.K. Aldungarova²,
N.G. Chumachenko³, G.S. Abiyeva⁴, S. Kurbanbayeva⁵**

¹Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

E-mail: gulnur-str07-1@mail.ru*

E-mail: saken_uderbayev@mail.ru

E-mail: amanovna.75@mail.ru

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

E-mail: liya_1479@mail.ru

³Samara State Technical University, Samara, Russia

E-mail: uvarovang@mail.ru

⁴International Educational Corporation LLP, Almaty, Kazakhstan

E-mail: guldana1967@mail.ru

⁵M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

E-mail: saule_kurban@mail.ru

IMPROVED FINE-GRAINED CONCRETE FOR PAVING SLABS WITH ORGANOMINERAL ADDITIVES

ОРГАНОМИНЕРАЛДЫ ҚОСПАЛАРЫ БАР ТРОТУАР ПЛИТАЛАРЫ ҮШІН ЖАҚСАРТЫЛҒАН МАЙДА ТҮЙІРШІКТІ БЕТОН

УЛУЧШЕННЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ДЛЯ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ С ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Abstract. Currently, putty concrete is widely used in road construction. But, as can be seen from the experiments, there is a problem of premature destruction of facing concrete exposed to an aggressive environment. In addition, fine-grained concrete is characterized by a higher level of consumption of Portland cement compared to conventional heavy concrete. One of the possible ways to solve these problems is the introduction of a complex organomineral mixture that promotes binding. Crushed concrete was mainly considered as a local building material. Because at present, consumers are abandoning large fillers that require large funds. A large number and of great importance are works on the study of reinforced concrete. To date, approaches to concrete have not changed, and their research continues to develop.

Keywords: crushed concrete, organomineral mixture, superplasticizers, modifier MB 10-01, constant factors, dynamic module.

Аңдатпа. Қазіргі уақытта майдатүйіршікті бетон жол құрылысында кеңінен қолданылады. Бірақ тәжірибелерде көрсеткендей агрессивті ортаға ұшыраған жол төсеніштері майдатүйіршікті бетондардың мерзімінен бұрын бұзылу мәселесі бар. Сонымен қатар, майдатүйіршікті бетон әдеттегі ауыр бетонмен салыстырғанда портландцементті тұтынудың жоғары деңгейімен сипатталады. Бұл мәселелерді шешудің мүмкін бағыттарының бірі байланыстыруға ықпал ететін кешенді органоминералды қоспаны енгізу. Майдатүйіршікті бетон негізінен жергілікті құрылыс материалы ретінде қарастырылатын болды. Себебі қазіргі уақытта тұтынушылар көп қаражатты қажет ететін ірі толтырғыштардан бас тартуда. Майдатүйіршікті бетонды зерттеу жұмыстарының саны көп және маңызы зор. Қазіргі таңға дейін майдатүйіршікті бетонға деген көзқарастар өзгерген жоқ, оларды зерттеу жұмыстары одан әрі қарай даму үстінде.

Түйін сөздер: майдатүйіршікті бетон, органоминералды қоспа, суперпластификаторлар, MB 10-01 модификаторы, тұрақты факторлар, динамикалық модуль.

Аннотация. В настоящее время шпаклевочный бетон широко используется в дорожном строительстве. Но, как видно из экспериментов, существует проблема преждевременного разрушения облицовочного бетона, подвергшегося воздействию агрессивной среды. Кроме того, мелкозернистый бетон характеризуется более высоким уровнем потребления портландцемента по сравнению с обычным тяжелым бетоном. Одним из возможных направлений решения этих задач является введение комплексной органоминеральной смеси, способствующей связыванию. Дробилкуплетный бетон в основном рассматривался как местный строительный материал. Потому что в настоящее время потребители отказываются от крупных наполнителей, которые требуют больших средств. Большое количество и большое значение имеют работы по изучению железобетона. До настоящего времени подходы к бетону не изменились, и их исследования продолжают развиваться.

Ключевые слова: измельченный бетон, органоминеральная смесь, суперпластификаторы, модификатор МБ 10-01, постоянные факторы, динамический модуль.

Introduction. Before proceeding to the study of crushed concrete, let us dwell on the annotations of the studied works of several scientists who conducted research on this topic:

Currently, fine-grained concretes are found for the manufacture of reinforced concrete products and the construction of monolithic structures in hydrotechnical construction. The feasibility of their use is primarily determined by the lack of large aggregate in some areas of concrete. The use of local sands or fine waste of crushing rocks instead of the imported large aggregate allows you to achieve significant resource savings. One of the ways to solve this problem is the use of affordable, cheap, often unclaimed local raw materials, to which you can attribute waste crushing rocks.[2]

The interaction between nanoparticles of Styrene-Butyl Acrylate latex and cement particles with various water-cement and superplasticizers-cement ratios during the hydration process has been investigated to achieve the best chemical combination of the materials for enhancing the mechanical properties and workability of the concrete. Analyses and experimental results have shown that the adhesive properties of Styrene Butyl Acrylate (SBA) copolymer latex along with an appropriate percentage of superplasticizers promote the performances of interlayer bonding of concrete. The compressive, splitting, and flexural strengths of specimens have been studied and the formations of the microstructures by the implementation of FESEM, EDX, XRD, FTIR, TEM, and DLS, have been analyzed. The obtained results show the considerable enhancement in the structural behavior of the copolymer-modified concrete in comparison with the control samples by creating cohesive microstructures in the presence of the copolymer. Appropriate water-cement ratio and superplasticizers were selected to study the efficient distribution of the copolymer nanoparticles throughout the cement matrix by the implementation of the FESEM and EDX analyses. The constructed polymer bridges and films between layers of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals have yielded to the formation of an internal cohesive strong microstructure. Also, XRD and FTIR results indicate that the stability and formation of ettringite have been enhanced by the development of calcium aluminate reaction with SBA copolymer. In the cement pore solution, the chemical interaction between nanoparticles, and Ca^{2+} , the copolymer nanoparticles adsorption on cement paste were applied and the enhanced microstructure of the concrete was obtained.[3]

The incorporation of fly ash in concrete enhanced the durability of portland cement concrete more effectively. Fly ash is incorporated as a mineral admixture because of its advantageous properties like pozzolanic reaction and pore refinement. At the point when fly ash is added in concrete, calcium hydroxide, liberated during cement hydration, reacts with the reactive silica present in fly ash and forms calcium silicate hydrate (C-S-H) gel. This research investigates the influence of fly ash in conjunction with four different superplasticizers (SP) namely Polycarboxylate ether (PCE), Lignosulphonate (LS), Sulphonated Melamine Formaldehyde (SMF) and Sulphonated Naphthalene Formaldehyde (SNF) and on the mechanical and

durability properties of concrete. Concrete was made with different levels of class F flyash replacement (0, 15, 25, and 35% by mass) of cement, the w/c ratio were maintained constant as 0.37 and the superplasticizer dosage corresponding to saturation dosage. The saturation dosage of superplasticizer is measured by conducting marsh cone and minislump tests. The mechanical and durability properties tested were compressive strength, splitting tensile strength and Sorptivity. PCE based superplasticizers are found to be more effective. Modification in the mechanical by increase in later age strength and durability properties by increase of the concrete was observed with the addition of fly ash and superplasticizer in control mix [5].

In this rapid urbanization age, cement concrete is one of the most popular and demanding building materials. One of the components of concrete is roughly 12% cement. Overall, yearly cement manufacturing contributes around 7% of the world's CO₂ emissions. As a result, the concrete industry is a global warming contributor. The goal of this research is to discover a method for mitigating the environmental risks that its production causes. Materials such as Fly Ash (FA), Rice Husk Ash (RHA), Silica Fume (SF), and Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) are examples of supplementary cementitious materials (SCMs). If utilized as a substitute for cement in concrete, these components have the advantage of enhancing the strength of the concrete over time. This study shows the comparative effect of three SCMs i.e. FA, RHA and SF on compressive strength of concrete proportionated by Nominal Mix (NM) and Design Mix (DM) techniques both. In addition to that different ranges of aggregates 20B mm, 9.5B mm, 4.75B mm were also used to improve the packing density of concrete. During A total of sixty-six 15cmx15cmx15cm cubes were created for the experimental inquiry to measure the strength of cubes for varied curing durations of 14, 28, and 56B days. FA and RHA were utilized individually for partial cement replacement with proportions of 15%, 20%, 25 percent%, 30%, and SF with 10%, 15%, 20%, and the compressive strengths of 14B days, 28B days, and 56B days were computed using the compressive testing machine [6].

The realization of the concept of high-quality concrete was possible, first of all, due to the use of superplasticizers. The optimal combination of 1p and 1x modifier mixtures is indicated, and if necessary, their combination with small amounts and other organic and mineral materials allows to control the rheological properties of concrete mixtures and to change the structure of cement stone at the micro level to give concrete high performance strength. MTB is fine-grained concrete [1, 2].

A complex organo-mineral mixture consisting of MB10-01 modifier and ash 8 contributes to the compaction of the structure and the addition of calcium hydroxide to water-insoluble compounds, and at the same time it is assumed that it plays the role of a finely dispersed component that actively affects all the main processes of MTB structure formation.[4]

Materials and methods of research (materials and research methods). Laboratory and industrial studies were conducted to confirm the correctness of the developed theoretical rules. M500 grade Portland cement was used as an astringent (with normalized chemical and mineralogical composition) in the research by the following manufacturing plants: "Shymkent Cement" (Shymkent Cement JSC); "Zhambyl Cement" JSC (Zhambyl city); Complex organo-mineral mixture consisting of MB 10-01 modifier and CHP-22 ash (Kyzylorda region, Kyzylorda city).

During the research, standard methods were used mainly in accordance with the existing GOST, as well as specially developed in this work. The selection of optimal compositions of high-quality MTB for road pavements with complex organomineral mixture was carried out by mathematical planning of the experiment according to the B4 type plan based on d-optimap. The compaction coefficient of the concrete mixture, as well as the conditions of preparation and hardening of concrete, are taken as constant factors. Levels and intervals of change of input parameters are given in the table 1.

Table 1. Levels and intervals of change of input variables

Input parameters	Levels of variation			Change interval
	-1	0	+1	
Cement ash viscous loss, kg/m ³ , X1	400	500	600	100
Water consumption, dm ³ /m ³ , X2	170	190	210	20
Cement ash share, %, Xa	0	32	62	32
Mixture consumption MB of cement mass 10-01, %, X4	5	11	16	6

As a result of the processing of experimental data, equations were obtained, the verification of which adequately describes the system. The dependence of the main construction-technical and physico-mechanical properties of fine-grained concrete developed on the basis of the obtained equations on a number of technological parameters was studied. Thus, during the study of the dependence of the workability of the fine-grained concrete mixture on the ash content (Fig.1), it was found that the introduction of ash into the oily concrete mixtures with a high consumption of cement leads to a decrease in the flaking ability. When it is introduced into mixtures with low consumption of cement, there is an optimal amount of ash, when it is introduced, the workability of the mixture is not only preserved, but even slightly improved. X- Blurring of the cone, mm. Y- Amount of ash in cement, % The dependence of the workability of fine-grained concrete mixtures on the ash consumption at different consumption of cement (water consumption 190 dm³/m³, 1 ...7-C =550 respectively 500,450,400, 350, 300, 250 kg/m³. MB 10-01-10% of cement mass).As can be seen (Fig.3.1), the introduction of fly ash into fatty mixtures leads to a decrease in workability and, the greater the cement consumption,the more noticeable the loss of workability with the same percentage of fly ash relative to cement consumption. In a lean mixture, there is an optimal amount of fly ash, with the introduction of which the workability of the mixture is not only preserved, but also slightly improved. With the introduction of ash-) of the sco more than this amount, the deterioration of the workability of the mixture is again observed. The optimal amount of fly ash in this case depends on the cement consumption, the greater the cement consumption, the less it is. At a cement consumption of 250 kg/m it is about 65% of the cement consumption, and at a cement consumption 350 kg/m - about 20%. With a decrease in water consumption or the MB 10-01 modifier, an imperceptible decrease in this maximum is observed. The introduction of MB 10-01 improves the workability of the mixture. At the same time, increasing the consumption of 10-01 MB of cement mass from 5 to 15% allows to obtain a mobile mixture equal to the consumption of 10 dm³/m³ of water. The introduction of a complex organomineral mixture into fine-grained concrete has a significant effect on its compressive, bending and splitting strength, and the maximum strength is achieved at a certain consumption of the mixture, but then the strength gradually decreases with further addition of the mixture.

So, when consuming cement, the maximum amount of admixture of 250 kg/m³ is 100%, and 350 and 450 kg/m³ are 50 and 25%, respectively. When the consumption of cement exceeds 500 kg/m, the optimal amount of admixture is up to 15... 20% of the cement mass. The dependence of the dynamic modulus of elasticity on the composition of the mixture is slightly different. At a cement consumption of less than 350 kg/m³, the introduction of a complex organomineral mixture leads to a slight decrease in the dynamic modulus of elasticity. There is a slight increase in the dynamic modulus of elasticity when the consumption of cement exceeds 350 kg/m³. When the water consumption decreases, the tendency of the dynamic modulus of elasticity to decrease during the introduction of the mixture increases.

Conditional ultimate elongation in fine-grained concrete with cement consumption below 500kg/m³ increases and reaches a maximum at a certain amount of admixture depending on the cement consumption. When the cement consumption is 450kg/m³ and below, the increase in the mixture consumption increases the conditional ultimate elongation, and the cement consumption exceeds 450kg/m³, and on the contrary.

In the first case, the optimal amount of the mixture is increased with the increase in water flow, and in the second it is on the contrary. However, there is little change in the conditional maximum elongation of 350...450kg/m³ during cement consumption.

On the basis of these data and taking into account the requirements for road pavement concrete, the optimal composition of fine-grained concrete with high strength was selected for road pavements of various purposes (table. 2) and for composition 3.4, 5 - 8.0 (100).

Table 2. Composition of studied fine-grained concretes for road pavements

№ Content	Cement	Ash	Sand	Water	MB 10-01	C-3, %	CHB, %	Workability GOST 10181-2000	
								Cone deposit, cm	Hardness, s
1	500	-	1610	242	-	-	0,05	-	21...25
2	330	170	1685	171	-	0,5	0,05	-	41...50
3	650	65	1410	199	65	-	0,05	20...22	-
4	500	75	1570	176	50	-	0,05	2	16...20
5	420	90	1580	128	32	-	0,05	-	61...100

There are 3 compositions of high-strength fine-grained concrete for road surfaces made of different workable concrete mixtures: 3-cast (self-compacting) mixture; 4 and 5 respectively for coating device using medium hard and very hard rail molds and rolling method. Formulations 1 and 2 are controls and are taken as benchmarks for comparison. Additional physico-mechanical and operational studies were conducted on fine-grained concrete compositions which properties are listed in the table. Necessary studies have been carried out for fine-grained concrete.

Strength and deformation characteristics: cube strength (R); prism strength (Rb); tensile strength of concrete (Ka); initial modulus of elasticity (s); moisture loss.

The researches were carried out on cubes with edges of 10 and 15 cm and on samples with prism dimensions 4*4*16 see and see 10*10*40.

Cube strength (R) of concrete was determined in 1, 3, 7, 14 and 28 days. Experimental values of strength and deformation characteristics during short-term loading are given in Table 3.

Table 3. Strength and deformation characteristics of manufactured fine-grained concrete

Content №	Period, day	R10, MPa	R15, MPa	Rb, MPa	R0/R10, MPa	Rbt	Eb*103, MPa	Es*105, MPa
1	7	24	23	20,3	0,84	2,6	26,75	18,5
	28	43,6	42	39	0,88	4,5	33,46	
2	7	21,4	20,2	19	0,89	3	21,49	15,4
	28	41,3	39	36,5	0,89	4,9	25,57	
3	7	65,7	61,3	58,8	0,88	7,6	35,48	13,5
	28	105,3	102	92,5	0,89	11,3	41,6	
4	7	60	56,3	44,9	0,76	6,8	34,85	11,6
	28	97	89,4	81,6	0,81	9,5	42,90	
5	7	54,7	52,1	46,3	0,83	6,3	38,40	10,9
	28	84,5	81,3	71,6	0,86	8,9	46,00	

Based on the above theoretical positions, the following indicators of strength and deformative properties of the developed fine-grained concrete were considered in the work:

- cubic strength (R);
- prismatic strength (R_b);
- tensile strength of concrete (R_{bt});
- initial modulus of elasticity (E_b);
- humidity shrinkage (ϵ_{sr}).

Experimental data show a very rapid increase in the strength of fine-grained concrete developed over time. After 1 day, the cubic strength of fine-grained concrete developed was 20...30%; and 3 and 7 through day-60-75% 28-day strength. Such values of the strength of fine-grained concrete with complex organomineral mixture can be considered as appropriate requirements in the short term; sufficient for high-quality concrete and dismantling of the road structure under construction. By 28 days, the strength of concrete reached 85... 120 MPa, and by 150 days, it exceeded the 28-day strength value by an average of 12%.

The prismatic strength of the concretes made at 7 and 28 days was within 75...90% cubic strength. Thus, the prism strength factor reached 0.8 Cr.

Tensile strength of concrete is determined by the results of bending tests of beams $10*10*40$ see table 3 above. The values and characteristics of the shrinkage deformations of the developed concretes are smaller than those of the reference concretes. As you can see, it is given in the table. The absolute values of shrinkage deformations of developed concretes 3 are small ($\epsilon_{SR}=13.5*10^{-5}$ and less). Thus, given in the table 3 strength and deformation characteristics allow us to assume that they are developed according to the obtained indicators.

MB may be classified as high quality, but this is not sufficient for use in concrete pavements. Therefore, a large place is given to basic operational research in the work, taking into account the features of their work on road surfaces, the following properties are taken into account: water absorption, permeability, frost resistance, weather resistance, wear resistance. These properties are primarily related to structure, research has focused on examining structure and its effects.

It has been shown that the complex organo-mineral mixture for road surfaces contributes to the formation of crystal hydrate embryos from a saturated solution and changes in their dispersion. Therefore, hydration reactions slow down the growth of $Ca(OH)_2$ crystals, resulting in the formation of long fiber hydrosilicates in the structure of cement paste. This leads to spatial adhesion with highly dispersed hydrated growths.

Water absorption, permeability and wear were determined according to standard methods (State Standard 12730.0-78, State Standard 12730.3-78 and State Standard 13087-81). Frost resistance and weather resistance were determined according to specially developed methods that correspond to the conditions of fine-grained concrete operation on road surfaces.

The results of studies on water absorption and permeability of fine-grained concrete developed for road pavements are presented in the table. 4.

Table 4. Water absorption and permeability of developed fine-grained concrete

Content №	Water absorption, %	Conductivity indicators	
		Air penetration resistance of concrete, mo, s/cm ³	Waterproof concrete brand
1	10.9	160.6	W2
2	9.2	189.6	W4
3	2.6	1016	W20
4	2.9	878.9	W18
5	3.6	796.5	W16

They show that the water absorption of the developed fine-grained concrete varies from 2.5 to 3.5, depending on their functional purpose, and the water absorption is 10 or more % compared to the reference. Air and water tightness of the developed fine-grained concrete is 5 and more times higher than the standard fine-grained concrete.

Frost resistance of the developed surface layer was determined. 700...800 cycles for road surfaces and the use of air-permeable mixture is quite a lot. As for weather resistance, the mass loss of the samples after 50 cycles of alternating wetting and deep drying in 10% NaCl solution was 1 to 2%, while MB taken as a reference, this indicator was 4.. 6 %. The wear of the developed fine-grained concrete is within 0.60...0.80 g/cm³, and this indicator is -1.16..L, 19g/cm² for fine-grained concrete taken as a standard.

Thus, the results of laboratory studies on strength, deformation and service properties allow to confirm that high-quality fine-grained concretes are obtained for road pavements. This is provided by changing the fine-grained concrete structure by introducing a complex organomineral mixture. On the basis of laboratory and industrial research, "Recommendations for the preparation and laying of concrete mixtures" were developed "High-quality fine-grained concrete road pavement coatings with a complex organo-mineral mixture". They describe the requirements for the starting materials. The functional purpose of related laying technology is determined.

The economic efficiency of introducing high-quality fine-grained concrete for paving slabs was determined during the calculation of technical and economic indicators.

Conclusions.

According to economic calculations, the service life of a cement-concrete road surface is considered to be 4 years. The results of the experimental part of the dissertation work demonstrate the advantages of road surfaces made of high-quality fine-grained concrete with an organomineral mixture. For comparative economic calculations, the service life of high-quality granular concrete paving stones for road surfaces with mineral organic additives is considered to be 9 years. Indicators of economic efficiency of compared concretes are presented in Table 5.

Table 5. Technical and economic indicators of road surfaces on various types of fine-grained concrete (per 1m)

RN _с /n	Type of concrete	Indicators						
		Durability, tenge			Tpr, years	n	n-1	Kee tenge/year
		C1	C2	C3				
1	Fine-grained concrete without additives	3647	781,5	26,05	4	2,5	1,5	1044,605
2	High-quality fine-grained concrete	6252	781,5	156,3	9	1,1	0,2	711,165

The estimated cost of installing 1 m² of cement-concrete roadbed on the basis of a sand-gravel mixture (C1) is currently determined on the basis of the average market price of building materials, products and structures of the city of Kyzylorda.

The cost of 1 m² of road cement-concrete pavement is determined: the full factory cost of 1 m³ of concrete mix + transportation costs + the cost of laying the concrete mix on the pavement.

Deductions (C3) are determined on the basis of the norms of deductions of fixed assets adopted in the amount of 2.5% of the estimated cost of cement-concrete road surfaces per 1 m² of current and cement-concrete road surfaces.

To calculate the annual economic effect of using high-quality MZB for road surfaces with an organomineral additive, arranged according to the recommendations of this work, compared with MZB without an organomineral additive, the following initial provisions were adopted. The annual capacity of the plant is about 50,000 m³ of ready-mixed concrete or 7000 m² of road surface. The Tpr of 1 m of road surface from the Ministry of Health without an organomineral additive is 4 years, and the Cee for 1 m is 963.03 tenge /year. The TPR of the road surface made of high-quality MZB is 9 years old, and Kee for 1 m 655.63 tenge/year. Under the accepted conditions, the annual economic effect in tenge for a road surface made of high-quality MZB is:

$(200,5 - 136,5) * 7000 = 2\ 151,82$ мың теңге жол төсеніш тақтайшаларына 1 м road surface or $(200,5 - 136,5) * 50000 = 3$ million 200 1000 thousand tenge per 1 m³ of concrete.

The calculated economic effect should be considered as indicative, since some initial data require clarification (Tpr., Tpr.op.). But even preliminary calculations allow us to assume a significant economic effect when implementing the results of this work.

1. It is possible to create high-quality fine-grained concrete for road surfaces, it contributes to a decrease in capillary porosity, an increase in density, and strengthens the contact zone between cement and stone by changing its structure with MB 10-01 modifier and a complex organo-mineral mixture consisting of ash.

2. A mathematical model of the dependence of the main structural and technical properties on variable factors was obtained, which allows determining the optimal amount of a complex organomineral mixture.

3. Optimum compositions of high-quality fine-grained concrete for road surfaces with a complex organo-mineral mixture have been developed in relation to the concrete mixture (cast required by technology, medium hard, very hard).

4. Fine-grained concrete for road surfaces with a complex organo-mineral mixture was developed. The main physical and mechanical properties (compressive and tensile strength during bending, elastic modulus, shrinkage deformation) were studied.

5. The economic efficiency of introducing high-quality fine-grained concrete for road surfaces with a complex organo-mineral mixture was determine.

References

1. Zahra BahraniFard, Ali-Reza Vosoughi, Farshad Farshchi Tabrizi, Kaveh Shariati, Effects of water-cement ratio and superplasticizer dosage on mechanical and microstructure formation of styrene-butyl acrylate copolymer concrete. *Construction and Building Materials*, Volume 318, 2022, 125889, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125889>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821036229>)
2. N. Manomi, Dhanya Sathyan, K.B Anand, Coupled effect of superplasticizer dosage and fly ash content on strength and durability of concrete. *Materials Today: Proceedings*. Volume 5, Issue 11, Part 3, 2018, Pages 24033-24042, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.196>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531832491X>)
3. Abhishek Dixit, Abhay Singh Patel, Deepesh Singh. Effect of different supplementary cementitious materials on compressive strength of concrete with varying size of aggregates. *Materials Today: Proceedings/* Volume 56, Part 1, 2022, Pages 336-341, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.177>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532200205X>)
4. Zhakypova G.M., Uderbaev S.S., Abiyeva G.S., ACTUAL PROBLEMS OF PRACTICE AND SCIENCE AND METHODS OF THEIR SOLUTION Abstracts of IV International Scientific and Practical Conference Milan, Italy (January 31 – February 02, 2022). The preparation of organomineral mixtures for fine-grained concrete on the basis of local raw materials.
5. Caroline Autier, Nathalie Azf@ma, Pascal Boustingorry. Using settling behaviour to study mesostructural organization of cement pastes and superplasticizer efficiency. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Volume 450, 2014, Pages 36-45, ISSN 0927-7757, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.02.050>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775714001988>)

6. Mouhcine Benaicha, Xavier Roguiez, Olivier Jalbaud, Yves Burtschell, Adil Hafidi Alaoui, Influence of silica fume and viscosity modifying agent on the mechanical and rheological behavior of self compacting concrete, *Construction and Building Materials*. Volume 84. 2015, Pages 103-110, ISSN 0950-0618 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.061>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815003086>)
7. GOST 10268-85 replaced by GOST 26633-91 "Heavy and fine-grained concrete. Technical conditions"
8. Balandina I.V. "Thermal shock" in road concrete when using deicers // *Modern problems of construction materials science: Materials of the international. conf. C.Z. – Kazan, 1996. – P. 88-89*
9. Busurin K.A., Timofeev A.Kh. *Modern designs of single-track urban roads. – M.: Stroyizdat, 1980, 208 p.*
10. Gelfer G.A. *Construction and operation of city roads. – M.: Stroyizdat, 1989. – 275 p.*
11. Leonovich I.I., Lazuk G.N., Zinevich S.I. Defects in cement concrete road surfaces and measures to prevent them // *Improving the technical and economic qualities of highways: Materials of the international. scientific - tech. conf., – Part 1. – Minsk: Bel. State polytechnics, acad., 1996, pp. 70-76.*
12. Orlovsky Yu.I. Assessment of the stressed state of concrete of road structures // *Concrete and reinforced concrete. – 1995. - No. 4. – Pp. 2-5*
13. Kudyakov A.I., Nekrasov A.V. Basic principles for choosing the composition of cement-ash grinding mixtures based on the intercrystalline void of sand // *Izvestia VUZ-Construction. - 1992. - No. 4, 53-56 pages.*
14. Vlasov Valentin Konstantinovich. Compositions and properties of fine-grained concrete with mineral additives of various natures and superplasticizer S-3: abstract of thesis. ... candidate of technical sciences: 05.23.05 / Gosstroy of the USSR. N.-i., design and construction. and technol. Institute of Concrete and Reinforced Concrete. - Moscow, 1989. - 24 p.
15. A.N. Bobryshev, V.I. Kalashnikov, D.V. Kvasovtyn ("Dispersti toltyrylgan kompozitterdegi kasietterdi kusheytu aseri" / / *Izv. ZhOO-lar. Kurylys. - 1996. - No. 2, 48-52*)
16. 114. Zotkin A.G. Tagaiyndau adisterin grafikalyk tysindiru concretedaуы күл сығыня// *Concrete and temirbeton. -1992. No. 6, 21-23bet*
17. Zotkin A.F. Concrete materials kuldi tutynudyn arturli adisterin salystyru // *Concrete temirbeton – 1990. - No. 11, 34-35 bet*
18. Gulnur Zhakypova¹, Saken Uderbayev^{2,*}, Nargul Saktaganova², Guldana Abyieva³, Aigul Budikova², Akmaral Zhapakhova². Properties of Fine-Grained Concrete Using Ash of Kazakhstan, *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, Vol. 10, Issue 02, pp00-00, June 2023.
19. "Study of ash collected from the Kyzylorda thermal power plant for use as a raw material for granular concrete". G. M. Zhakypova, S. S. Uderbayev IX International Scientific and Practical Conference "SCIENCE AND EDUCATION IN THE MODERN WORLD: CHALLENGES OF THE XXI CENTURY". Technical science. Volume I. Nursultan-2021. Pages 22-25.
20. "Study of ash collected from the Kyzylorda thermal power plant for use as a raw material for granular concrete". G. M. Zhakypova, S. S. Uderbayev IX International Scientific and Practical Conference "SCIENCE AND EDUCATION IN THE MODERN WORLD: CHALLENGES OF THE XXI CENTURY". Technical science. Volume I. Nursultan-2021. Pages 22-25.

Additional literature

1. Chaadaev, V. Architectural and artistic paving [Text] / V. Chaadaev // *Architecture. Construction. Design. – M., 2012. – No. 2. – P. 36-41.*
2. Staroverov, V. D. Quality control of small-sized road surface elements [Text] / V. D. Staroverov // *Concrete Technologies. – M.: Central Research Institute "Composite XXI Century", 2012. – No. 11-12. – P. 62-64.*
3. Staroverov, V.D. Quality control of small-sized road surface elements [Text] / V.D. Staroverov // *Concrete technologies. – M.: Central Research Institute "Composite XXI Century", 2013. – No. 4. – P. 32-35.*
4. The introduction of innovative developments of Russian scientists will increase the efficiency of construction [Text] // *Construction: new technologies - new equipment. – M.: Publishing House "Panorama", 2013. – No. 3. – P. 22-27.*
5. Korenkova, S. High-strength cement concrete piece products for paving sidewalks [Text] / S. Korenkova, A. Gatina // *Construction: new technologies - new equipment. – M.: Publishing House "Panorama", 2013. – No. 11. – P. 39-41.*

ҚҰРЫЛЫС
СТРОИТЕЛЬСТВО
CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_274
IRSTI 67.21.17

K. Ibragimov¹, F.Kh. Aubakirova², D.Zh. Artykbaev³, K.S. Dossaliyev⁴, G.M.Otarbayeva⁵

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

¹E-mail: askanbayev@bk.ru

²E-mail: faraub1011@mail.ru

³E-mail: artykbaev_d@mail.ru*

⁴E-mail: Dosaliev_k@mail.ru

⁵E-mail: gulzy_87@mail.ru

LABORATORY DETERMINATION OF THE MAXIMUM DENSITY AND OPTIMAL HUMIDITY OF LARGE-BLOCK SOILS

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖАҒДАЙДА ІРІ СЫНЫҚТЫ ГРУНТТАРДЫҢ МАКСИМАЛДЫ ТЫҒЫЗДЫҒЫ МЕН ОҒТАЙЛЫ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ

ЛАБОРАТОРНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ

Annotation. The purpose of our field research was to develop and select a method of work on laying and compacting the material of large-block soils, ensuring the receipt and determination of maximum density and optimal soil moisture. On the basis of these studies, technical conditions for the construction of thrust prisms are further drawn up.

This article presents the results of the work performed with a brief methodology of field and laboratory research. The article provides data characterizing the material intended for installation in the body of the dam.

The currently existing methods for determining the control parameters of laying large-block soils are contradictory and require experimental work. A number of parameters are taken into account: grain composition, humidity, density. Therefore, the article considers a laboratory method for determining the maximum density and optimal humidity of stone material when laying in the body of the dam.

The results of the research carried out on the development of our quarry area, the thickness of the uncompacted layer was determined, the choice of a sealing mechanism, the number of passes along one track, the determination of the density of dry soil in experimental field sites intended for use in filling the body of the dam, graphs of the required densities for full-scale grain composition are presented.

The strength properties of the stone material were determined experimentally for the average grain composition and for the upper curve of the accepted "fish".

Keywords: coarse-grained soil, maximum density, optimal humidity, natural soil, model mixture.

Аңдатпа. Біздің далалық зерттеулеріміздің мақсаты топырақтың максималды тығыздығы мен оңтайлы ылғалдылығын алуды және анықтауды қамтамасыз ететін ірі сынықты топырақ материалын төсеу және тығыздау бойынша жұмыстарды жүргізу әдісін пысықтау және таңдау болды. Осы зерттеулердің негізінде болашақта тіреуіш призмаларды тұрғызудың техникалық шарттары жасалады.

Осы мақалада далалық және зертханалық зерттеулердің қысқаша әдістемесімен орындалған жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Мақалада бөгеттің денесіне салуға (төсеуге) арналған материалды сипаттайтын мәліметтер келтірілген.

Қазіргі уақытта ірі сынықты топырақты төсеудің бақылау параметрлерін анықтаудың қолданыстағы әдістері әр түрлі және тәжірибелік жұмыстарды қажет етеді. Бұл бірқатар параметрлерді ескереді: гранулометриялық құрамы, ылғалдылық және тығыздық. Сондықтан бұл мақалада бөгеттің денесіне топырақты төсеген кезде ірі сынықты тасты материалдың максимал тығыздығы мен оңтайлы ылғалдылығын анықтаудың зертханалық әдісі қарастырылған.

Біздің карьер алаңын өзірлеу бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде тығыздалмаған қабаттың қалыңдығы, тығыздау механизмін таңдау, бір із бойынша өту саны, бөгет денесін төгу кезінде пайдалану үшін шамалау тәжірибелік-далалық учаскелердегі құрақ грунттың тығыздығы анықталады, натурал гранулометриялық құрамы үшін қажетті тығыздықтардың графиктері ұсынылды.

Тас материалының беріктік қасиеттері орташа гранулометриялық құрам үшін және қабылданған жоғарғы гранулометриялық қисық үшін эксперименталды түрде анықталды.

Түйін сөздер: ірі сынықты топырақ, максималды тығыздық, оңтайлы ылғалдылық, табиғи грунт, аралас қоспа.

Аннотация. Целью наших полевых исследований являлось отработка и выбор способа производства работ по укладке и уплотнению материала крупнообломочных грунтов, обеспечивающих получение и определение максимальной плотности и оптимальной влажности грунта. На основе этих исследований в дальнейшем составляются технические условия по возведению упорных призм.

В настоящей статье приводятся результаты выполненных работ с краткой методикой полевых и лабораторных исследований. В статье приводятся данные, характеризующие материал, предназначенный для укладки в тело плотины.

Существующие в настоящее время методы определения контрольных параметров укладки крупнообломочных грунтов разноречивы и требуют проведения экспериментальных работ. При этом учитывается ряд параметров: зерновой состав, влажность, плотность. Поэтому в статье рассмотрен лабораторный метод определения максимальной плотности и оптимальной влажности каменного материала при укладке в тело плотины.

В результате проведенных исследований по разработке нашей площади карьеры были определены толщины неуплотненного слоя, выбор уплотняющего механизма, количество проходов по одному следу, плотность сухого грунта на опытно-полевых участках, предполагаемых для использования при отсыпке тела плотины, представлены графики требуемых плотностей для натурно зернового состава.

Прочностные свойства каменного материала определялись экспериментально для среднего зернового состава и для верхней кривой принятой "рыбки".

Ключевые слова: крупнообломочный грунт, максимальная плотность, оптимальной влажности, натурный грунт, модельная смесь.

Introduction. A wide variety of types of coarse-grained soils are widely used in the construction of high ground dams. In general, the quality of materials in any zones of rock-earth dams is determined by their strength, deformability and filtration characteristics. To meet these requirements, it is necessary to specify the grain compositions of the rock mass and the density of their laying at the construction stage.

Density is one of the main physical and mechanical properties of the soil. It should be noted that it largely depends on the granulometric composition. Therefore, the accuracy of determining the granulometric composition of coarse-grained soils is of great importance.

For the first time, granulometric analysis, as a quantitative method, was applied in the XVII century. in geology to study clastic sedimentary rocks. At the same time, a set of sieves (1704) began to be used to classify the material along with grinding (1692). At the beginning of the XIX century. The method of soil sieving through a set of sieves and the method of grinding for granulometric analysis (1805g.) was worked out and described in a special work. At the end of the XIX century. For the first time, a centrifugation method was developed to separate grains by size. The introduction of graphic images of the results of granulometric analysis dates back to the same time.

Thus, by the beginning of the XX century. The methods of granulometric analysis of granular materials were laid down and sufficiently justified. It should be noted the wide application and scientific development of the basic provisions of granulometric analysis in the mining industry, where, based on numerous studies, the theory of crushing, grinding and screening of minerals was created, the main provisions of which are used by other industries.

Various methods are used to study the granulometric composition of coarse-grained soils, of which the most commonly used are the standard sieving method on sieves with round holes and the linear measurement method. The linear method for determining the granulometric composition is as follows. On the open surface of the structure (slope, pit wall, etc.), several lines are outlined using slats or stretched ropes. At the intersection of each line, the sums of the particle lengths of all fractions are calculated. For each particle, only the length that is located on the intended line is calculated, but it belongs to the fraction to which the entire section belongs [1].

In the practice of construction production, it may be necessary to determine the granulometric composition of various coarse-grained materials when the size of individual pieces reaches 500, 1000 mm or more. In this case, in order to determine the mechanical characteristics of coarse-grained soils in laboratory conditions, they resort to modeling the grain composition of natural soil.

Based on the study and analysis of numerous experiments and the obtained dependencies, we have developed a method for composing model mixtures that more objectively characterize the composition and condition of the soils under consideration [2].

Using the modeling method, in coarse-grained soil, the percentage of fractions less than 5 mm should be the same in model and full-scale soil. The size of the maximum fraction is determined by the minimum size of the container used. Thus, two points are fixed on the graph of the grain composition of the model mixture: the content of fine earth and the maximum fraction. In our case, a modeling method is used that eliminates the arbitrariness of assigning fractions from 5 to 60 mm. The intermediate points on the graph are obtained by a proportional decrease in the fractions in the natural soil, which are calculated using the formula:

$$P_{d_i}^M = \frac{P_{d_i} - P_{<5}}{P_i'' - P_{<5}} \cdot (100 - P_{<5}) + P_{<5} \tag{1}$$

where $P_{d_i}^M$ – the percentage of fractions in the model mixture; $P_{<5}$ – the percentage of fractions is less than 5mm; P_i'' – the percentage of the fraction in the natural soil (Figure 1, Table 1). This method of soil modeling is the simplest and most objective [3].

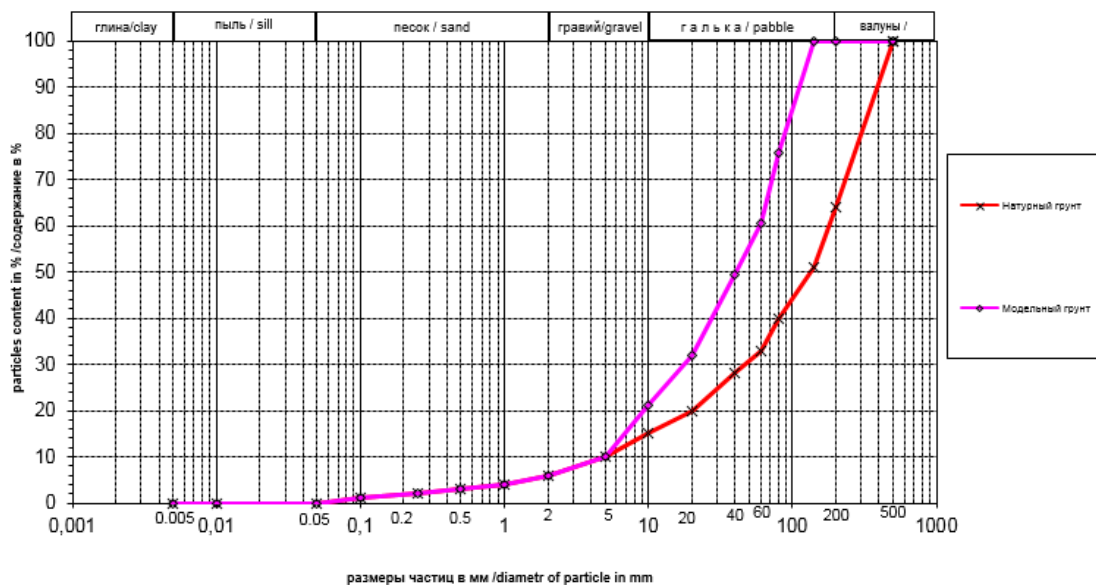


Figure 1. Percentage of fraction in natural soil

Table 1. Calculation table of the granulometric composition of the model soil

Natural soil					Model soil			
					140	The maximum size of fractions in the model soil (mm)		
% fraction content	% of the content of each fraction	weight of fractions in grams	fraction size in mm	fraction size in mm	% fraction content	% of the content of each fraction	weight of fractions in grams	
100,0	0,00	0	>500	500	100,00	0,00	0	
100,0	36,00	1800	200-500	500	100,00	0,00	0	
64,0	13,00	650	140-200	200	100,00	0,00	0	
51,0	11,00	550	80-140	140	100,0	24,15	120732	
40,0	7,00	350	60-80	80	75,85	15,37	76829	
33,0	5,00	250	40-60	60	60,49	10,98	54878	
28,0	8,00	400	20-40	40	49,51	17,56	87805	
20,0	5,00	250	10-20	20	31,95	10,98	54878	
15,0	5,00	250	5-10	10	20,98	10,98	54878	
10,0	4,00	200	2-5	5	10,00	4,00	20000	
6,0	2,00	100	1-2	2	6,00	2,00	10000	
4,0	1,00	50	0,5-1	1	4,00	1,00	5000	
3,0	1,00	50	0,25-0,5	0,5	3,00	1,00	5000	
2,0	1,00	50	0,1-0,25	0,25	2,00	1,00	5000	
1,0	1,00	50	0,05-0,1	0,1	1,00	1,00	5000	
0,0	0,00	0	0,01-0,05	0,05	0,00	0,00	0	
0,0	0,00	0	0,005-0,01	0,01	0,00	0,00	0	
0,0	0,00	0	<0,005	0,005	0,00	0,00	0	
	100,0	5000				100,0	500000	the total weight of the sample in grams
					5			

Therefore, the physical and mechanical properties of the material can be represented as an unambiguous function of two parameters: the content of fine earth m and density ρ_d , which are determined experimentally based on studies of characteristic differences covering the entire set of quarry soil [5].

A preliminary assessment of the compaction of coarse-grained soil is performed by the standard compaction method in accordance with regulatory requirements on a standard vibration seal device. For each type of material, the maximum densities of soil composition are determined ($\rho_d^{min}; \rho_d^{max}$).

The boundary parameters of the total grain compositions adopted by the technical conditions for each variety will have different limiting curves. At the same time, the size of individual fractions reaches up to 700-1000 mm, which forces us to switch to modeling grain compositions of natural soil and performing experimental studies on model mixtures [6].

Results and their discussions. The task of modeling the grain composition of natural soil is performed in such a way that model mixtures can be used in laboratory devices of acceptable sizes. At the same time, the characteristics of the model mixtures should best match the characteristics of the natural soil. The size of the sample tested in the device determines the size of the maximum fraction allowed to be included in the soil mixture. Generalization of the research experience of large-block soils allows us to conclude that the ratio of the sample diameter to the size of the maximum fraction should not be less than five, i.e. $d_{np} \geq 5d_{max}$. So, for a standard device with a diameter of $d = 300$ mm, the maximum size of fractions should not exceed 60 mm.

When assigning grain composition in model mixtures, it is recommended to keep the percentage of fractions in them less than 5 mm or 10 mm. Thus, two points are fixed on the graph of the grain composition of the model mixture - the content of fine earth and the maximum fraction. In our case, a modeling method is used that excludes the arbitrariness of fractions from 10 to 60 mm [7].

Model mixtures are made for each type of material, which are tested on the installation of a standard seal. Full-scale and model compositions are shown in Figure 2.

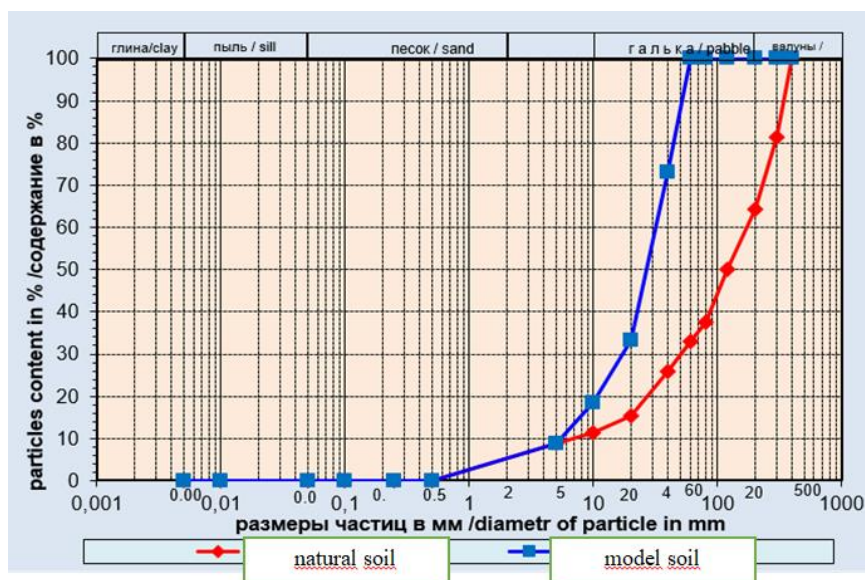


Figure 2. Graph of the grain composition of the rock mass and the model mixture

Before compaction, the mixture is moistened so that the moisture content of the fine earth included in the mixture is at least 5-6%. Then the mixture is loaded into the container of the vibration installation, the distance between the ground surface and the top of the device is leveled and measured with a measuring ruler at five points. The bar of the measuring ruler is rotated by 90 degrees and five more points of the ground surface are measured. The average value of 10 points determines the position of the sample surface from the top of the device, and the difference between the position of the bottom and the ground surface determines the height of the sample.

Knowing the diameter and height of the container, the volume is calculated. The weight of the model mixture for a container with a diameter of $d = 300$ mm can be assumed to be 40-45 kg. Based on this weight, the weight of all fractions of the model mixture is calculated.

Dividing the weight of the sample by the volume, we get the bulk density ρ_d^{min} . In this case, humidity is not taken into account, because the sample was formed in an air-dry state. A 10 mm thick rubber gasket is placed on the soil sample with a minimum density and a sample load is installed, consisting of metal discs assembled into a package with a through rod with a total weight of 100 kg. Rubber rings are put on the bag in the upper and lower parts so that the package does not hit the walls of the device. At the same time, the loading discs, taking into account the diameter of the shock absorption rings, should freely pass into the container [8].

After assembly, a vibrator is turned on, fixed to the bottom of the platform, and the container vibrates for 6 minutes. Then the loading bag and the rubber gasket are removed and the surface is measured at ten points from the upper face of the container, according to which the volume of the compacted sample and the maximum density are calculated [9-10]. Determination of the limiting densities of soil addition will allow you to plot the function of two parameters: the content of fine-grained soil in a mixture of a model grain composition m and density ρ_d [11-12].

It should be noted that the best compaction of the rock mass can be achieved only on the basis of experimental rolling on special filling maps. A preliminary assessment of the compaction of coarse-grained soil is performed by the standard compaction method in accordance with GOST-34-72-646-83 on a standard device, where maximum addition densities are obtained for each type of material ($\rho_d^{min}; \rho_d^{max}$). The results of the standard seal are shown in Table 2. The maximum densities of addition of model mixtures, as well as the maximum density of natural soil and the required laying density are equal $0,95 \rho_d^{max}$ [13-15].

Table 2. Results of standard compaction of stone material

Zones	Densities of model mixtures		Natural soil ρ_d^{max}	Required densities ρ_d^{mp}
	ρ_d^{min}	ρ_d^{max}		
WE	1.52	1.98	2.14	2.03
WN	1.49	1.87	2.12	2.01

Conclusions. The “fish” of the stone curve for a thrust prism reaches up to 1000 mm in fraction, and according to the results of experiments at the test site 200 mm, i.e. the curve shown on the graph is the upper curve. To obtain the data of the lower curve, it is necessary to conduct research during the filling process.

As can be seen from the granulometric compositions and densities of the stone material laid in the experimental embankment, the relative precipitation of the layer of stone material in the embankment decreases with an increase in fine-grained fractions in the soil composition (fr.<5 mm). At loads of 4.0 MPa, they also decrease from 8.6 mm to 6.2 mm with an increase in fine earth from 5% to 18%. With an insufficient amount of fine-grained rock, the porosity of the rock mass is high enough and the deformations of the material are significant. The most optimal value of fine-grained soil is 18-25%, at which precipitation will not exceed 6 mm.

The construction of pressure-bearing soil structures shows that at different stages of design, no matter how the indicators of the properties of soil materials are established, their uncertainty is inevitable, since they must correspond to the actual density of the laid soil in the structure, the exact value of which becomes known only during construction. Even experienced rolling operations, which establish not only the technological parameters of soil laying, but also the geotechnical properties after its compaction, do not show sufficiently accurate values of soil properties, since they are carried out in conditions different from the main construction in terms of the scale of excavation, they cannot take into account all the spatial variability of soil properties in quarries.

References

1. Ibragimov K., Brovko I.S., Usenkulov J.A., Sayymkulov E.B. Problems of construction of ground structures by directional explosion / Bulletin of KAZGAS, 2020. – № 1 (75). – P. 200-206.
2. GOST 30416-2020 Soils. Laboratory tests
3. BR RK 3.04-03-2018 Foundations of hydraulic structures
4. GOST 20522-2012 Soils. Methods of static processing of test results.
5. Buol S.W., Southard R.J., Graham R.C., McDaniel P.A. Soil genesis and classification. – 6th ed. – USA: Wiley – Blackwell, 2019. – P.543.
6. Charles W.W. The state-of-the-art centrifuge modelling of geotechnical problems at HKUST // Journal of Zhejiang university SCIENCE A. – 2014. – Vol.15. – Pp. 1-21.
7. Kevin S.R., Reddy K.R. True triaxial piping test apparatus for evaluation of piping potential in earth structures // Geotechnical testing journal. – 2018. – Vol. 33. – № 1. – Pp. 83-96.
8. Kuangmin Wei Study on collapse behaviors of coarse-grained soils // Periodica Polytechnica, Civil Engineering. – 2018. – Vol.56. – № 2. – Pp. 245-252.
9. Sangtarashha K., Fakher A., Pahlevan B. Variation of stiffness of Tehran coarse-grained soil with depth and strain // Deformation Characteristics of Geomaterials. IOS Press. Amsterdam – 2019. – Pp. 1007-1015.
10. Shi W.-Ch., Zhu J.-G., Chiu Ch.-F., Liu H.-I. Strength and deformation behaviour of coarsegrained soil by true triaxial test // Journal of Central South University. – 2020. – Vol. 17. – № 5. – Pp. 1095-1102.
11. Soroush A., Jannatiaghdam R. Behavior of Rockfill Materials in Triaxial Compression Testing // International Journal of Civil Engineering. – 2017. – Vol. 10. – No. 2. – Pp. 153-183.
12. Artykbaev D.Zh., Baibolov K.S., Rasulov H.Z. Stability Analysis of fine soils from a road project, M32 Samara-Shymkent (Russia - Kazakhstan). // International Journal of GEOMATE. – 2020. – Vol 19. – Issue 76. – Pp. 205-212. ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.76.78503> Special Issue on Science, Engineering and Environmen.
13. Okamura M., Abdoum T.N., Dobry R. Effect soft sand permeability and weak after shockson Earthquake – induced lateral speading // J Soil sand Foundations. – 2001. – Vol.41(36). – P.166-169.
14. Soil and rock mechanics testing equipment. – Controls, 2015. – 109 p.
15. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). – СПб.: Изд-во Лань, 2014. – 415 с.

Список литературы

1. Ибрагимов К., Бровко И.С., Усенкулов Ж.А., Сайымкулов Е.Б. Проблемы возведения грунтовых сооружений направленным взрывом / Вестник КазГАСА, 2020. – № 1 (75). – С. 200-206.
2. ГОСТ 30416-2020 Грунты. Лабораторные испытания
3. СН РК 3.04-03-2018 Основания гидротехнических сооружений
4. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний.
5. Buol S.W., Southard R.J., Graham R.C., McDaniel P.A. Soil genesis and classification. – 6th ed. – USA: Wiley – Blackwell, 2019. – P. 543.
6. Charles W.W. The state-of-the-art centrifuge modelling of geotechnical problems at HKUST // Journal of Zhejiang university SCIENCE A. – 2014. – Vol. 15. – Pp. 1-21.
7. Kevin S.R., Reddy K.R. True triaxial piping test apparatus for evaluation of piping potential in earth structures // Geotechnical testing journal. – 2018. – Vol. 33. - №.1 - Pp. 83-96.
8. Kuangmin Wei Study on collapse behaviors of coarse-grained soils // Periodica Polytechnica, Civil Engineering. – 2018. – Vol.56. – № 2. – Pp.245-252.
9. Sangtarashha K., Fakher A., Pahlevan B. Variation of stiffness of Tehran coarse-grained soil with depth and strain // Deformation Characteristics of Geomaterials. IOS Press. Amsterdam, 2019. – Pp. 1007-1015.
10. Shi W.-Ch., Zhu J.-G., Chiu Ch.-F., Liu H.-I. Strength and deformation behaviour of coarsegrained soil by true triaxial test // Journal of Central South University. – 2020 – Vol.17. – № 5. – Pp. 1095-1102.
11. Soroush A., Jannatiaghdam R. Behavior of Rockfill Materials in Triaxial Compression Testing // International Journal of Civil Engineering – 2017. - Vol. 10. – No. 2. – Pp. 153-183.
12. Artykbaev D.Zh., Baibolov K.S., Rasulov H.Z. Stability Analysis of fine soils from a road project, M32 Samara-Shymkent (Russia - Kazakhstan) // International Journal of GEOMATE. – 2020. – Vol. 19. – Issue 76. – Pp. 205-212. ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.76.78503> Special Issue on Science, Engineering and Environmen.

13. Okamura M., Abdoum T.N., Dobry R. Effect soft sand permeability and weak after shockson Earthquake – induced lateral spreading // J Soil sand Foundations. – 2001. – Vol. 41(36). – P. 166-169.
14. Soil and rock mechanics testing equipment. – Controls, 2015. – 109 p
15. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). – СПб.: Изд-во Лань, 2014. – 415 с.

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_281
IRSTI 67.09.43

**S.A. Kosparmakova¹, M.J. Konkanov¹, Zh.A. Nurakhmetova²,
R.M. Dyusova³, G.Zh. Seytenova²**

¹Research and Production Center "ENU-Lab", Astana, Kazakhstan

E-mail: smartsam0509@gmail.com*

E-mail: marcon@metrology.kz

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

E-mail: zhanaranurakhmet@gmail.com

E-mail: gainiseitenova@gmail.com

³NAO "Toraigyrov University", Pavlodar, Kazakhstan

E-mail: riza92@bk.ru

REVIEW OF RUBBER RECYCLING PRACTICAL STUDIES AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS IN USING ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS

АСФАЛЬТТЫ ЖОЛ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ РЕЗЕҢКЕҢІ ҚАЙТА ӨНДЕЛУІ: ҚОЛДАНБАЛЫ ЗЕРТТЕУЛЕР МЕН ТЕХНОЛОГИЯДАҒЫ ЖЕТІСТІКТЕРГЕ ШОЛУ

ОБЗОР ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ РЕЗИНЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Abstract. This review paper examines the global situation of modifying asphalt binder using crumb rubber, offering a thorough summary of the progress achieved in this area till now. Utilizing a broad range of international experiences, the study explores the various procedures, strategies, and formulations used by researchers and practitioners throughout the globe. The examination covers significant advancements in the manufacture of crumb rubber, the modification procedures of binders, and the subsequent improvements in the performance of asphalt.

The article analyzes case studies and research results from different nations, highlighting the intricate strategies used to enhance the integration of crumb rubber into asphalt binders. Moreover, the study examines the economic, environmental, and performance-related consequences linked to these alterations, emphasizing the sustainable and cost-efficient elements that have gained growing recognition within the global asphalt community.

This paper seeks to provide significant insights into the current practices, problems, and possible future prospects in the field of modifying asphalt binder using crumb rubber by synthesizing and comparing data from various locations. This resource is very beneficial for academics, engineers, and politicians who want to use worldwide experiences to improve sustainable and resilient asphalt infrastructure.

Keywords: asphalt modification, bitumen, pavement, crumb rubber, asphalt concrete.

Аңдатпа. Бұл жетістіктерге шолу мақалада резеңке ұнтақтарды қолдана отырып, асфальтбетон тұтқыр модификациясының жаһандық жағдайы қарастырылады, осы салада бүгінгі күнге дейін қол жеткізілген прогреске егжей-тегжейлі шолу жасалады. Халықаралық тәжірибенің кең ауқымын пайдалана отырып, зерттеу бүкіл әлем бойынша зерттеушілер мен тәжірибешілер қолданатын әртүрлі технологияларды, әдістер және тұжырымдамаларды

зерттейді. Сараптама резеңке ұнтақтарын өндірудегі елеулі жетістіктерді, тұтқыр заттарды өзгерту процедураларын және асфальтбетонның пайдалану сипаттамаларын одан әрі жақсартуды қамтиды.

Мақалада өртүрлі елдердегі жағдайлық зерттеулер мен зерттеу нәтижелері талданады, резеңке ұнтақтардың асфальтбетон тұтқырларына интеграциясын жақсарту үшін қолданылатын күрделі стратегиялар қарастырылады. Сонымен қатар, зерттеу асфальт өндірушілердің әлемдік қауымдастығында барған сайын танымал болып келе жатқан тұрақты және үнемді элементтерге назар аудара отырып, осы өзгерістерге байланысты экономикалық, экологиялық және өнімділікке байланысты салдарды қарастырады.

Бұл мақаланың мақсаты – өртүрлі көздерден алынған деректерді жалпылау және салыстыру арқылы резеңке ұнтақтарды қолдана отырып, асфальтбетон тұтқыр затын өзгерту саласындағы қазіргі тәжірибе, проблемалар және мүмкін перспективалар туралы маңызды түсінік беру. Бұл ресурс тұрақты асфальтбетон инфрақұрылымын жақсарту үшін әлемдік тәжірибені пайдаланысы келетін ғалымдар, инженерлер және саясаткерлер үшін өте пайдалы.

Түйін сөздер: асфальт модификациясы, битум, жол жамылғысы, резеңке ұнтақтары, асфальтбетон.

Аннотация. В данной обзорной статье рассматривается глобальная ситуация с модификацией асфальтового вяжущего с использованием резиновой крошки, а также дается подробный обзор прогресса, достигнутого в этой области к настоящему времени. Используя широкий международный опыт, в исследовании рассматриваются различные процедуры, стратегии и формулы, используемые исследователями и практиками по всему миру. Рассматриваются значительные достижения в производстве резиновой крошки, процедуры модификации вяжущих веществ и последующее улучшение характеристик асфальта.

В статье анализируются тематические исследования и результаты исследований, проведенных в разных странах, подчеркиваются сложные стратегии, используемые для улучшения интеграции каучуковой крошки в асфальтовые вяжущие. Кроме того, в исследовании рассматриваются экономические, экологические и эксплуатационные последствия, связанные с этими изменениями, подчеркиваются устойчивые и экономически эффективные элементы, которые получили растущее признание в мировом асфальтовом сообществе.

Данная работа призвана обеспечить значительное понимание текущей практики, проблем и возможных будущих перспектив в области модификации асфальтового вяжущего с использованием резиновой крошки путем синтеза и сравнения данных из различных мест. Этот ресурс очень полезен для ученых, инженеров и политиков, которые хотят использовать мировой опыт для улучшения устойчивой и жизнеспособной асфальтовой инфраструктуры.

Ключевые слова: модификация асфальта, битум, дорожное покрытие, резиновая крошка, асфальтбетон.

Introduction. Over the past few years, the traffic intensity on the roads of Kazakhstan and the world as a whole has increased significantly. In addition, the number of vehicles and the traffic load on the road have increased, but with such a load, the road construction technologies themselves are developing much more slowly than necessary. To solve this problem, the government decided to put new roads into operation and repair the old ones. In accordance with the road projects implemented under the Nurly Zhol state program, taking into account that almost all constructed roads are covered with both asphaltconcrete and cement, and the importance of comprehensive research on their development [1].

The asphalt concrete road construction industry most often uses asphalt or bitumen as a binder in the design of asphalt concrete pavement and modifies its composition and properties with various additives in order to improve the quality of the pavement. Based on international research, an in-depth study of the use of natural waste and local materials in the country, their reuse is of the most important task [2]. According to various sources, the viscosity of asphalt used in flexible hot-added asphalt coatings (HMA) is a hydrocarbon containing saturated substances, aromatic compounds, resins and asphaltenes (according to the analysis of the Sara test) [3]. There are various methods and sources of its production. Currently, the production of 1 ton of bitumen (asphalt binder) requires 22.5 kg of natural gas, 50.5 kg of crude oil, 10.9 kg of coal, 0.003 kg of uranium and 1239 liters of water. In addition, the extraction process generates

300 g of greenhouse gas (GHG) emissions, 1800 g of compounds are used in the production of asphalt in the sea or on land, and 155 g of hydrocarbons are washed out into the soil [4]. In terms of the life cycle of the European Bitumen Association's flexible asphalt pavers, the production and design of these materials have a major impact on the environment. At the beginning of the nineteenth century, a number of scientists documented the factors affecting the chemical composition, physical characteristics, origin and properties of asphalt concrete binders [5]. The materials production stage includes processing of raw materials/secondary raw materials/secondary raw materials in one plant, transportation of processed materials to the production site and production of finished asphalt concrete mix, and the construction stage includes roadbed mixes and final size composition [6].

In order to solve the oxidation process, its causes, and ways to change the rheological and mechanical properties associated with the construction, operation, and maintenance of flexible sidewalk systems, sidewalk manufacturers mainly focus on obtaining modified binders with improved rheological properties [7].

With reduced crude oil reserves, reduced quarry volumes, and increased environmental restrictions, opportunities have opened up for processing asphalt by-products. The foreground includes recycling waste tires or rubber. Tires are disposed of at the end of their service life [7]. Geographically, the lack of dedicated recycling lines is the biggest challenge for the tire or rubber industry. This leads to the fact that used tires and used tires are freely released into external spaces, which leads to serious environmental consequences [4].

As the main activity of many countries to limit the accumulation of discarded tires in warehouses, the main goal is to process tires into pellets or rubber powders (CR) through various mechanical processes, including puncturing, separating, shredding and disassembly. One of the advantages of tire recycling is the separation of iron steel and textiles from rubber parts [6]. This regenerative material can significantly reduce the load on the tire's environment. According to a study by Dauer et al. (1985), asphalt has found that there are different sizes of rubber powder mixtures for viscosity, which can give significantly different results and may be the most economical technological solution [8].

There is still a very high interest in creating asphalt concrete with environmentally friendly CR powders, which contribute to the closed-loop economy by recycling materials obtained from used tires. Therefore, the main purpose of this research review is to collect and present up-to-date information on rubberized asphalt concrete material. Special attention is paid to rubber processing technologies, methods of production of rubberized asphalt, interaction of rubber with asphalt, and innovative products of the road surface made of rubber [9].

Materials and methods of research. Production and composition of rubber powders. The term "rubber powder modifier" (CRM) is a general term referring to the process of adding tire rubber to an asphalt binder that has been used to improve the quality of asphalt concrete. In general (West et al., 1998) there were the methods and equipment used to process or recycle tire scrap in full using cracker mills, granulators, micromachines, and cryogenic machines [10]. Each operation creates different CR sizes, textures, and gradations. These classifications are determined by the type of equipment used, the size of fractions, and the scope of application. The scientist (Presti, 2013) described several solutions that can reduce the number of tires that are recycled today [11]. Among the procedures currently used waterproofing grinding, cryogenic grinding, wet grinding, and natural grinding. All of these processes involve different operating modes, each characterized by a unique combination of temperature, pressure, and crushing equipment. In contrast to cryogenic grinding, grinding in the environment leads to the formation of rubber chips with such properties as a large surface area of rubber, low density, rough texture, irregular shape and porosity (Memon, 1998a; West et al., 1998; Presti, 2013) [12]. Compared to the cryogenic procedure, the method in the medium has become more

economical due to the use of a simpler processing technique. Recently, a thermomechanical extrusion method using a twin screw extruder has been invented (Rasool et al., 2017). This process is also known as the tire recycling method. This twin-screw extrusion technology requires high operating speed, high operating temperature, constant CR regeneration, and high productivity [13]. In 1998, it was discovered that viscous AR developed using CRM at various CRM processing facilities has significant differences in storage quality and characteristics. The ability of a modified CR asphalt product to succeed depends not only on the choice of a suitable CRM method, but also on the type of road surface used [14]. The CR results obtained by various CRM methods, in contrast to the 1998 studies by West et al., showed that the results of rubberized asphalt or bitumen differed in their storage properties and characteristics [15]. Taking into account the amount of energy resources consumed for the production of 1 ton of CR rubber powder, according to the work of Farina et al. [16] (2017), 1.45 tons of discarded tires are obtained and 384 kWh of electricity, 2.99 liters of diesel fuel, 0.22 m³ of water, 0.04 kg of lubricating oil and various auxiliary materials are required. When assessing environmental impacts, CR production accounts for 10% of global warming potential (GWP), freshwater toxicity, and average terrestrial toxicity (Bartolozzi et al., 2012) [17]. In addition, if secondary products (steel and textiles) are not taken into account in CR production, greenhouse gas emissions and energy losses amount to about 307 kg of CO₂. Although Steel is an expensive recyclable commodity, if textiles are used as a fuel resource in the production of refractories, the overall environmental load of CR production will have a negative value, as well as the fact that electricity used in grinding is the main source (72-73%). Farina et al. (2014) note that the presence of both reserves is not known [18].

As noted above, changes in the performance characteristics of asphalt pavements are affected by the viscoelastic properties of the binder asphalt under various environmental conditions. To develop an effective AR binder based on the CR mixture, it is necessary to describe the rheological properties of modified CR binders, since binders are significantly affected by CR processing technology, fraction size, gradation, CR dosage, mixing methods, asphalt treatment time, and the origin of vulcanized rubber, according to Navarro et al., 2006, which is also found in Chetin's 2013 paper [19]. The CR ranges in size from 4.75 to 0.075 mm and is made up of smaller remanufactured rubber parts. The ASTM D 6114 standard (ASTM, 2009) recommends that the size of rubber parts in any case should not exceed 2.36 mm of the screen for use on AR road surfaces. In many countries, CR grading for the production of AR binders that meet local and regional conditions has its own characteristics (Austroads, 2000; California Department of Transportation, 2006; SABITA, 2015).

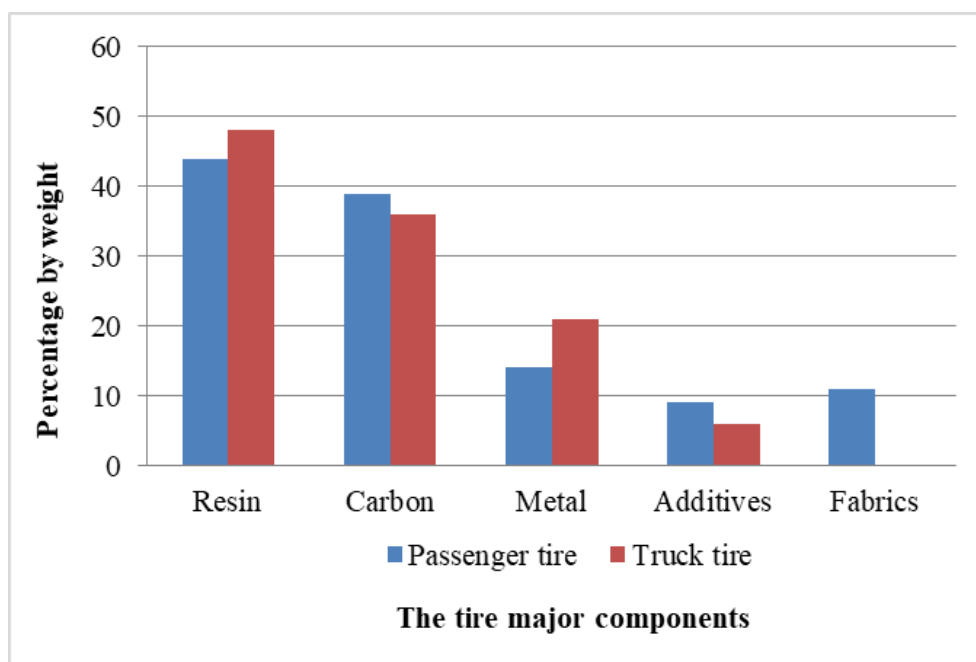
Many specifications do not mention the number of CRS passing through the 0.075 mm Screen, which can play an important role in creating the AR binding matrix. Various CR gradations with fine CR particles less than 0.150 mm in size (No. 100 sieves) have been found to result in AR binders, resulting in higher gauge tolerances and lower viscosity and temperature sensitivity (Venudharan and Biligiri, 2017) [20]. The concentration of CR added to asphalt depends on the type of road surface. According to ASTM (2009), the minimum amount of CR for the classification of rubberized bitumen AR should be 15% of the total weight of the main binder. Percentage ranges of CR for different organizations/guidelines were shown in Table 1, depending on the type of total gradation [21]. With an increase in the CR content by 5-40% of the total mass of the main binder, the results of the study led to an improvement in the rheological characteristics and storage stability of the AR binder (Navarro et al., 2005) [22]. However, in the case of an unconventional porous asphalt mix, Cetin (2013) notes that as a result of the dry process, the CR particle size was higher (more than 10%) with a fraction from 4.75 to 0.9 mm (from No. 4 to No. 20 sieves), which led to a decrease in productivity [19].

Table 1. Guidelines of various organizations for the approved CR size

Organizations / Guides	Arizona DOT	Florida DOT	Caltrans,	2006Sabita, 2015	Austrroads, 2000
CR size, %	≥20	5-12	18-22	18-24	15-18

Many researchers have identified the concept of exceeding the maximum size of CRM supplements over the average as the best way to assess the impact of the amount of CR (Shen et al., 2009a, b) [21]. The scope of this study included two types of CRM mixtures with three-dimensional (14, 30 and 40 sieves) obtained as a result of environmental and cryogenic methods. The average amount of cryogenic CRM mixtures was approximately 15% higher compared to the ambient method. In addition, the surface area of environmental and cryogenic CRM (SA) mixtures was, Emmett and quantified with the help of Brunauer, Emmett and Teller (BET) experts, and it was found that CRM impurities in the environment twice as large as cryogenic SA [23]. In the environment, grinding results in granular CR with a large SA and spongy surface structure, while cryogenic grinding results in CR with a clean, smooth smooth surface (Roberts et al., 1989) [24]. A larger volume of CRM impurities results in a higher reaction rate with asphalt viscosity.

Siddiq and Nike (2004) identified typical materials used in tire manufacturing. The CR product obtained from tire waste comes from two sources: (1) passenger cars and (2) trucks. Figure 1 shows the percentage of the main components of automobile tires used in several regions of the world [25].

**Figure 1.** Percentage of the main components of automobile tires used in several regions of the world

The elastomeric component of two types of tires (passenger and cargo vehicles) weighs about 40-45%. The second important component is coal-black in the range of 22-28% by weight [26]. Black carbon протекторлары gives stiffness and flexibility to tire treads and sidewalls

(Way et al., 2012). The following calculation of steel is about 12-18% by weight, which gives strength and hardness. Other components may include mixtures and fabrics in the range of 5-10% by weight [27]. Typically, CR is a mixture of natural rubber (NR) or polyisoprene, synthetic rubber (SR), such as styrene-butadiene-rubber. In addition, (Dower et al., 1985; Roberts et al., 1989; Mikinis and Michon, 1998; Navarro et al., 2005, 2006; Siddiq and Naik, 2004; Miskolci et al., 2008; Way et al., 2012; Cetin, 2013; Gawibazou and Abdelrahman, 2013; Presti, 2013), according to (SBR), cross-binding agent (e.g., sulfur), metal oxides (e.g., zinc carbon monoxide), accelerator (e.g., fatty acids, amines), anti-oxidation substances (e.g., metal oxides), antioxidants, antiozonants, enhancers such as stearic acid, carbon black, process oils, plasticizer, fillers, fibers, steel, metal, textiles (for example, nylon, polyester) and powders depending on the area are available [28].

Technology for obtaining a rubber powder modifier. Any method of mixing CRM with hot asphalt viscosity using special equipment is a wet process. In accordance with the ASTM D8 standard (ASTM, 2018), viscous substances modified only with CR are designated as "AR" if the rubber content is at least 15% of the total mass of the asphalt binder, and they are created by a wet process [29]. Various problems were solved with a coating in the form of viscous asphalt AR obtained by the wet method, cracked seals absorbing the stress of membrane layers (SAMI), and an AR-HMA mixture (Heitzman, 1993; Presti, 2013). One of the objectives of the review of this document was to cover the limitations and application areas of the augmented reality creation process. For example, Memon (1998a) notes that after adding CR to the binder, new molecular-sized particles are formed in the matrix during wet mixing, and it tends to settle on the bottom of the tank before mixing with fillers. Due to the heterogeneity of the AR binder, a modified AR mixture was implemented for smoothing at the earliest stages (Memon, 1998a, b). The reason for CR precipitation was its limited solubility in various pure binders (Shatanavi et al., 2013). AR binders have been found to have poor storage stability at high temperatures due to segregation (Navarro et al., 2006).

In addition, it is recommended to use an AR binder produced using existing technologies for a short time, since the AR interaction гелъсан quickly reach the gel point, and when the binder has a very high viscosity, the system loses its fluidity (Zanzotto and Kennepol, 1996). The reason for this was due to the small amount of CR depolymerization and poor dispersion. From a practical point of view, AR production requires the use of ground-based mobile mixing units and a modified binder within six hours of its production (Takallow and Senton, 1992). The most important problems associated with the stability of storage of modified asphalt in the field include: (1) phase separation at high storage temperatures and (2) decomposition of the graded asphalt mixture (Bahia et al., 1998; Bahia and Zhai, 2011). The results of the laboratory test method for asphalt stability (the latter), introduced by Bahia and his colleagues, showed that the storage stability of the modified binder depends on the storage time, the type of converter, the source of pure asphalt, the storage temperature and the speed of mechanical mixing. (Bahia and Simply, 2011) [30]. The Asphalt-Rubber standard practice Manual (Way et al., 2012) indicates the need for special pumping and flow-measuring equipment required for the production of AR binder. Regardless of the specific equipment; pumping and measuring the required proportion of a unique AR binder with the appropriate consistency is a difficult task. Several agencies and researchers (Tacallow and Senton, 1992; Heitzman, 1993; Hicks, 2002; California Department of Transportation, 2006; Way et al., 2012; Presti, 2013) approved various stages of AR production, storage, advantages and limitations as a document. In fact, the requirements for specialized mixing plants, storage tanks, and high initial costs have limited the increased use of AR-based laying procedures in major sidewalk construction work in some regions [31]. In this review, various factors were grouped into two main parameters: (1) internal and (2) external. Internal parameters include the materials involved in the production of the CRM binder, while

external parameters include processing conditions such as mixing speed, mixing time, and processing/curing temperature [32].

Results and their discussion. The effective performance of the AR binder depends on the molecular interactions between CR and asphalt cement. The fact that the two main interaction mechanisms that affect the binding properties of CRM using the wet method are rubber swelling and rubber depolymerization can be found in the work of Abdelrahman and Carpenter (1999). According to many researchers (Gael et al., 2006; Putman and Amirhanian, 2006), CR particle swelling in an asphalt medium is a physical type [33]. It was found that lower molecular weight fractions in fats and primary binders contained in bitumen interact with crushed CR, which leads to swelling of CRM controlled by the diffusion rate. (Stroup-Gardiner et al., 1993) in their work proved that swelling is associated with diffusion resulting from the movement of liquid into the inner matrix of the polymer, and not with a chemical process. (Billiter et al., 1997a) are aromatic oils that help achieve a homogeneous AR binder by digesting / dissolving CR particles [34].

Since the interaction between asphalt and CR is physical, the fact that their compatibility depends on the proximity of their solubility parameters can be found in Stroop-Gardiner and Havel (1993, 2006). Gawel et al. (2006) found that light asphalt fractions easily penetrate the internal CR matrix as a result of gel liquidity chromatography. According to Ibrahim et al. (2013), rubber saw dust swells up to 3-5 times its original size due to the absorption of maltenes in the main binder, leaving a relatively high proportion of asphaltenes and subsequently increasing the viscosity of the modified binder [35]. According to the work of Bahia and Jay in 2011, it was found that the chemical components of the main binder also affect the storage resistance, where it was found that bituminous asphalt with a high asphalt content has a higher degree of decomposition than bituminous asphalt with a low content [36].

Billiter et al. studied five types of asphalt cement classified by SARA composition and their effect on rubber dissolution. The saturation content in binders below asphalt also led to faster and higher dissolution of rubber. Abdelrahman and Carpenter concluded that the modification of the main binder is based on the exchange of components, since rubber particles absorb light fractions during swelling and release fat components during digestion. According to a study conducted by Ayeri et al., bitumen and CR mixed in a 2:1 ratio showed a decrease in the amount of saturating substances and aromatics at three different processing times (1, 6 and 24 hours) and one test temperature (155 °C), but showed an increase in the amount of asphalt and rubber. Green and Tolonen (1997) identified the following factors that potentially affect the rate of swelling: (1) the balance of interaction between the maltene fractions of asphalt and rubber, (2) the activity of maltenes, and (3) the absorption of fats by rubber particles.

The fact that the amount of rubber chips in AR is regulated by the pumping and mixing capabilities in the production of HMA asphalt concrete for road surfaces is stated in the work of Chekhov [37]. Increasing the rubber concentration resulted in increased elasticity at low temperatures, better wear resistance, high fatigue resistance, and a lower oxidation index. It was shown that the viscosity of AR mixtures increases proportionally, starting from 15%, while a small increase in the CR content above 15% quickly increases the viscosity of AR mixtures [38]. An increase in the rubber content reduced the leakage index, and the binder began to exhibit non-Newtonian behavior (Stroup-Gardiner et al., 1993). Studies of air-blown bitumen (Billiter et al., 1997a; Divya et al., 2013) showed a change in strain values and an increase in elastic strain recovery with increasing rubber size. Increasing the rubber concentration above 20%, according to Novarro et al., led to the creation of a two-phase system with a non-uniform temperature dependence (2005). The introduction of CR into the asphalt binder in various doses, up to a maximum of 40%, reduces the storage modulus (G') and loss modulus (G'') at lower temperatures (-10 °C), demonstrating significantly greater flexibility [39]. On the contrary, at high temperatures (70 °C), it was found that the value of

both module parameters was relatively higher than the loss modulus of the storage module, which indicates the potential for resistance to the formation of a circular footprint [40]. Various percentages of CR mixed with asphalt binder are collected in Table 2 to describe its effect on various rheological parameters.

In addition, to obtain a uniform AR viscosity, asphalt binder and rubber crumbs are mixed and mixed in a bowl with rotating blades (Way et al., 2012). The complexity of the AR binder increases when both materials move against gravity and centrifugal force when mixed, Green and Tolonen published in the paper. According to experts, excessive shear force should not be used, as it has been found to accelerate the vulcanization process of rubber.

Table 2. Set of conclusions for different CR percentages

Works of the author	Rubber content	Conclusions
Thodesen et. al.	5,10,15 20%	particle effect (PE) and interaction effect (IE) increases with increasing CR concentration
Takallou, Sainton	8,9, 10%	optimal thermorheological properties can be obtained in 10%.
Shen et. al.	10 15%	a high percentage of CRM leads
Stroup-Gardiner et. al.	10, 15, 20%	viscosity increases with an increase in the percentage of CR regardless of the type of rubber
Billiter et. al.	10, 20%	an increase in the amount of rubber increased complex viscosity $ G^*$ / and a reduced phase transition angle (δ)
Putman and Amirkhan	10, 15%	particle effect (PE) significantly affects the composition of CRM, while the interaction effect (IE) increases with increasing CR concentration.
Cetin	The permeability of porous asphalt mixtures Cetin 10, 15, 20%	The permeability of porous asphalt mixtures decreased with increasing amount of rubber

In the work of Ibrahim et al. mixing at a high shear rate is considered to reduce the size of large rubber particles, which reduces the mixing time. AR mixtures prepared at 4000 rpm (rpm) and mixtures prepared at 8000 rpm using a high-speed mixer had a similar viscosity at high temperatures (Billiter et al., 1997a). Abdelrahman and Carpenter (1999) used three-bladed propellers without a shear mechanism at two rotational speeds. The 200 rpm speed was initially maintained for three minutes, and then reduced to 80 rpm over a three-hour interaction period. However, no conclusions were drawn about the variable shear rate, since it was assumed that the interaction begins in three minutes. Gavibazou and Abdelrahman (2013) noted that the dissolution of bulk CR fractions at the initial mixing stage (10 min) depends on the shear rate during mixing. Table 3 summarizes various studies that study the effect of the mixing rate on the mechanism of interaction of CR with asphalt.

Study by Mikinis and Michon also states that mixing time can lead to loss of volatiles from CR when heated at high temperature with increasing mixing time, or to rubber dissolving in asphalt. At the total temperature (177 °C) used to produce AR, mixing time intervals of 15, 30 and 45 minutes did not significantly affect the viscosity and phase angle of the modified binders. At different processing times (0.5, 1 and 2 hours) at temperatures below 200 °C, the deformable part of natural and synthetic rubber increases with increasing reaction time.

However, at temperatures above 220 °C, with a mixing time of 2 hours, the elastic recovery for both types of rubber did not significantly improve, while natural rubber, on the contrary, showed a decrease in deformation recovery.

Green and Tolonen, found that the mixing temperature had two different effects on the CR swelling mechanism: (1) the rate of swelling increased significantly with increasing temperature, and (2) the degree of swelling decreased with increasing temperature. Billiter and others have reported that CR devulcanization increases at 232°C, and devulcanization and depolymerization increase at 260°C, which is worrisome. Leite and Soares noted that AR obtained at 190 °C for the same type of asphalt and recovery conditions showed higher compatibility than at 150°C. Increasing the mixing time led to an increase in interaction, and increasing the mixing temperature led to faster interaction. The experimental research program of these scientists used an operating temperature of 177 °C, since it was taken into account as similar to that used for the production of CRM binders in the field in general. Experiments with formulas close to 177± 10°C at the production temperature made it possible to obtain a homogeneous and stable AR matrix.

Table 3. Collection of various studies that study the effect of the mixing rate on the mechanism of interaction of CR with asphalt

The authors	State that mixing speed, rpm	Mixing temperature, °C	Conclusions
Billiter et.al	4000 and 8000	232-260 °C increasing	mixing rate reduced the deposition rate of the rubber fraction in the binder
Billiter et. al.	500	177 °C	the degree of rubber dissolution may not be optimal at low shear rates
Leite and Soarses	4000	180-200 °C	Increasing the mixing speed leads well to homogeneous mixtures with sealing properties and storage
Novarro et. al.	1200	180 °C	it is recommended to increase the mixing speed
Novarro et. al.	8200, 1200 and 100 (with two different devices)	90, 120, 180, 210 to 250 °C	the geometry of the mixing device and impeller has little effect on the rheology of the CRMB.
Li and Liao	7000	180 °C	asphalt is absorbed by CR, forming a homogeneous mixture with better penetration and softening values.
Aflaki and Memarzadeh	5500 and 600	170 °C	shear rates had a significant impact on low temperature performance, and mixing at low shear improved intermediate and high temperature performance.

Conclusion. The possibility of recycling tire scrap re-introduces the boundaries of the life cycle of transport tires. Thus, asphalt concrete with rubber chips (gravel) is one of these reclaimed materials that are widely used in the road system. It can reduce energy consumption and greenhouse gas emissions if considered over its entire life cycle. In addition, as a CR modifier, AR improves the rheological and mechanical properties of mixtures, extending the service life of special coating systems or delaying maintenance and restoration strategies compared to conventional unmodified asphalt coatings. The main purpose of this review was to provide information on various aspects related to CR modified materials, such as raw material

extraction, rubberized asphalt production methods, and improved rubber products, with a particular focus on their effectiveness in overcoming the challenge of storage sustainability, energy use during production, and resource savings as well as mechanical characteristics.

In general, the origin and attributes of CR related to production methods, source, physical nature, physiognomy, chemical composition, and environmental impact have been documented abroad. The technology for processing the addition of CR to an asphalt binder was also considered, paying particular attention to their limitations from an engineering and environmental point of view. The review also showed that the curing parameters had a significant impact on the rheology of the AR binder, including: mixing temperature, mixing speed, and mixing time were considered, as well as the lack of consensus on a uniform working/processing state that can provide the best AR mixture with a wet process.

According to the authors cited earlier, the best temperature range for making polymer-modified bitumen with rubber granules is between 177 and 232 degrees Celsius. The temperature range depends on the size of the rubber powder particles used in the combination. Furthermore, it is advisable to maintain a period of two hours for both the swelling and mixing procedures in order to guarantee the precision and effectiveness of the experimental results.

Gratitude. «This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882278 «Establishment of a construction and technical engineering centre to provide a full cycle of accredited services to the construction, road-building sector of the Republic of Kazakhstan»»).

References

1. Kosparmakova S.A., Shashpan Z.A., Guler M. An advanced method for the development of highly reliable asphalt concrete mixture: 3 // *Kompleks. Ispolzovanie Miner. Syra Complex Use Miner. Resour.* 2023. Vol. 326. – № 3. – P. 41-49.
2. Samal K. et al. THE POLYMER EFFECTS ON BITUMEN PERFORMANCE PROPERTIES IN KAZAKHSTAN | *GEOMATE Journal* [Electronic resource]. URL: <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/3646> (accessed: 21.11.2023).
3. Rashad A.M. A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials // *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2016. – Vol. 5, № 1. – P. 46-82.
4. Ibrahim M.R. et al. A Review on the Effect of Crumb Rubber Addition to the Rheology of Crumb Rubber Modified Bitumen // *Adv. Mater. Sci. Eng. Hindawi*, 2013. Vol. 2013. P. e415246.
5. Advanced Characterization of Crumb Rubber-Modified Asphalts, Using Protocols Developed for Complex Binders - Sohee Kim, Ssu-Wei Loh, Huachun Zhai, Hussain U. Bahia, 2001 [Electronic resource]. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/1767-03> (accessed: 27.12.2023).
6. Venudharan V. et al. Asphalt-rubber gap-graded mixture design practices: a state-of-the-art research review and future perspective // *Road Mater. Pavement Des. Taylor & Francis*, 2017. Vol. 18, № 3. P. 730–752.
7. Bressi S. et al. A comparative environmental impact analysis of asphalt mixtures containing crumb rubber and reclaimed asphalt pavement using life cycle assessment // *Int. J. Pavement Eng. Taylor & Francis*, 2021. – Vol. 227 – № 4. – P. 524-538.
8. Dong Y., Tan Y. Mix Design and Performance of Crumb Rubber Modified Asphalt SMA. *American Society of Civil Engineers*, 2012. – P. 78-86.
9. Li D. et al. Compressive stress strain behavior of crumb rubber concrete (CRC) and application in reinforced CRC slab // *Constr. Build. Mater.* 2018. – Vol. 166. – P. 745-759.
10. Effect of Tire Rubber Grinding Method on Asphalt-Rubber Binder Characteristics - Randy C. West, Gale C. Page, John G. Veilleux, Bouzid Choubane, 1998 [Electronic resource]. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/1638-16> (accessed: 27.12.2023).
11. Lo Presti D. Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review // *Constr. Build. Mater.* 2013. – Vol. 49. – P. 863–881.
12. 92-3207-libre.pdf.
13. Bressi S. et al. Crumb Rubber Modifier in Road Asphalt Pavements: State of the Art and Statistics: 6 // *Coatings. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2019. – Vol. 9. – № 6. – P. 384.
14. Frantzis P. Development of crumb rubber reinforced bituminous binder under laboratory conditions.

15. Wang X. et al. Durability Evaluation Study for Crumb Rubber–Asphalt Pavement: 16 // Appl. Sci. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019. – Vol. 9. – № 16. – P. 3434.
 16. Farina A. et al. Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement // Resour. Conserv. Recycl. 2017. – Vol. 117. – P. 204-212.
 17. The environmental impact assessment of Asphalt Rubber: an interesting application for end of life tires [Electronic resource]. URL: <https://research.unipg.it/handle/11391/1401027> (accessed: 27.12.2023).
 18. Cetin A. Effects of Crumb Rubber Size and Concentration on Performance of Porous Asphalt Mixtures // Int. J. Polym. Sci. Hindawi, 2013. – Vol. 2013. P. e789612.
 19. The influence of crumb rubber modifier (CRM) microstructures on the high temperature properties of CRM binders: International Journal of Pavement Engineering: Vol 6, No 4 [Electronic resource]. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298430500373336> (accessed: 27.12.2023).
 20. Chen Y. et al. Evaluation of crumb rubber modification and short-term aging on the rutting performance of bioasphalt // Constr. Build. Mater. 2018. – Vol. 193. – P. 467–473.
 21. Moreno-Navarro F. et al. Analysis of the influence of binder properties on the mechanical response of bituminous mixtures // Int. J. Pavement Eng. Taylor & Francis, 2017. – Vol. 18, № 1. – P. 73-82.
 22. Liu G. et al. Influence of the chemical composition and the morphology of crumb rubbers on the rheological and self-healing properties of bitumen // Constr. Build. Mater. 2019. – Vol. 210. – P. 555-563.
 23. Roberts F.L. et al. INVESTIGATION & EVALUATION OF GROUND TIRE RUBBER IN HOT MIX ASPHALT.
 24. Siddique R., Naik T.R. Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview // Waste Manag. 2004. Vol. 24. – № 6. – P. 563-569.
 25. Wang J. et al. Modelling of rheological and chemical properties of asphalt binder considering SARA fraction // Fuel. 2019. – Vol. 238. – P. 320-330.
 26. Mohammadi I. Investigation on the use of crumb rubber concrete (CRC) for rigid pavements: Thesis. 2014.
 27. Riekstins A., Baumanis J., Barbars J. Laboratory investigation of crumb rubber in dense graded asphalt by wet and dry processes // Constr. Build. Mater. 2021. – Vol. 292. – P. 123459.
 28. Xu J. et al. Research on crumb rubber concrete: From a multi-scale review // Constr. Build. Mater. 2020. Vol. 232. P. 117282.
 29. Bahia H.U. Synthesis of Use of Crumb Rubber in Hot Mix Asphalt. 2011.
 30. Mirwald J. et al. Investigating bitumen long-term-ageing in the laboratory by spectroscopic analysis of the SARA fractions // Constr. Build. Mater. 2020. – Vol. 258. – P. 119577.
 31. Chittella H. et al. Rubber waste management: A review on methods, mechanism, and prospects // Polym. Degrad. Stab. 2021. Vol. 194. P. 109761.
 32. Abdulrahman S. et al. Review on the potentials of natural rubber in bitumen modification // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. IOP Publishing, 2020. – Vol. 476. – № 1. – P. 012067.
 33. Eskandarsefat S. et al. Recycling asphalt pavement and tire rubber: A full laboratory and field scale study // Constr. Build. Mater. 2018. – Vol. 176. – P. 283–294.
 34. Dong D. et al. Swelling process of rubber in asphalt and its effect on the structure and properties of rubber and asphalt // Constr. Build. Mater. 2012. – Vol. 29. – P. 316–322.
 35. Zhu H. et al. Swelled Mechanism of Crumb Rubber and Technical Properties of Crumb Rubber Modified Bitumen: 22 // Materials. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. – Vol. 15. – № 22. – P. 7987.
 36. Hasani H. et al. The Influence of Treated and Untreated Crumb Rubber on Concrete Mechanical Properties: A Review. 2022.
 37. Mohajerani A. et al. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review // Resour. Conserv. Recycl. 2020. – Vol. 155. – P. 104679.
 38. Coatings | Free Full-Text | Crumb Rubber Modifier in Road Asphalt Pavements: State of the Art and Statistics [Electronic resource]. URL: <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/6/384> (accessed: 27.12.2023).
 39. Perkins A.N. et al. Evaluation of potential carcinogenicity of organic chemicals in synthetic turf crumb rubber // Environ. Res. 2019. – Vol. 169. – P. 163-172.
-
-

ҚҰРЫЛЫС
СТРОИТЕЛЬСТВО
CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_292
MFTAA 67.23.15

Д.Т. Курманова¹, З.А. Есполова², Ж.К. Уазырханова³

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

¹E-mail: DamKurmanova@edu.ektu.kz

²E-mail: ZEspolova@edu.ektu.kz*

³E-mail: ZhUazirhanova@edu.ektu.kz

ОҚУ ПРОЦЕСІНЕ ALLPLAN ГРАФИКАЛЫҚ БАҒДАРЛАМАСЫН ЕНГІЗУ

ВНЕДРЕНИЕ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ГРАФИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ ALLPLAN

INTRODUCTION OF THE ALLPLAN GRAPHIC PROGRAM INTO THE EDUCATIONAL PROCESS

Аңдатпа. *Ғимараттарды ақпараттық модельдеу технологиясын құрылыс саласына енгізу үшін бірінші кезекте осы мамандыққа білікті мамандар даярлау қажет. Құрылыс индустриясында бәсекеге қабілетті, BIM технологияларын меңгерген маман дайындауды сапалы жүргізу, білім алушының ақпараттық ойлау шеңберін кеңейту секілді мәселелер зерттеу жұмысының өзектілігін білдіреді.*

Зерттеудің ғылыми-әдіснамалық негіздері – білім берудегі психологиялық-педагогикалық, философиялық, ғылыми-әдістемелік негіздерінен, аталған саладағы проблемалар, сондай-ақ, жеке тұлғаны дамыту проблемасы бойынша отандық және шетелдік ғалымдар еңбектерін қарастырады. ALLPLAN графикалық бағдарламасын оқу үрдісіне енгізу арқылы білім беру сапасын көтеру мүмкіндіктерін диагностикалауды жүргізу бойынша әдістеме жасау зерттеудің практикалық маңыздылығын көрсетеді.

Осы мақалада білім беру жүйесін ақпараттандырудың негізгі мақсаты - жобалаудың қолданбалы бағдарламаларын қолдана отырып, маман даярлау сапасын арттыруды мүмкін ететін ақпараттық білім беру ортасын құра отырып, атап, айтқанда, ALLPLAN графикалық бағдарламасын оқу процесіне енгізу тәжірибесі қарастырылған.

Түйін сөздер: *Allplan, модель файлы, әлемдік білім кеңістігі, инновациялық технологиялар, құрылыс индустриясы.*

Аннотация. *Для внедрения технологий информационного моделирования зданий в строительную сферу необходимо, в первую очередь, подготовить квалифицированных специалистов. Актуальность исследовательской работы представляют такие вопросы, как качественное проведение подготовки конкурентоспособного в строительной индустрии специалиста, владеющего технологиями BIM, расширение круга информационного мышления обучающегося.*

Научно-методологические основы исследования – это психолого-педагогические, философские, научно- методические основы в образовании, проблемы в данной области, а также труды отечественных и зарубежных ученых по проблеме развития личности. Разработка методики по проведению диагностики возможностей повышения качества образования путем внедрения графической программы ALLPLAN в учебный процесс показывает практическую значимость исследования.

В данной статье рассмотрен опыт внедрения в учебный процесс графической программы ALLPLAN, создавая информационную образовательную среду, позволяющей повысить качество подготовки специалистов с применением прикладных программ проектирования, что является главной целью информатизации системы образования.

Ключевые слова: *Allplan, файл модели, мировое образовательное пространство, инновационные технологии, строительная индустрия.*

Abstract. To introduce technologies of information modeling of buildings into the construction sphere, it is necessary, first of all, to train qualified specialists. The relevance of research work is represented by such issues as high-quality training of a specialist competitive in the construction industry who owns BIM technologies, expanding the range of information thinking of the student.

The scientific and methodological foundations of research are psychological, pedagogical, philosophical, scientific and methodological foundations in education, problems in this area, as well as the works of domestic and foreign scientists on the problem of personal development. The development of a methodology for diagnosing the possibilities of improving the quality of education by introducing the ALLPLAN graphic program into the educational process shows the practical significance of the study.

This article discusses the experience of introducing the ALLPLAN graphic program into the educational process, creating an information educational environment that allows improving the quality of training of specialists using applied design programs, which is the main goal of informatization of the education system.

Keywords: Allplan, model file, global educational space, innovative technologies, construction industry.

Kipicne. Білім беру саласын ақпараттандырудың басты мақсаты – біртұтас ақпараттық орта құру, ендеше, осы салада жаңа ақпараттық технологияларды қолдануға, Республикадағы ақпараттық кеңістікті әлемдік білім беру кеңістігімен жалғастыруға мүмкіндіктертер ашылады.

Білім беру саласын ақпараттандырудың басты міндеттері төмендегідей:

- ақпараттық және техникалық құралдармен жабдықтау;
- білім беру саласын ақпараттандыруға байланысты практикалық шараларды анықтап, оларды іске асыру;
- оқу-тәрбие процесінде осы ақпараттық технологияларды енгізуді жүргізу бойынша ғылыми-ізденушілік, оқу-әдістемелік жұмыстар атқару;
- оқытылатын пәндер бойынша жасақталатын оқу-әдістемелік кешендердің мазмұнын заманауи ақпараттық технологияларды қолдану мүмкіндіктерімен кемелдендіру, білім беру саласында ақпараттық жүйе құру;
- оқу процесін бағдарламалық-техникалық құралдармен жабдықтау, электрондық оқулықтар жасау;
- маман даярлаушы кадрларды заманауи ақпараттық технологияларды өз қызметтеріне еркін пайдалана білуге әзірлеу, жүйелі түрде біліктіліктерін көтеру.

Қазақстан Республикасының Президенті Қ.К. Тоқаевтың «Әділетті Қазақстанның экономикалық бағдары» атты 2023 жылдың 1 қыркүйегіндегі Қазақстан халқына Жолдауында: «Экономиканы өркендетуге және халықты жұмыспен қамтуға ықпал ететін тағы бір бағыт – медиа, кино, музыка, дизайн, білім беру, ақпараттық технология салаларын қамтитын креативті индустрия», - деп атап көрсеткен [1]. Жастар нақты бір мамандықтың қыр-сырын жетік білуге ұмтылғаны жөн. Өз саласының шеберіне әрдайым сұраныс болады. Өскелең ұрпақ Қазақстанда ғана емес, өзге елдерде де бәсекеге қабілетті болуы керек.

Жаңа ақпараттық технологиялар өндірістің барлық саласына қарқынды түрде енгізілуде. Құрылыс ғимараттарының жобалық құжаттары заманауи ақпараттық технологиялар арқылы дайындалады.

Зерттеудің гипотезасы – ALLPLAN графикалық бағдарламасын пайдалана отырып мамандарды даярлау процесінің мазмұнын жетілдіру - құрылыс мамандығы бойынша дайындалатын білім алушылардың даярлық деңгейін арттыруға мүмкіндік береді, дамыған елдердің озық технологиялары негізінде жоғары технологиялық дәрежеге отандық құрылыс индустриясын жеткізу процесін жылдамдатады деп болжанады. Демек, бұған дейін қолданылып келген CAD технологиясынан BIM технологиясына технологиялық секіріс жасалады.

Зерттеу жұмысының басты мақсаты – құрылыс индустриясына ақпараттық модельдеу процесін кіріктіруде ALLPLAN графикалық бағдарламасын қолдана отырып, болашақ мамандар үшін оқыту мазмұнын, нысандарын және құралдарын жетілдіру мәселелері бойынша ұсыныстар даярлау.

Зерттеу жұмысының міндеттері:

- Ақпараттық модельдеу технологияларын, соның ішінде ALLPLAN графикалық бағдарламасын меңгеруде құрылыс саласы мамандарына қойылатын талаптарды анықтау, BIM-технологиялар нарығында, соның ішінде ALLPLAN графикалық бағдарламасын меңгерген мамандарға деген сұранысты зерттеу;

- Қазақстанда BIM технологиялары арқылы жобаларды орындауға қатысты мәселелерді бағалай келе, осы технологияларды, соның ішінде ALLPLAN графикалық бағдарламасын енгізуді жылдамдату жолдарын қарастырып ұсыну. ALLPLAN графикалық бағдарламасын оқып үйрену мақсатында бірыңғай ақпараттық модель жасаудың алдыңғы қатарлы тәжірибелерін зерделеу;

- Университетте оқу процесінде пайдалану мақсатында ALLPLAN графикалық бағдарламасын оқыту әдістемесін жасау;

- ALLPLAN графикалық бағдарламасы бойынша біліктілікті арттыру, қайта дайындау бағыты бойынша білім беру бағдарламаларын дайындау;

Әдеби шолу. Құрылыс мамандығы бойынша оқытылатын түлектерге өз мамандығына қажетті білімді, болашақ қызметінің әдіс-тәсілдерін меңгеріп қана қоймай, заманауи, озық үлгідегі маманға, келешек әлеуетті басқарушыға сай болатын жеке-тұлғалық, әлеуметтік-психологиялық сапаларды қалыптастыру өте маңызды. Осындай қайшылықтарды жою – зерттеу мәселесін айқындауға, сондай-ақ, зерттеу тақырыбын «Оқу процесіне Allplan графикалық бағдарламасын енгізу» деп таңдауға негіз болды.

Материалдар және зерттеу әдістері. Бүкіл әлем көлемінде орын алып жатқан әлеуметтік-экономикалық өзгерістерге орай, білім беру саласының да әлемдік білім кеңістігіне өтуі озық, заманауи талаптарға сай келетін жаңалықтар енгізуді талап етеді.

Құрылысшы мамандардың ақпараттық ой-өрісін, оның мәдениетін жоғары дәрежеге көтеру, олардың жаңа ақпараттық технологияларды меңгеруімен қатар, іскерлігін, дағдыларын қалыптастыра отырып, жетілдірудің өзектілігі айқын білінуде.

Университетте құрылыс бағыты бойынша дайындалатын студенттерге «Инженерлік және компьютерлік графика» пәні бойынша AutoCAD, Компас графикалық бағдарламалары арқылы жобалауда екі өлшемді технология қолданылады [2]. Екі өлшемді жобалау барысында сызбалар жеке орындалады, ғимарат элементтеріне қатысты ақпарат әр сызбаға таратылып орнатылады. Кей жағдайда сызбалар өз өлшемінде жасалмауы да мүмкін, олар сызықтар жиынынан тұрады, демек, осылайша көптеген сәйкессіздіктер орын алады. Осы сынды мәселенің ұтымды шешімдерінің бірі ретінде ALLPLAN графикалық бағдарламасының қолданылуын айтуға болады.

ALLPLAN графикалық бағдарламасын ақпараттық модельдеу технологиясы ретінде өндіріске енгізу білікті маман даярлауды талап етеді. Бүгінгі таңда оқу орындарында осы бағдарламаны қолдану жақсы жолға қойылмаған.

Осыған орай, зерттеу тақырыбының көкейкестілігі:

Заманауи, озық технологияға бейім, еңбек нарығында бәсекеге қабілетті маман даярлауды сапалы жүргізу, құрылыс саласы маманының ақпараттық ой-өрісін кеңейту, оның мәдениетін арттыру негіздерін анықтау – зерттеу жұмысының өзектілігі болып табылады.

ALLPLAN графикалық бағдарламасын оқу үрдісіне енгізу бойынша әдістемелік жоба жасау, ары қарай жобаны жетілдіріп, тәжірибеден өткізу, ғылыми-әдістемелік тұрғыдан жоба жұмысы барысында ұсыныстар жасау мақсат етіп қойылған.

ALLPLAN графикалық бағдарламасын қолдануда құрылыс бағыты бойынша дайындалатын студенттер үшін оқыту мазмұнын, нысандарын, құралдарын жасау бойынша ұсыныстар топтамасын әзірлеу.

Allplan – сәулетшілер мен құрылыс инженерлеріне арналған кешенді автоматтандырылған жобалау жүйесі (CAD).

Allplan – бұл біртұтас ақпараттық кеңістікте жобаның барлық қатысушыларын ғана емес, сонымен қатар әзірлеушілерді, инвесторларды және құрылыс құрылымдарын пайдалану бойынша мамандарды біріктіруге мүмкіндік беретін құрал [3].

Allplan – 1963 жылы Мюнхенде профессор Георг Немечек негізін қалаған Nemetschek AG фирмасының негізгі бағдарламалық өнімі. Allplan көмегімен жүзеге асырылатын жобаның негізінде ғимараттың және оған іргелес аумақтың ақпараттық моделі – Building Information Modeling (BIM) жатыр, ол жобаны әзірлеушілер арасында шығынсыз және қатесіз деректер алмасуға кепілдік береді [4].

Осылайша, Allplan-бұл ең алдымен ұжымдық пайдалануға бағытталған АЖЖ. Әрине, оның жеке қолданылуы да жоққа шығарылмайды. Бұл жағдайда Allplan-ның негізгі пайдаланушылары сәулетшілер болып табылады, олардың иелігінде құрылымдардың жобаларын жасауға мүмкіндік беретін құралдардың бай жиынтығы бар. Қазір Nemetschek бағдарламалық өнімдерін бүкіл әлем бойынша мыңдаған компаниялар пайдаланады. Ресейде Allplan-ның алғашқы локализацияланған нұсқасы 1998 жылы пайда болды [5].

Сонымен бірге бағдарлама тек орыс тіліне аударылып қана қоймай, сонымен қатар отандық стандарттарға мүмкіндігінше жақын болды, орыс стандарттарына сәйкес келетін элементтер кітапханаларымен толықтырылды. Allplan негізгі жұмыс құралына айналған ресейдегі алғашқы ұйымдардың бірі – «Уралкомплект-ғылым» фирмасы (Екатеринбург).

Allplan 2021 бұл құрылыс индустриясының талаптарын қанағаттандыру және цифрлық трансформация арқылы жеңіске жету үшін тамаша BIM шешімі. BIM бағдарламалық жасақтамасы және құрылыс индустриясындағы жетекші ALLPLAN ынтымақтастық және интеграция құралдары тамаша үйлесімділікті құрайды. Allplan 2021 оңтайлы өнімділік үшін жолды көрсететін технологияны ұсынады: Сіз көлемді және күрделірек жобаларда, соның ішінде күрделі геометрияларда, жоғары деңгейдегі бөлшектеу мен көптеген қосылыстармен бұрынғыдан оңайырақ, жылдамдырақ және ыңғайлырақ жұмыс істей аласыз. ALLPLAN бұлтты технологиясының көмегімен бүкіл желімен байланыста болып, тиімді жұмыс процестерін қолданып, BIM артықшылықтарын толығымен пайдалана аласыз.

BIM және цифрланудың дамуы барысында, сондай-ақ барған сайын көлемді жобаларға, талғампаз геометриялық пішіндерге, егжей-тегжейлі деңгейлерге және тәуелділіктің артуына байланысты есептеу қуатына қойылатын талаптар күрт артып келеді. Сондықтан Allplan 2021-ді дамыту кезінде басты назар оңтайлы өнімділік тақырыбына аударылды. Жаңа нұсқамен бағдарламалық жасақтаманың тиімді архитектурасы, жақсартылған алгоритмдер және деректерді оңтайландырылған басқару арқасында өңдеу жылдамдығын едәуір арттыруға мүмкіндік туды. Осылайша сіз уақытты үнемдейтін және жобаларда нәтижелі жұмыс істей алатын құрал аласыз. Бұған қоса, шатырлармен, арматурамен, болат құрылымдармен, әрлеу беттерімен, көріністермен және тіліктермен, Visual Scripting функциясымен, интерфейсстермен және Allplan Share өнімімен жұмыс істеуге арналған инновациялар бар.

Allplan әзірлеушілері оны «Концептуальді эскиздер мен қабат пландарынан үш өлшемді моделіне және жұмыс құжаттамасына жылдам алға жылжуға мүмкіндік беретін құралдары бар жан-жақты өнім. Allplan сіздің дизайныңызды жүзеге асырып қана қоймайды, сонымен қатар сіздің жұмысыңыздың тиімділігін арттырады» деп

сипаттайды. Әрине, бұл мәлімдеме белгілі бір дәрежеде жарнамалық сипатқа ие, бірақ біз тек Allplan-мен ғана емес, сонымен қатар басқа АЖЖ-мен де нақты жобаларды әзірлеу тәжірибесіне ие бола отырып, онымен келісуге дайынбыз. Allplan дегеніміз не? Оның ерекшеліктері қандай? Ең алдымен, Allplan – бұл әртүрлі мақсаттағы модульдер жиынтығы. Олардың саны нұсқадан нұсқаға дейін артып келеді және қазір төрт ондықтан асады. Модульдер сіздің алдыңызда тұрған міндеттерге байланысты жеке алынады. Минималды конфигурациясында жүйе екі өлшемді нысандарды, сызбаларды және сызба парағын құруға арналған құралдар жиынтығынан тұратын жалпы мақсаттағы модульдерді қамтиды.

Allplan жүйесінің негізі, сәулет-құрылыс АЖЖ ретінде, әрине, архитектуралық модуль болып табылады. Кез келген ғимарат немесе құрылым бастапқыда сәулетшінің ойында тек идеалдандырылған модель ретінде өмір сүреді, ол біртіндеп макеттер, сызбалар, жоспарлар, тіліктер түрінде көрініс береді. Стандартты архитектуралық элементтерді жасауға арналған құралдардың үлкен жиынтығымен Allplan болашақ құрылымның көлемді компьютерлік моделін құруға мүмкіндік береді. Құрылымның үш өлшемді моделімен барлық қажетті жоспарлар, қасбеттер мен тіліктер оңай жасалады.

Кез келген нақты жобада тек сәулетшілер ғана емес, сонымен қатар әртүрлі мамандықтардың инженерлері де жұмыс істейді. Олар сәулетшілердің дизайнын тасқа, металға, әйнекке енгізу жолдарын табуы керек. Мұны әрқашан бірден жасауға бола ма? Әрине, жоқ. Сондықтан Allplan жүйесінде сәулетшілер мен инженерлердің өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету мәселелеріне ерекше назар аударылады. Дизайн модульдері темірбетон конструкцияларын жобалауды автоматтандыруға мүмкіндік береді. Ешқандай құрылым өздігінен болмайды. Жобалау кезінде жер бедерін, қолданыстағы құрылыс жоспарын, қолданыстағы және жоспарланған жасыл желектерді ескеруге тура келеді. Осы мәселелердің барлығын жүйенің көмегімен жердің цифрлық моделін құру арқылы, сондай-ақ ландшафттық сәулет және қала құрылысы модульдерін пайдалану арқылы шешуге болады.

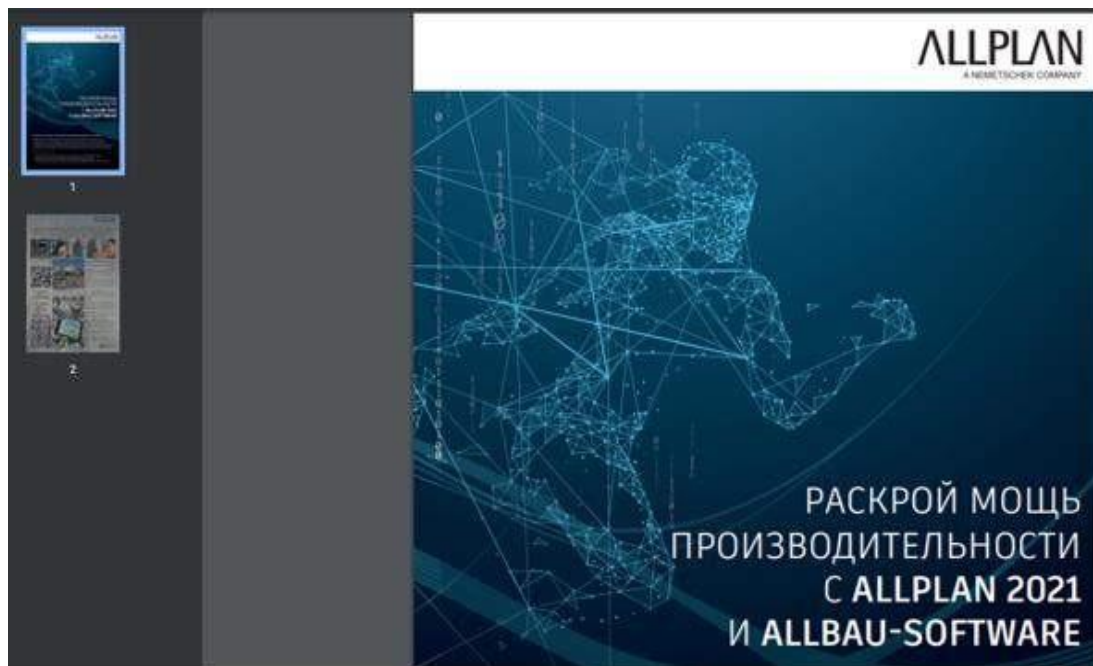
Сіздің жобаныз қаншалықты жақсы болса да, оны одан да жақсы түрде көрсету керек. Сондықтан Allplan жүйесін жасаушылар визуализация модуліне біріктірілген презентациялық материалдарды дайындау құралдарына көп көңіл бөлді. Олардың көмегімен сіз табиғи және жасанды жарықта көлеңкелерді есептей аласыз, жоғары сапалы растрлық кескіндер мен анимациялық бейнелерді ала аласыз. Allplan жүйесінде сантехника, жылыту, желдету және электрқабаттың ішкі инженерлік жүйелерін есептеуге және орналастыруға мүмкіндік беретін инженерлік желілерді жобалауға арналған модуль бар. Сәулетшілер мен инженерлердің бір жобада бір уақытта жұмыс істеу мүмкіндігі бар. Бұған Allplan жүйесі орнатылған бірнеше компьютерлерді желілік менеджерлер деп аталатын бірыңғай бағдарламалық-аппараттық кешенге біріктіру арқылы қол жеткізіледі.

Allplan тек дизайн жүйесі ғана емес, сонымен қатар объектінің көптеген атрибуттары мен оның жеке элементтерін сақтауға мүмкіндік беретін мәліметтер базасы болуымен қызықтырады. Жүйе кіріктірілген атрибуттарды ғана емес, сонымен қатар объектілерге пайдаланушы атрибуттарын беруге мүмкіндік береді. Айта кету керек, Allplan-да отандық стандарттарға сәйкес келетін әртүрлі стандартты элементтердің кең кітапханалары мен каталогтары бар.

Жүйені орнату толығымен автоматты түрде жүзеге асырылады. Сізге тек хабарламаларды мұқият оқып, компьютер сұрақтарына жауап беру керек. Олардың біріншісі – лицензияны таңдау. Дәл осы кезде жүйені орнатудың жоғарыда аталған әдістерінің бірін таңдау керек. Келесі сұрақ жобалар сақталатын папкаға қатысты. Сіз

өзіңіздің компьютеріңіздің кез келген папкасын немесе жоғарыда айтылған ұйымның кез келген жергілікті желі серверін көрсете аласыз. Бағдарламаны орнатқаннан кейін, материалдары, параметрлері мен сипаттамалары қолжетімді болуы үшін Allbau-дан Allplan-ға орыс тіліндегі локализация қосымшасын орнату керек (мысалы, «gusaddon2014-1(x64)_v0.x.x.exe»)

- оны тегін студенттік немесе коммерциялық нұсқалардың барлық пайдаланушылары алады, сонымен қатар Allbau веб-сайтынан жүктеуге болады [6].



1-сурет. Allplan-ның алғашқы локализацияланған нұсқасы

Бағдарлама жұмысы аяқталғаннан кейін Allplan 2014 және Allmenu көмекші бағдарламасын іске қосу үшін монитор экранында екі белгіше (иконкалар) пайда болады. Жұмыс процесінде Allmenu жүйесі Allplan-ды іске қоспай-ақ бірқатар қызметтік операцияларды орындау үшін қолданылады. Олардың ішінде: бағдарламалық және аппараттық құралдарды теңшеу функциялары, деректердің сақтық көшірмесін жасау және қалпына келтіру, жоба қатысушыларының желідегі бірлескен жұмысын ұйымдастыру функциялары және басқалар бар. Allmenu бағдарламасы қарастырылмайды [7].

2021-2022 оқу жылының басынан бастап Шығыс Қазақстан техникалық университеті Киев құрылыс-сәулет университетімен сәулет және құрылыс мектебінің студенттеріне арналған Allplan графикалық бағдарламасын оқу процесінде зерделеу және қолдану жөнінде шарт жасасты.

Оқу жылының бірінші жартысында СКЖЭМ-нің оқытушылары Д.Т. Құрманова, З.А. Есполова, Ж.К. Уазырханова, Г.А. Байзакова Allplan бағдарламасын меңгеру курсынан өтті. Оқыту онлайн режимінде өтті. Бағдарламаны меңгеру үшін серіктестер барлық құжаттар пакетін ұсынды: теориялық материалдар, бейне сабақтар, тапсырмалар, бекітуге арналған тестер. Семестр бойы оқытушылар берілген тапсырмаларды тыңғылықты орындап, тіркеп отырды, бақылау сұрақтарына жауап берді. Соңында курсты сәтті аяқтаған оқытушыларға Allplan сертификаттары табысталды.

САМОЕ МОЩНОЕ РЕШЕНИЕ В BIM ДЛЯ ВАШЕГО УСПЕХА

Allplan 2021 - инновационная технология, быстрая работа и самая высокая продуктивность. Таким образом, архитекторы, инженеры и технологи получают сочетание ключевых критериев успеха: доставка, сотрудничество и качество расчетов. Независимо от размера, сложности или уровня детализации проекта строительства.

ВАШИ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Максимальная производительность для больших и сложных проектов
- Мощная технология для междисциплинарного сотрудничества
- Интегрированные рабочие процессы OpenBIM для Архитекторов и Инженеров

ALLPLAN
ARCHITECTS COMPANY

BIM - ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ С ALLPLAN

ВЫ ИЩЕТЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ BIM, ПРОГРАММЫ САПР ДЛЯ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДАМИ ИЛИ РЕШЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ? СОВЕРШИТЕ ЭКСКУРСИЮ ПО ALLPLAN И ПУСТЬ НАШИ ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ И ПРОДУКТЫ УБЕДЯТ ВАС!

Allplan Campus

Зарегистрировались?

ALLPLAN
V. CAMPUS

АВТОРИЗОВАННЫЙ ПАРТНЕР
ALLPLAN Inc. в СНГ
ALLBAU SOFTWARE

127018, Г. МОСКВА,
ПЕР. 1-Й СТРЕЛЕЦКИЙ,
16 ОФ.308
+7 495 871 67 93
+38 067 242 94 86

hello@albau-software.de
www.albau-software.de

ALLBAU
software GJJ

STUTTGART 21

Stuyck Court School / Maidland

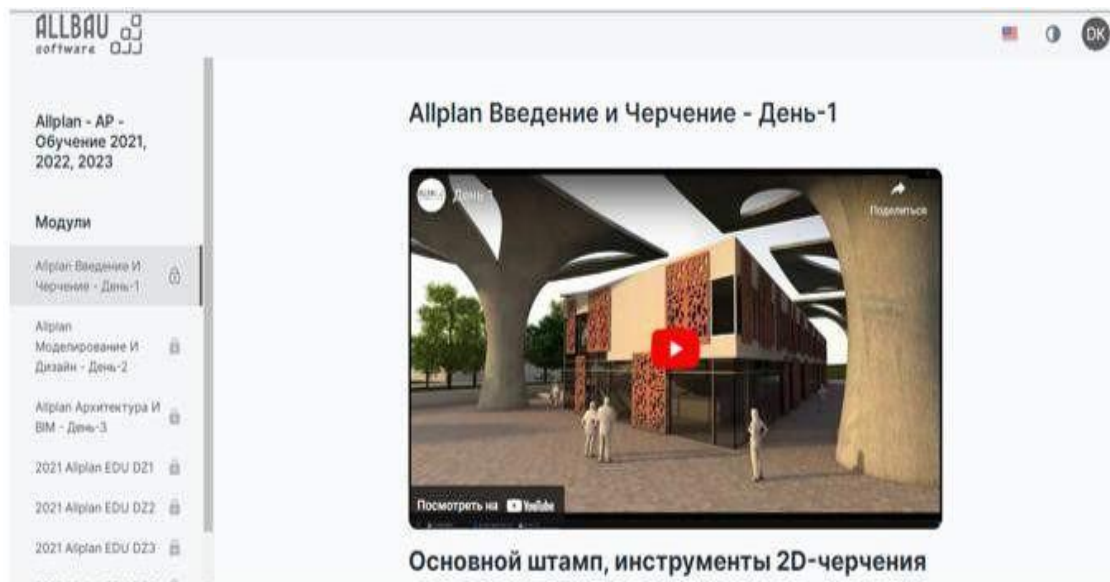
ALLPLAN
BIMPLUS

2-сурет. Allplan бойынша экскурсия

2021-2022 оқу жылының екінші семестрінен бастап Сәулет, құрылыс және энергетика мектебінің Құрылыс мамандығының студенттеріне оқытушылардың жетекшілігімен «Инженерлік және компьютерлік графика» сабақтарында Allplan бағдарламасы оқытылды. Сондай-ақ, студенттерге де осы бағдарламаны меңгеруге арналған барлық құжаттар пакеті ұсынылды. Курсты тамамдаған 22-СС-1, 22-ССК-1 тобының студенттері Allplan графикалық бағдарламасын меңгергені туралы сертификаттарға ие болды.

Киев университетінің серіктестерімен ынтымақтастық жалғасуда. Биылғы оқу жылында «Құрылыс» білім беру бағдарламасының соңғы курс студенттері осы бағдарламаны оқып үйренуге тартылды.

Бүкіл курс үш үлкен модульден тұрады: кіріспе және сызу, модельдеу және дизайн, сәулет және BIM (3-сурет) [8].



3-сурет. Allplan-ның кіріспе және сызу бөлімі

1 Модуль. Сызу:

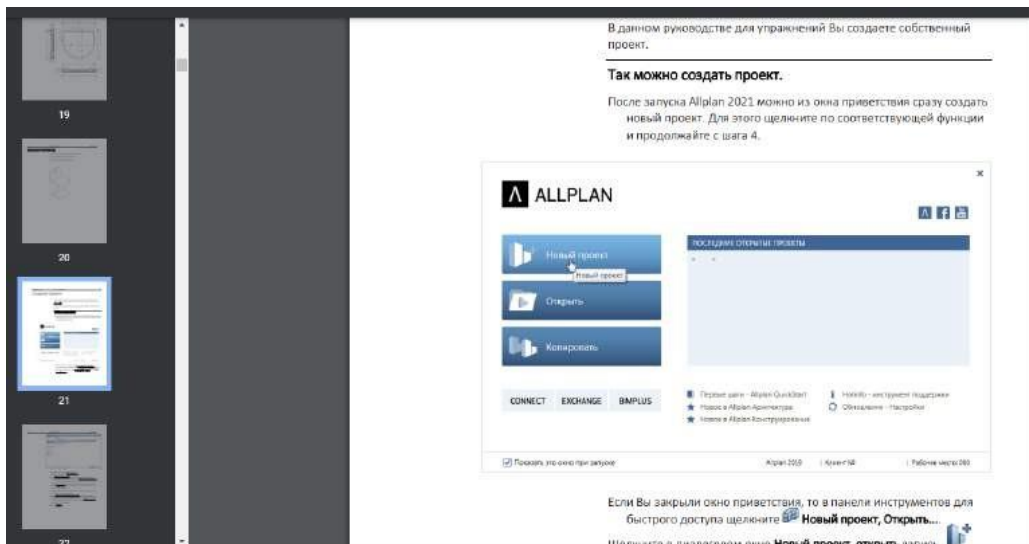
Қарастырылатын негізгі сұрақтар:

1. Жұмыс ортасын, жобаны теңшеу;
2. Қабаттармен, примитивтермен жұмыс жасауды үйрену;
3. Сурет элементтерін өңдеу бойынша жұмыс;
4. Масштабты анықтау;
5. Өлшем мәнерін теңшеу, үлгілерді және таңдаулыларды пайдалану;
6. Көмекшілер және жеке элементтер кітапханасын құру, символдар кітапханасы;
7. Сызу құралдарын орнату;
8. Графикалық элементтерді өңдеу бойынша жұмысты зерттеу;
9. Сурет элементтерін өңдеу бойынша жұмыс;
10. Элементтерді масштабтау;
11. Өлшем тізбектері, өлшемдерді автоматты түрде орналастыру [9].
12. Сызбаларды басып шығару, басып шығарудың және экспорттау түрлері.

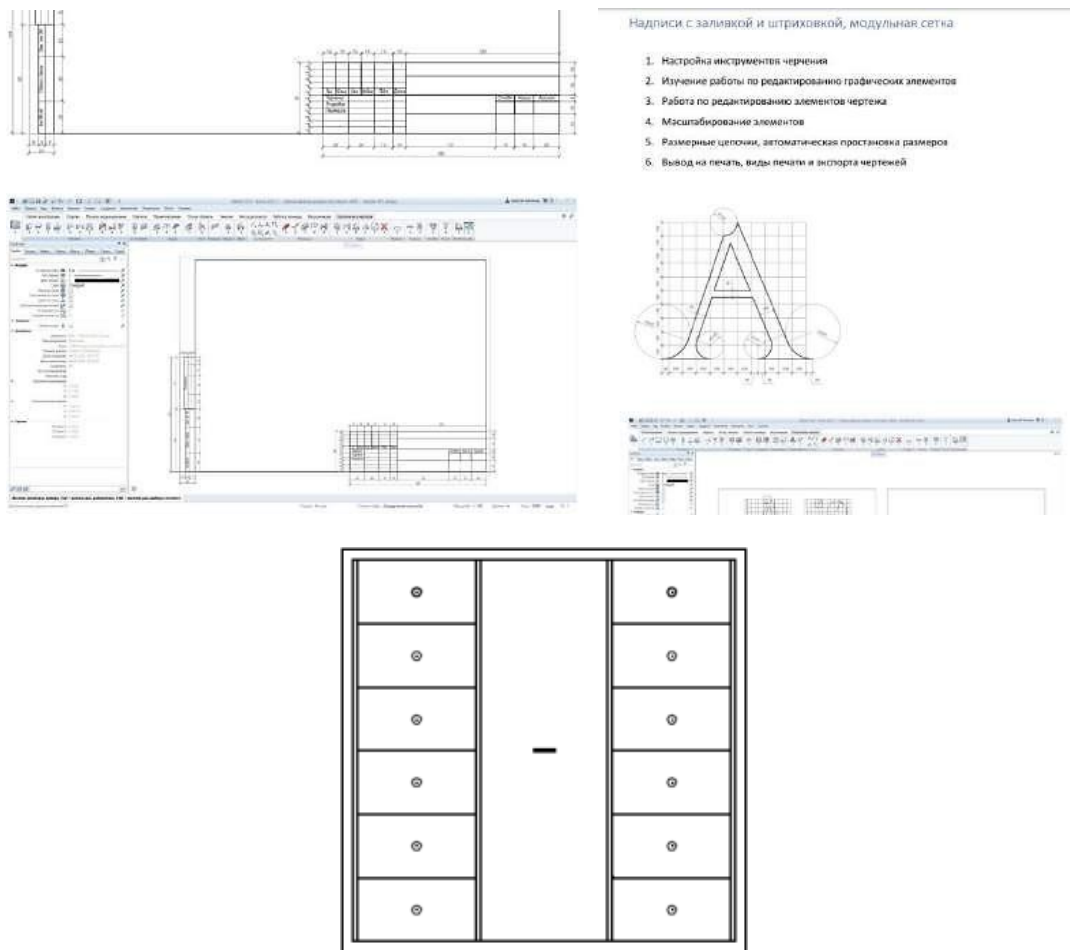
Модуль бойынша тапсырмалар:

1. Жаттығуларға арналған жеке жоба жасау.
2. Барлық жаттығуларға қолданылатын негізгі параметрлерді күйге келтіру.
3. Тартпалары бар картотекалық шкафты жобалау және өзгерту.
4. Өлшемдері бойынша Негізгі жазуды толтыру.
5. Боялған, штрихталған және модульдік тормен жазуды орындау.
6. Ритвелд Орындығы жобасын дайындау.

Төменде 1 модуль бойынша жұмыстар үлгісі келтірілген (4-сурет).



4-сурет. Allplan-да жаңа жоба жасау



5-сурет. 1-бөлім тапсырмалары

2. Модуль. Модельдеу және Дизайн (6-сурет).

Негізгі қарастырылатын сұрақтар:

1. Күрделі құрама контурлы объект жасау;
2. Сызықтық емес сегменттердің өлшем стилі;
3. Геометриялық және математикалық салулар;
4. Сынық сызықтар, Топтар, Құрама элемент;
5. Базалық 3D – денелер;
6. Күрделі беттерді салу және 3D – элементтерді редакциялау;
7. Бөлмені, аймақтарды және фрагментті әрлеу;
8. Экспликациялар мен есептеулер, материал көлемін есептеу;
9. Интерьер визуализациясы;
10. Бөлмені ашып көрсету;
11. Сызбаны орналастыру.

2 модуль бойынша тапсырмалар:

1. Нұсқа бойынша құмыраны салу;
2. План;
3. Әрлеу;
4. Экспликациялар мен есептер;
5. Интерьер визуализациясы.



6-сурет. 2-бөлім тапсырмалары

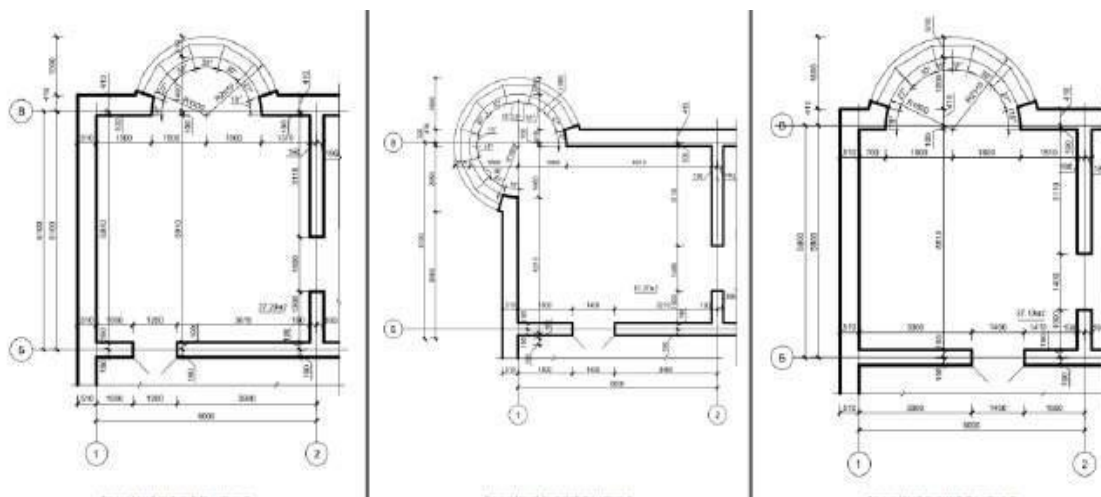
3 Модуль. Сәулет және BIM (7-сурет) [10-12].

3 модуль бойынша негізгі сұрақтар:

1. Шаблон;
2. Жоба;
3. Жоба құрылымы. Экспликациялар мен есептеулер, материал көлемін есептеу;
4. BIM стандарт;
5. Vimplus.

3 модуль бойынша тапсырмалар:

1. Қабырғаларды жобалау;
2. Координациялық осьтер;
3. Терезелер, есіктер;
4. Колонналар;
5. Баспалдақтар;
6. Жабын;
7. Шатыр;
8. Визуализация.



7-сурет. 3-бөлім тапсырмалары



8-сурет. Тапсырма жүктеу терезесі

Allplan графикалық бағдарламасын оқып үйрену үшін Александр Васильевич Некрасов пен Мария Александровна Срыбныхтың оқу құралымен танысу ұсынылады. Allplan 2014. Эскизден презентацияға дейінгі бірінші жоба: Электронды оқу басылымы. – Екатеринбург: ООО «Уралкомплект – наука», 2014. – 250 б. [11-12].

Құрал Allplan автоматтандырылған сәулет-құрылысты жобалау жүйесіне кіріспе болып табылады. Осы АЖЖ-ның жалпы түсінігімен және негізгі мүмкіндіктерімен танысқысы келетіндерге арналған, оны Құрылыс саласында оқитын «бакалавр», «маман», «магистр» деңгейіндегі студенттер пайдалана алады.

Allplan бағдарламасындағы модель файлдары жайлы жалпы ақпарат. Классикалық құрылыс инженериясының мөлдір калькасына ұқсас файлдарда модельдер жасалады. Модель файлдары жобаның сараланған құрылымын қамтамасыз етеді. Ақпараттық технология тілінде модельдік файл – файл болып табылады.

Экранда бір уақытта 1024 модельдік файлдарды көруге және өңдеуге болады, демек, бірнеше файл бір уақытта ашық тұрады. Жобада 9999 модель файлдары болуы мүмкін. Қабаттарсыз жұмыс істегенде, жеке құрылыс элементтері (мысалы, қабырғалар,

баспалдақтар, жазулар және т.б.) бөлек модель файлдарында сызылады, мөлдір беттер түрінде қабатталады.

Модель файлының статусын пайдалану арқылы қай модель файлдары салынатыны және қай модель файлдары көрінетіні немесе өңделетіні анықталады. Модель файлы статусы номері/Идентификатор.

1. Белсенді модель файлы сызба орындалатын файл болып табылады. Тек бір белсенді модель файлы болуы керек.

2. Фондық белсенді модель файлындағы фондық белсенді элементтер көрінеді және оларды өңдеу мүмкіндігі алынады. Бір уақытта 1024 модель файлдары белсенді, фондық белсенді және/немесе пассивті болуы мүмкін.

3. Пассивті модель файлдарындағы пассивті элементтер көрінеді, бірақ өңдеу мүмкін емес. Параметрлер терезесінде, Көрсету бетінде пассивті модель файлдарындағы барлық элементтерді біркелкі түсте көрінетіндей етіп конфигурациялауға болады. Бос модель файлдарын пассивті деп анықтау мүмкін емес.

4. Таңдалмаған модель файлдарының таңдалмаған элементтері көрінбейді.

5. Бос модель файлдары әзірше модель файлының идентификаторына ие емес.

6. Уақытша тағайындалған модель файлы модель файлдарының жиынтығына уақытша тағайындалады; модель файлдарының жиынтығын өзгерткен кезде тағайындау жойылады.

7. Жұмыс тобында Пассивті модель файлы басқа пайдаланушыда ашық.

8. Жұмыс тобындағы пассивті модель файлын басқа пайдаланушыда ашылған, қызыл түс оның өзгертілгенін көрсетеді. Контекстік менюдегі "Модель файлын жаңарту" батырмасы арқылы өзгерістерді алуға болады. Параметрлер терезесінде, Жұмыс үстелін күйге келтіру бетінде пассивті файлдардағы өзгеріс барысын реттеуге болатыны жайлы хабарланады.

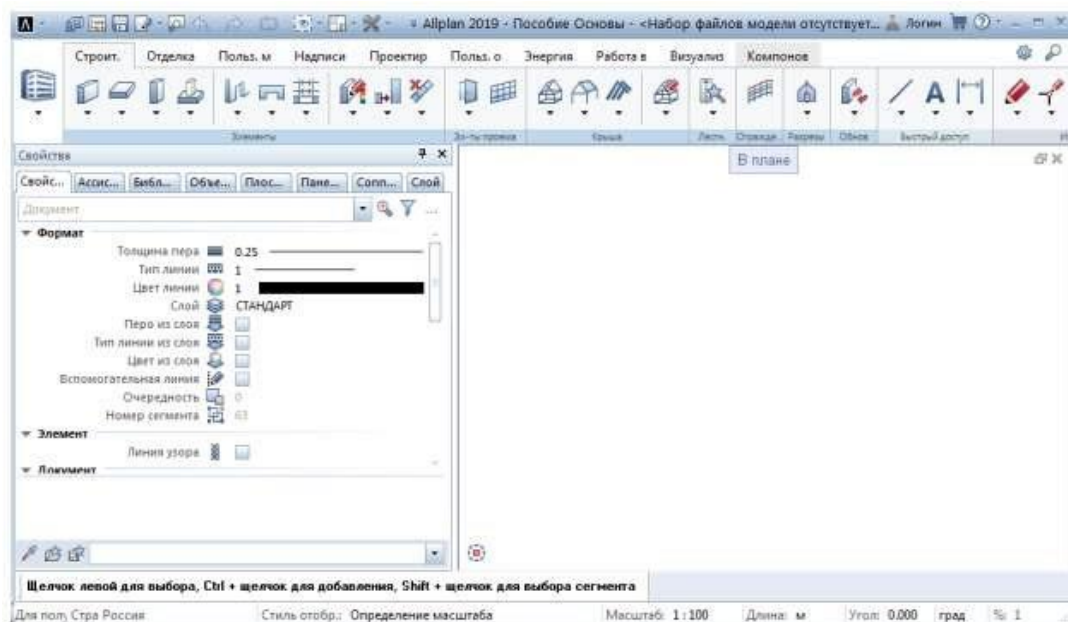
9. Сілтемесі бар Модель файлы модель деректерінен және/немесе басқа үлгі файлдарына сілтемелері бар көріністер мен тіліктерден тұрады. Бұл модель файлдарының байланыстары арматура Түрлері тапсырмалар тақтасының функцияларын пайдаланып жасалған көріністер мен тіліктерді жасағанда орын алады. Контекстік меню арқылы ағымдағы модель файлына сілтемелері бар барлық модель файлдарын көрсетуге немесе оларды белсенді немесе пассивті етіп орнатуға болады.

10. Автоматты түрде жасалған көріністер мен тіліктер Модель файлында контекстік меню арқылы алынған нысан құрылымы туындысында жасалған көріністер мен тіліктерден тұрады, оларды жасау нәтижесі осы модель файлында сақталған Тіліктер тапсырмалар тақтасының функциялары арқылы жасау барысындағы нәтижесі. Көріністер мен тіліктер, әдетте, басқа модель файлдарына сілтемелері болады. Олардың ішінде бар модель деректері ескеріледі.

11. Объект құрылымының туындылары үшін модель файлын жаңарту бұғатталған;

«Жаңарту» опциясы өшірілген көріністер мен тіліктер жасалған модель файлдарын жаңарту үшін бұғаттауға болады (мәтіндік мәзірде). Есептеу нәтижесі блок жойылғанда немесе «Автоматты түрде жаңарту» опциясы белсендірілгенде ғана жаңартылады. Мұндай модель файлындағы жаңа көрініс немесе жаңа тілік қауіпсіздік жүйесінің сұрауы бойынша жасалуы мүмкін.

12. Қолмен орналастырылған көріністер мен тіліктер Модель файлында Бөлімдер тапсырмалар аймағындағы функцияларды пайдаланып жасалынған көріністер мен тіліктері бар. Көріністер мен тіліктерде, әдетте, басқа модель файлдарына сілтемелер болады. Олардың ішінде бар модель деректері ескеріледі.



9-сурет. Қасиеттерді өзгерту терезесі

Нәтижелері және оларды талқылау. 2021-2022 оқу жылының басынан бастап Шығыс Қазақстан техникалық университеті Киев құрылыс-сәулет университетімен Сәулет, құрылыс және энергетика мектебінің құрылыс мамандығында оқитын студенттеріне арналған Allplan графикалық бағдарламасын оқу процесінде зерделеу және қолдану жөнінде шарт жасасты. Университет сайтында Allbau логотипі орналастырылды (10-сурет).



10-сурет. Allplan графикалық бағдарламасын оқу процесінде зерделеу және қолдану жөнінде шарт жасалды

Оқу жылының бірінші жартысында СҚЖЭМ-нің оқытушылары Д.Т. Курманова, З.А. Есполова, Ж.К. Уазырханова, Г.А. Байзакова Allplan бағдарламасын меңгеру курсынан

өтті. Оқыту онлайн режимінде болды. Бағдарламаны меңгеру үшін серіктестер барлық құжаттар пакетін ұсынды: теориялық материалдар, бейне сабақтар, тапсырмалар, бекітуге арналған тесттер. Семестр бойы берілген тапсырмаларды тыңғылықты орындап, курсты сәтті аяқтаған оқытушыларға Allplan графикалық бағдарламасы бойынша 180 сағатқа Халықаралық үлгідегі сертификат табысталды (11-сурет).



11-сурет. Сертификаттар

15.02.23 күні Allbau компаниясының Сәулет және құрылыс саласы бойынша Еуропадағы жетекші автоматтандырылған Allplan жобалау жүйесімен танысу мақсатында оқытушыларға, магистранттарға, студенттерге және құрылыс ұйымдарының өкілдеріне арналған онлайн-семинары өткізілді. Семинар қатысушылары өз қызығушылықтарын танытып, өздерінің нақты сұрақтарына жауап алып, ұсыныс-тілектерін ортаға салды (12-сурет).



12-сурет. Вебинар

Компьютерлік екі сыныпта сертификатталған Allbau бағдарламалық жасақтамасы орнатылып, «ALLPLAN бұрышы» ақпараттық стенді жасалды (13-сурет).



13-сурет. Оқу аудиториясын көркемдеу

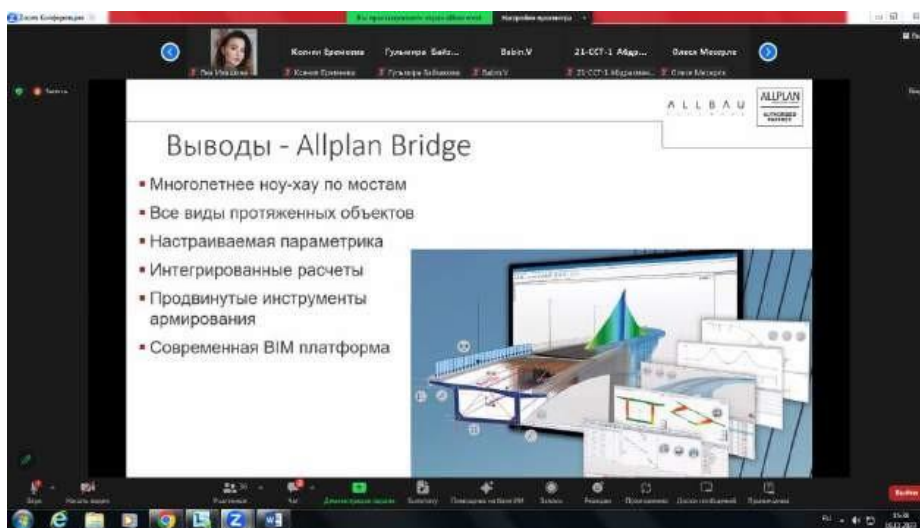
2021-2022 оқу жылының екінші семестрінен бастап Сәулет, құрылыс және энергетика мектебінде білім алып жатқан Құрылыс мамандығының студенттері оқытушылардың жетекшілігімен «Инженерлік және компьютерлік графика» сабақтарында Allplan бағдарламасы оқытылды. Сондай-ақ, студенттерге де осы бағдарламаны меңгеруге арналған барлық құжаттар пакеті ұсынылды. Курсты тамамдаған 22-СС-1, 22-ССК-1 тобының 17 студенті Allplan графикалық бағдарламасын меңгергені туралы Халықаралық үлгідегі сертификаттарға ие болды (14-сурет).



14-сурет. Студенттерге сертификаттар табыстау

Қазіргі таңда да Киев университетінің серіктестерімен ынтымақтастық жалғасуда. Биылғы 2023-2024 оқу жылында «Құрылыс» білім беру бағдарламасының соңғы курсының 25 студенті курсқа тіркеліп, қараша айынан бастап курсты бастап кетті. Сонымен бірге, осы оқу жылында мектебіміздің екі оқытушысы курсты меңгергісі келетіні туралы ұсыныстарын білдірді.

16.11.23 күні «Екі сағаттың ішінде 1 км арқалық көпірлерді қалай жобалауға болады және Allplan көмегімен BIM-де инфрақұрылымдық жобаларды жобалау тиімділігін арттыру» атты тақырыбында веб-семинар өтті. Вебинарда Allplan Bridge-дің кеңейтілген құрылымдарды параметрлік модельдеуге көзқарасы және жобалау процесін дұрыс ұйымдастыру арқалық көпірдің дәл 4D модельдерін оңай және тез құруға, сызбалар мен сипаттамаларды алуға, құрылыс жобасының басқа қатысушыларымен өзара әрекеттесуге мүмкіндік беретіні қарастырылды. Семинар барынша танымды, пайдалы болып, тыңдаушылардың графикалық бағдарламаға деген қызығушылығын арттырды. Сондықтан, келешекте де мұндай семинарлардың ұйымдастырылып тұрғаны абзал (15-сурет).



15-сурет. Вебинар

Қазіргі қоғамдағы интеграцияға өзінің кәсіби қызметінде осы қоғамды дамытуға әсер ете алатын болашақ маман-жаңашылды дайындауда, білім алушылардың графикалық бағдарламаларды жетік меңгеруі маңызды роль атқарады.

Графикалық бағдарламаны меңгерудегі білім беру бағдарламаларын жасауда пәнаралық тапсырмалар мен жобаларды орындау бойынша келесідегідей ұсыныстар беріледі:

1. Пәнаралық тапсырмалар мен жобалардың тақырыптарын білім беру бағдарламалары аясында оқытушылар, ғылыми зерттеушілер және өнеркәсіптік кәсіпорындарда арнайы тәжірибеден өткен мамандар құрастыруы қажет;

2. Жобалар топпен орындалған кезде ұжым нәтижелеріне жауап беретін жоба жетекшісі болуы міндетті;

3. Пәнаралық жоба жетекшілерінің оқу жүктемесін жүйелеуде пәнаралық жоба орындауға бөлінетін жүктеме көлемі бір студентке екі-үш сағаттан кем болмауы жөн.

ЖОО мен кәсіпорындар арасында өзара әрекет тиімділігін арттыру үшін келесідегідей әрекеттер қарастырылуы мүмкін:

- кәсіпорындарда базалық кафедралар ашу;

- ЖОО мен кәсіпорындардың өзара қатынасының түрлі нысандарын пайдалану;
- жоғары білім беруде практикалық дағдылар қалыптастыруға арналған оқу бағдарламаларын енгізу.

Зерттеудің басты бөлігін құрылыс мамандықтарының студенттері мен магистранттар құрады, олардан сауалнамалар алынды.

Зерттеу нәтижесі бойынша алынған нәтижелерді зерделеу барысында техникалық ғылымдарға және мамандық бойынша пәндерге деген қызығушылық жоғары - (81 %), құрылысшы мамандығының маңызы (67 %) төмен бағаланады, мамандық бойынша жұмыс істеуге деген құлшыныс (91 %) жоғары бағаланды.

Оқытушылардан алынған сауалнама нәтижелері:

- оқытушылардың 71 % ЖОО ғылым жетістіктері, ал оқу үрдісінде оқытудың жаңа технологиялары қолданылады деп ойлайды;

- оқытушылардың басым бөлігі оқытылатын пәннің ғылыми-әдістемелік қамтамасыз етілгеніне қанағаттанбаған, сондықтан, жаңа, жеке әдістемелік әзірлемелерді белсенді түрде пайдаланады;

- оқытушылардың басым бөлігі жаңа технологиялардың қолданылуын растайды, олардың 68 % BIM-технологияларды пайдалануда кедергілерге кезігуде, 32 % – білім беру әдістерін таңдауда, 16 % білім алушылармен жеке жұмыс барысында, 30 % білім алушылардың өз бетінше жұмыстарын ұйымдастыруда қиындықтарға кезігеді;

- Имитациялық модельдеу технологиясын пайдалануда оқытушылардың 25 % ғана өздерін дайынбыз деп есептейді;

- оқытушылардың қалғаны өздерін осы бағытта жұмыс жасауға дайын емеспіз деп санайды.

Қорытынды. Allplan сіздің жұмысыңыздың негізгі құралы болмас бұрын, біраз күш салу керек. Бұл, әсіресе, егер сіз бұрын басқа 2D сәулеттік-құрылыс жобалаумен жұмыс істеген болсаңыз өте маңызды. «Мен істеп жатқан нәрсені жақсарту (ұтымды ету) үшін Allplan-ды қалай пайдалануға болады?», деген сұраққа жауап іздеудің қажеті болмайды. Оның орнына өзіңізден: «Мен әлі жасамаған нәрсені жасау үшін жаңа технологияны қалай пайдалануға болады?», деп сұраңыз.

Егер сіз осы сұраққа жауап таба алсаңыз, Allplan сіздің таптырмас көмекшіңіз болады. Жасыратыны жоқ, қазір көптеген құрылыс компанияларының алдында жобалаушылардың еңбек өнімділігін айтарлықтай арттыру міндеті тұр. Жобалық құжаттаманы әзірлеуден қарағанда ғимараттар мен құрылыстар жылдамырақ тұрғызылады. Бұл мәселені шешудің мүмкін жолдарының бірі – Allplan-ды пайдалану. Жүйе бір жобада жұмыс істейтін сәулетшілер мен инженерлердің күш-жігерін біріктіруге мүмкіндік береді. Өкінішке орай, әрбір пайдаланушының жеке шеберлігі жылдам нәтижелерге кепілдік бермейді. Сондай-ақ топта жұмыс істеуді үйрену керек.

Әрі қарайғы инновациялар:

- Архитектуралық үлгілер сапасының жалпы жақсартулары, беттерді және тік сыртқы беттерді әрлеу жағдайында;
- Архитектуралық үлгілер тезірек жүктеледі және жаңартылады;
- Көріністер мен бөлімдердегі көпбұрышты кималарды жылдам өңдеу;
- Үлгідегі және көріністер мен бөлімдердегі бөлмеде және әрлеу қабаттарында нүктенің байлануы;
- Ассоциативті түсініктемелер мен есептерді жылдам есептеу;
- Нүктені байланыстыру және жалпы 3D денелер үшін таңдауды жылдам қарау (еркін пішіндегі нысандар), рамалық модель ретінде және анимация түрінде;
- Еркін пішінді тірек беттер жағдайында әрлеу бөлмелері мен беттері дұрыс көрсетіледі және есептеледі; нүктені байланыстыру және әрлеу қабаттарындағы таңдауды қарау;

- Қалыңдығы 0 болатын әрлеу беттері;
- Күрделі жабын/плита едендерін жылдам өңдеу;
- Күрделі жабын/плита едендері өзгерген кезде, жабын/плита едендері немесе шекара элементтері қажет болған жағдайда ғана жаңартылады;
- Барлық элементтерді өңдеу және жаңарту жеделдетілді, мысалы, биіктік позициясын өзгерту;
- Жобаға сілтеме жасай отырып ашу диалогы-нысан құрылымы тезірек ашылады.
- Күрделі, таратылған нысандарды жылдам таңдау/бөлектеу.

Әдебиеттер тізімі

1. Мемлекет басшысы Қ. Тоқаевтың Қазақстан халқына Жолдауы 2023 жылғы 1 қыркүйек.
2. Компьютерная графика для строителей / А.Л. Хейфец, В.Н. Васильева, И.В. Буторина; под ред. А.Л. Хейфеца. – 2-е изд. Москва: Издат. Юрайт, 2024. – 258 с.
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Allplan>
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Nemetschek>
5. <https://www.nemetschek.com/en>
6. <http://www.allbau-software.de/>
7. <https://connect.allplan.com/en>
8. <https://campus.allplan.com/>
9. Руководство «Новое в Allplan 2019» – Электронный ресурс. - Режим доступа: New InAllplan2019.pdf <http://www.allbausoftware.de/index.php/podderzka/download/dokumentatsiya/-file/172-novoe-vallplan-2019-rukovodstvo.html>
10. Пособие «Allplan 2022. Архитектура» – Электронный ресурс. Режим доступа: Пособие Архитектура 2022.pdf
11. М.А. Срыбных, А. В. Некрасов Allplan 2022, Первый проект от эскиза до презентации.
12. Пособие по Allplan 2021. Архитектура - © ALLPLAN GmbH, Muenchen. сентябрь 2019, 561с
13. Пособие по Allplan 2022. Пособие Основы - © ALLPLAN GmbH, Muenchen. сентябрь 2019. – 311 с.
14. Пособие по Allplan 2021. Пособие Конструирование - © ALLPLAN GmbH, Muenchen. 2021. – 410 с.
15. <http://www.allplan/su>

References

1. Memleket basshysy Q. Toqaevtyń Qazaqstan halqyna Joldaýy 2023 jylǵy 1 qyrkúiek.
2. Kompýternaia grafika dlia stroitelei / A.L. Heifets, V.N. Vasileva, I.V. Býtorina; pod red. A.L. Heifetsa. – Moscva: Izdat. Yurait, 2024. – 258 s.
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Allplan>
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Nemetsche>
5. <https://www.nemetschek.com/en>
6. <http://www.allbau-software.de/>
7. <https://connect.allplan.com/en>
8. <https://campus.allplan.com/>
9. Rýkovodstvo «Novoe v Allplan 2019» – Elektronny resýrs. - Rejim dostýpý: New InAllplan2019.pdf <http://www.allbausoftware.de/index.php/podderzka/download/dokumentatsiya/file/172-novoe-vallplan-2019-rukovodstvo.html>
10. Posobie «Allplan 2022. Arhitektýra» – Elektronny resýrs. - Rejim dostýpý: PosobieArhitektýra2022.pdf
11. M.A. Srybnyh, A.V. Nekrasov Allplan 2022, Pervyy proekt ot eskiza do prezentatsii.
12. Posobie po Allplan 2021. Arhitektýra - © ALLPLAN GmbH, Muenchen. sentiabr 2019, 561s
13. Posobie po Allplan 2022. Posobiye Osnovy - © ALLPLAN GmbH, Muenchen. sentiabr 2019. 311 s.
14. Posobie po Allplan 2021. Posobiye Konstruirovaniye- © ALLPLAN GmbH, Muenchen. 2021. 410 s.
15. <http://www.allplan/su>

СӘУЛЕТ
АРХИТЕКТУРА
ARCHITECTURE

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_310
IRSTI 67.07.03

A. Ozhet¹, S. Mamedov², Sh. Surankulov¹

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,

*E-mail: Arshyn.novyji@bk.ru**

E-mail: sh.surankulov@kazatu.edu.kz

²L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan

E-mail: sp_proekt_stroy@bk.ru

FEATURES OF ARCHITECTURAL DESIGN OF GENERAL EDUCATIONAL ORGANIZATIONS IN THE HISTORICAL EXAMPLE OF GERMAN ARCHITECTURE

НЕМІС СӘУЛЕТТІК ТАРИХЫ МЫСАЛЫНДАҒЫ ЖАЛПЫ БІЛІМ БЕРУ ҰЙЫМДАРЫНЫҢ СӘУЛЕТТІК ЖОБАЛАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ИСТОРИЧЕСКОМ ПРИМЕРЕ НЕМЕЦКОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Abstract. Throughout his life, a person goes through a long and thorny path, forming skills, and discovering consciousness. With the temporary human need for education in educational institutions, however, it should be noted that people have knowledge and awareness and education in educational institutions, at the expense of individual education. In this article, we analyzed how the social aspect influenced the architectural planning methods of comprehensive schools in 19th-century Germany. The main reason for the emergence of international school standards was the new initiatives in the design of school buildings that began in the 19th century. In the article, we determined the theoretical model of school buildings, taking into account the features of each period.

Keywords: Architecture, schools, educational system, book-frontal method, class system, comfortable environment, architecture-planning methods.

Аңдатпа. Адамзат қоғамды қалыптастыруда ұзақ әрі қиырлы жолдан өтеді, дағды қалыптастырады, санасын ашады. Адамның оқу орындарында білім алуы ұзақ уақыттық қажеттілік болғандықтан, олардың білім алуы мен тұлғалық сана-сезімі білім беру мекемелерінде тәлім алу барысында қалыптасатынын атап өткен жөн. Бұл мақалада біз 19 ғасырдағы Германиядағы жалпы білім беретін мектептердің сәулеттік жоспарлау әдістеріне әлеуметтік аспект қалай әсер еткенін талдадық. Халықаралық мектеп стандарттарының пайда болуының негізгі себебі 19 ғасырда басталған мектеп ғимараттарын жобалаудағы жаңа бастамалар болды. Мақалада біз әр кезеңнің ерекшеліктерін ескере отырып, мектеп ғимараттарының теориялық үлгісін анықтадық.

Түйін сөздер: Сәулет, мектептер, оқу жүйесі, кітап-фронтальды әдіс, сынып жүйесі, қолайлы орта, сәулет-жоспарлау әдістері.

Аннотация. Всю свою жизнь человек преодолевает длинный и тернистый путь, создавая навыки, привычки и накапливая знания. Так как обучения человека в учебных заведениях – это долгосрочная потребность, следует отметить, что его образование и личностное сознание формируются посредством обучения в образовательных учреждениях. В данной статье мы проанализировали, как социальный аспект влиял на методы архитектурного планирования средних школ Германии в XIX веке. Основным направлением возникновения интернационального школьного образования стали новые инициативы в проектировании школьных зданий, начавшиеся в XIX в. В статье мы определили теоретическую модель школы с учетом особенностей каждого периода.

Ключевые слова: Архитектура, школы, образовательная система, книжно-лицевой метод, система классов, подходящая среда, архитектурно-планировочные методы.

Introduction. The initial school buildings in the history of architecture were placed inside teachers' homes. As a result, primary education in Germany is conducted in informal school buildings that lack sufficient space to cater to the needs of the education system. Until the 19th century, most children were educated in an informal, unorganized space, in cooperation with church authorities. These schools were located in church buildings and premises located in their courtyards.

The Manual of School Buildings penned towards the close of the 18th century, is acknowledged as one of the earliest and most coherent treatises on school structures in Germany. To build a school building construction plans were put into basic use, and in the following decades, these standards and regulations were mostly supplemented with additional aspects.

Literature Review. In their analysis «from “school building” to “school architecture” – school technicians, grand school buildings and educational architecture in Prussia and the USA in the nineteenth century», Daniel Töpper and Fanny Isensee [1] omitted an examination of the transformative dynamics within the educational landscape of Germany, particularly concerning the evolutionary model and the extent of external factors' influence on architectural and planning frameworks within educational institutions.

The study conducted by Töpper and Isensee, while insightful in certain aspects, falls short of comprehensively addressing the intricate evolutionary trajectories of the German educational system. Notably absent from their investigation is a nuanced exploration of the underlying paradigm shifts and the intricate interplay between external variables and the architectural and planning constructs governing educational organizations.

Hesam Mosharraf's «Urban Morphology Schools: A Review of the English, Italian, and French Schools of Thought» scholarly work delves into urban morphology schools, focusing on the English, Italian, and French schools. Employing robust academic methodologies, the analysis systematically identifies key themes and considerations, contributing significantly to urban morphology knowledge and offering a framework for future research. The English School, championed by Otto Schluter and MRG Conzen, examines urban landscapes' impact on development. The Italian School, led by Saverio Muratori and Gianfranco Caniggia, analyzes existing cities' morphology. The French School, established by Philippe Panerai, Jean Castex, and Jean Charles Depaule, merges design theory with urban development theory, drawing from sociology and architectural history. The article compares and critiques these schools, aiming to deepen understanding and foster scholarly discourse. While modern methods exist, the study argues for the continued relevance of classic schools and their fundamental elements in analyzing urban settlements through case studies. Wich recommends evaluating the merits of each school in relation to specific case studies rather than being confined to specific school boundaries [16].

The evolution of school architecture in Germany reflects a dynamic interplay between educational philosophies, architectural innovations, and socio-political contexts. Recent research from Scope and Web Science databases illuminates contemporary trends such as sustainable design integration, underscoring the ongoing dialogue between tradition and innovation in German school architecture. The purpose of this scientific article that emphasizes the critical role of understanding the historical patterns of architectural development within the educational landscape of Germany. By exploring the evolution of school architecture throughout history, particularly within the German context, we aim to elucidate the foundational principles that underpin modern architectural solutions in educational settings.

Materials and methods of research.

– method of analysis of documents. At the initial stage of this research, the collection of literary and scientific material was carried out, and then the collected material was analyzed.

– graphic design method. The architectural design method was used in the formation of options for architectural and planning decisions of school complexes, affecting the comfort and economy of the educational environment.

– A method of comparative analysis shown by comparing the methods used in Western school buildings.

– the method of summarizing the results. Due to the scope of this study, the results obtained will be generalized and clarified in the last stage.

Results and discussion. The basis of classroom teaching, which is widespread in the modern world education system, was formed in the early Middle Ages. Medieval religious figures were the spreaders of the teachings of that period and became an ideal that glorified knowledge. In Germany, following the same principles, it was believed that in the formation of the systematic stage of education, it is necessary to submit to religion and to obey the teachings written in religious books. Because the answers and solutions to all unknown questions to mankind were shown in religious books, and there was no mutual feedback between the student and the teacher, the book-frontal system of education was formed as a teaching format at that time.

In the present period, the round individual format of the lesson was taken, and due to the lack of personal relations with students, teachers had the opportunity to lecture a large number of students at one time. The arrangement of the lecture desks in the classroom was placed in the frontal direction to the teachers, and the frontal equipped in a row was formed as a systematic method of teaching.

On this basis, we can see that a well-established pattern of teaching and classroom organization emerged in the early Middle Ages. The main component of education in the period of early feudalism is theological (spiritual).

The emergence of the feudal city and the appearance of urban culture broke the centuries-old monopoly of the Catholic Church in the field of education. This is how the first urban schools appeared in Prussia. [1].

A logical starting point for delving into the evolution of school architecture in Prussia is to focus on the urban elementary schools in Berlin. Prussia, known not only for its economic progress but also for its exemplary approach to education administration, played a pivotal role in shaping various educational systems during the late Middle Ages. During this period, the method of teaching a group of students collectively through the frontal book-based approach gained widespread use. Compared to the traditional individual mentoring approach, this teaching method contributed to the rapid development of science and knowledge within a short timeframe, addressing the evolving needs of the emerging society. Furthermore, the widespread implementation of mass education was made feasible with the introduction of the printing press [2].

Instruction took place in designated classrooms utilizing specifically crafted textbooks, allowing teachers to educate multiple students concurrently. This widespread adoption of this method led to the decline of the personalized, adaptable teaching approach. In its stead, there was a marked surge in the efficiency and effectiveness of education.

The development of the state in the period of global trade and the economic market was directly related to the level of education in demand of the demographic group. Taking into account these conditions, he began to establish a new format and specific principles of education in the field of education, and he realized that he would find a solution by teaching the maximum number of people in the same space in a short period. The book-frontal method of

education proved to be suitable for mass lectures. This means 25-50 students per teacher. The classroom system is sometimes named after Henry Ford, who invented the assembly line method of production.

In particular, in the second half of the 19th century, Prussian Berlin underwent significant changes in its educational system, when a new generation of school buildings were built, reflecting the latest innovations in educational theory and architecture. These new schools were designed with different educational needs in mind and were designed in a class-wise manner.

The establishment of a school administration system in Germany, similar to the model introduced by Wilhelm Reichenau in 1826, began with his appointment as a leading figure in the municipal school council. During this period, there was a mandated restructuring of educational institutions, requiring the re-establishment of private and parish schools to provide a uniform and comprehensive education for diverse groups of students, starting from primary levels. His plan for reconstruction in 1827 included inviting apprentices to municipal school buildings. These schools were obliged to follow a prescribed curriculum, divided into upper and lower classes depending on certain age periods and learning outcomes.

Focusing on the work of education officials, we will discuss the joint work of teachers and school administration and analyze the history of school buildings.

Taking a close look at the cost argument, Reichhelm [3] student education detailing how much it would have cost in the past and how much his plan would cost, he says building public schools would be only slightly more expensive than private schools. Ultimately, his plan was realized and remained the standard for the following 20 to 30 years, even if the willingness to raise the necessary funds dwindled. [4] Differentiation into individual subjects is not based on the increase in the number of students, as suggested by Felbiger, but is considered an effective way to attract as many students.

The external appearance and architectural design of school buildings were shaped by the requirements of the educational process. The standard rectangular layout of classrooms in the architectural plan was intended for a frontal-linear reception of information. The arrangement of students' desks in rows, facing the teacher's board at the end of the classroom, influenced the overall layout of the school building. This structure consisted of standard classrooms interconnected by a corridor, which served as a means of communication between classrooms. Along this corridor, students moved from one classroom to another, receiving information from different teachers. To enhance the organization of the entire learning process, the space was not only designated for typical classrooms but also incorporated specific standard time divisions, including periods for information reception and breaks for rest (which also allowed time for transitioning to a new study location).

As a rule, the same period of training was developed in all states - 40-45 minutes. exercise, 8-15 minutes are divided into rest [5].

During the era of industrialization, the evolution of school building design aligned with the classroom teaching method, progressing gradually over several centuries. Towards the end of the 18th century, notably in Germany and Anglo-Saxon countries such as England, the USA, Canada, Australia, and New Zealand [6], schools emerged as single-room structures where approximately 10 students of varying ages and skill levels received instruction. Alongside the classroom, these schools typically featured an additional space designated for the teacher or even served as a residential apartment.

In 1827, there was a notable expansion in the size of the study hall, accommodating up to 300 students simultaneously due to a growing demand for education. Faced with a shortage of teachers during this period, assistant teachers were introduced, each responsible for their class of students. To address the challenge of managing a large space and reducing noise, special

curtains were installed in rows to visually separate different sections. Over time, these curtains evolved to serve as partitions, separating one group of students along with their teacher from another class. This period was the beginning of the transition period from a multi-class school to a multi-class school.

In the initial phase, the initial segmentation of the educational curriculum into distinct classrooms was not based on age groups but rather on the type of lesson, such as writing, reading, and counting. These classrooms could encompass children with varying levels of preparation simultaneously. Subsequently, students within a single educational institution were segregated into separate rooms, leading to a beneficial impact on the pace and quality of learning.

In the following decades, from 1835, the number of classes in the school increased due to the increase in the number of students enrolled and was accompanied by a differentiation from four classes in the school curriculum (see Figure 1) to eight classes (four) per school. After 1850 school buildings with 12 classrooms were built, which went hand in hand with a curriculum with six differentiated classes [7].

In primary schools, lessons are conducted across six consecutive classrooms. However, the swift rise in student numbers necessitated the construction of more extensive buildings, leading to the customary practice of combining 15 or 16 classes with 70, 65, and 60 students in the lower, middle, and upper classes.

Figure 1 illustrates the initial floor plan of the Schmidstrasse school building, originally constructed in 1846 and later renovated between 1872 and 1873. This plan represents the earliest concept of a 12-room school. The image showcases two out of three floors of the Kurfürstenstrasse school building, erected between 1873 and 1874, featuring 14 classrooms, including three additional classrooms and an assembly hall. Subsequent buildings incorporated an increasing number of classrooms, as depicted in Figure 1: all had at least 36 classrooms, the later the school was built, the more rooms it had [7]. In the following decades, these standards were mostly upheld and new aspects were rarely added [8].

The evolution of learning environments occurred progressively, though not uniformly, across various nations. Over time, nearly all European educational systems transitioned from compact rooms accommodating students of various ages to a multi-class configuration of school buildings organized based on the student's age groups. Typically, the structure with corridors has demonstrated its effectiveness, where classes of similar sizes are universally linked through communicative transitions.

The vast majority of public schools in the world have typical classrooms attached to the axis of the corridor built according to this principle. This principle is based on the number, design level, equipment, etc. of additional school premises. remains constant regardless of the difference.

Thus, the main idea of the 20th century is the standardization of both educational programs and the design of school buildings.

In Germany, the cultural factor played a major role in the formation of education and school architecture in the 19th century. Germany was in the throes of a national awakening and education played an important role in shaping national identity [8].

In the 19th century, Germany was a leader in scientific research and education became a top priority of public policy. During this period, an educational system was created that was accessible to all groups of the population and ensured high quality of education. He entered the education system and determined the national and cultural traditions used in school construction. The rapid increase in the number of students necessitated the construction of increasingly large buildings and the differentiation of classrooms in the architectural planning organization.

The main activities of the society	Factors	Theoretical model of evolution (development) of architectural planning structures of schools	Functional diagram	Educational model	
				Learning principle	Educational space
God-center of the world, rigid hierarchy (before 1800)	Religion Morality			Learning principle no clear structure, passive method 	No differentiation of learning space
Division of society into classes formation of urban society Rigid hierarchy (Berlin Comprehensive Schools 1827)	The science Religion			book-frontal method 	Beginning of differentiation learning space
The emergence of new social groups (Berlin school with twelve classes 1846)	The science Morality			Classroom systems 	Differentiation of educational institutions
The emergence of new social groups, the development of industrialization (school with twelve classrooms, two additional classrooms and an assembly hall)	The science Economy Art			Subject method teaching 	Differentiation of additional educational institutions
Many social groups, industrial boom (School with 40 classrooms, built between 1888 and 1890)	The science Economy Art			Subject method of teaching standardization of the class-lesson system 	Rigid modular structure of the learning space, increasing the odds of buildings
Legend: Room for study Special subject room for training sessions Assembly Hall Corridors				Legend: Teacher №1 Teacher №2 Teacher №3 Teacher №4 Students	

Figure 1. Evolution of architectural and planning methods of organizing general institutions in Germany in the 19th century

At the same time, the economic factor played an important role in the development of education [9] and school architecture in Germany. During this period, Germany experienced rapid economic growth, which led to population growth and the need to develop the education

system. In response to this growth, new schools were established using new technologies and architectural principles. One of the main goals of the development of the schools was to attract young people to the innovative economy, which was the basis of the new way of life in Germany. It was necessary to develop the intellectual abilities of schoolchildren, and this was the main task of the new pedagogical concept developed by Johannes Schulenburg.

A theoretical model of the evolution of the architectural planning structure shows the stages of development of schools in Germany in the 19th century. According to the analysis table, the main activity of the society is directly reflected in the teaching principles of the educational model. According to the tab. 1 strict hierarchy, social unity, and the influence of religion created the need for the passive frontal method as a more suitable form of mass education with a series of tables directed at the teacher. In turn, this process was also reflected in the architectural planning of German schools of that period as a monofunctional layout.

In the first half of the 19th century (early 1800s) [11], the division of society into classes was due to the development of the economy and the expansion of cities. Consequently, this affected the size of the gym, accommodating up to 300 students at a time. One teacher was not enough, other teachers appeared, each of them dealing with students in their ranks. From 1927, this period was practically a transition from single-class to multi-class schools.

In the next few decades, in 1827, due to the emergence of new social groups in the school, the number of students increased, the classes increased, and the school curriculum was differentiated. The rationale behind dividing subjects individually is deemed an efficient approach to maximize student enrollment in the education system [12].

The evolution of learning spaces occurred gradually and varied across different countries [17]. Over time, the majority of European educational systems transitioned from small classrooms accommodating students of different ages to a multi-class school building design organized by student age groups. Typically, the corridor-style structure has proven to be the most effective, connecting classes of similar sizes through communicative transitions.

During the industrial surge in Germany, similar to many other nations, there arose an urgent demand to supply the job market with a skilled workforce capable of operating increasingly sophisticated equipment. In the context of rapid advancements in production and the scientific and technical revolution, the primary objective was to eradicate general population illiteracy, with the highest priority being the prompt provision of specialized professionals to meet production needs.

The evolution of the architecture of the 19th-century school in Germany was significantly influenced by scientific and economic factors. After the unification of Germany in 1871, during the rapid development of industry and population growth, significant changes took place in the education system of the country, which were reflected in the architecture of schools [13]. They were functional, convenient, and affordable, which met the new requirements for teaching and educating the younger generation. These changes in the architectural planning structure of schools also reflected the general trend towards rationalization of buildings in the late 19th century [14]. School buildings certainly represent a subject of interest for different professions and their discourses [15].

Conclusions. Following this, one can deduce that the architectural planning arrangement within educational establishments is contingent upon educational principles, content, the establishment of the educational process system, and its configuration. From this standpoint, the progression in shaping the theoretical model (development) of the architectural planning structure for school buildings can be discerned, driven by shifts in the educational process, encompassing its social elements and teaching principles, educational principles, teachers, and students). to determine the general laws of the structural organization of educational institutions to predict the future development of their buildings.

References

1. Daniel Töpfer, Fanny Isensee from "school building" to "school architecture" – school technicians, grand school buildings, and educational architecture in Prussia and the USA in the nineteenth century. *Historia y Memoria de la Educación* 13 (2021): 375-423 Sociedad Española de Historia de la Educación ISSN: 2444-0043 DOI: 10.5944/hme.13.2021.27537. 375-376 p.
 2. Marcelo Caruso and Daniel Töpfer, "Schooling and the Administrative State: Explaining the Lack of School Acts in Nineteenth-Century Prussia", in *School Acts and the Rise of Mass Schooling*, eds. Johannes Westberg, Lukas Boser, and Ingrid Brühwiler (New York: Palgrave, 2019), 41-66.
 3. Antonio Francisco Canales, and Simonetta Polenghi, "Classifying children: A historical perspective on testing and measurement", *Paedagogica Historica* 55 (2019): 343-352;
 4. Rückriem L, *Bilder-Lese-Buch*, (Berlin: Elefanten Press, 1981) 22-23p.
 5. *Class architecture*. Michael J. Crosby /ISBN 1864700998, 9781864700992/. 2001-144 p.
 6. Hintreiger, Karl. "Bestimmungen für Schulbauten v den Vereinigte Staaten". *Das Schulhaus* 11 (1909): 214-217. Hintreiger, Karl. "Über die Verkleinerung der Schulbetriebe". *Das Schulhaus* 12, (1910), pp. 453-456. Issensi, Fanny, Oberdorf, Andreas, and Daniel Töpfer, *Transatlantic Encounters in the History of Education*.
 7. Müller, Sozialstruktur, 757; "Zur Entwicklung der Berliner Gemeindeschulen", *Das Schulhaus* (hereafter SH) 2 (1900): 248-249 p.
 8. Johann I. v. Felbiger, *Anleitung Schulgebäude auf dem Lande wohl abzutheilen, wohlfeil, dauerhaft und Feuersicher aufzuführen* (Leipzig: Hilscher, 1783). This title and all German quotes were translated by the authors; the construction plans are printed in Schmidt, *Volksschule*, Bennack, *Gesundheit*, 118 p.
 9. *Translations and trajectories from a German-American perspective*. New York: Routledge, 2020. Jansen, Heinz. *150 Jahre Volksschule Kudinghoven*. Beuel: 238-240 p.
 10. Stadtverwaltung, 1963. Yelich, Franz-Joseph and Heidemarie Chemnitz, *Die pädagogische Gestaltung des Raums*:
 11. *Historia y Memoria de la Educación* 13 (2021): 375-423 Sociedad Española de Historia de la Educación ISSN: 2444-0043 DOI: 10.5944/hme.13.2021.27537. 396 p
 12. *School Malwida von Meysenbug (Malwida-von-Meyenbug-Schule)*. (1927) <https://modernism-in-architecture.org/buildings/school-malwida-von-meyenbug-malwida-von-meyenbug-schule/>
 13. *Central European History*, Vol. 7, No. 3 (Sep. 1974), pp. 195-224
 14. *Historia y Memoria de la Educación* 13 (2021): 375-423 Sociedad Española de Historia de la Educación ISSN: 2444-0043 DOI: 10.5944/hme.13.2021.27537. 396 p
 15. <https://www.jstor.org/stable/259810>
 16. Hesam Mosharraf *Urban Morphology Schools: A Review of the English, Italian, and French Schools of Thought* *GU J Sci*, Part B, 11(3): 399-407 (2023)
 17. Franzen, U. (2009). "Modern School Buildings in Germany: Architectural Approaches to Education." *Arq: Architectural Research Quarterly*, 13(4), 363-373. DOI: 10.1017/S1359135509990175
-
-

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_318
MFTAA 69.07

**О.В. Руденко¹, Д.К. Аноп¹, В.Ф. Шевляков¹, С.С. Лутай¹,
З.А. Аубакирова², М.М. Бегентаев³**

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
E-mail: O_Rudenko_vkqtu@mail.ru
E-mail: darjagalkina@mail.ru
E-mail: shevlyakovvf08@mail.ru
E-mail: sslutai@mail.ru

²Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан
E-mail: aubakirova.zulfiya@mail.ru*

³«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы қ., Қазақстан
E-mail: m.begentayev@satbayev.university

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖӘНЕ ӨНЕРКӘСІПТІК ЖАҒДАЙЛАРДА АЛЫНҒАН ГАЗОБЕТОН ҮЛГІЛЕРІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ АЙЫРМАШЫЛЫҒЫН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ РАЗЛИЧИЯ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ГАЗОБЕТОНА, ПОЛУЧЕННОГО В ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

ANALYSING THE DIFFERENCE IN PROPERTIES OF AERATED CONCRETE SAMPLES OBTAINED IN LABORATORY AND INDUSTRIAL CONDITIONS

Аңдатпа. Мақалада зертханалық және өндірістік жағдайларда алынған газдалған бетон үлгілерінің беріктігі мен тығыздығының айырмашылығын талдау нәтижелері берілген. Ұялы және басқа да бетон түрлерін және олардың негізінде қабырға блоктарын сынау әдістері талданады. Әртүрлі стандартталған әдістерді қолдана отырып, газдалған бетонды және автоклавты емес газдалған бетонды қабырға блоктарын беріктік пен тығыздыққа сынау нәтижелері берілген. Белгілі бір көрсетілген қасиеттері бар бұйымдарды алу үшін ұялы бетонның құрамын таңдау кезінде өнеркәсіптік үлгілердің беріктігіне көшу үшін түзету коэффициенттерін енгізу қажет екендігі көрсетілген.

Түйін сөздер: ұялы бетон, газдалған бетонды сынау, күл және шлак қалдықтары.

Аннотация. В статье представлены результаты анализа различия прочности и плотности образцов газобетона, полученного в лабораторных и промышленных условиях. Проанализированы методики испытаний ячеистого и других видов бетона и стеновых блоков на их основе. Приведены результаты испытаний газобетона и газобетонных стеновых блоков неавтоклавного твердения по прочности и плотности по различных стандартизованным методикам. Показано, что при подборе состава ячеистого бетона с целью получения продукции определенных заданных свойств, необходимо введение поправочных коэффициентов для перехода к прочности промышленных образцов.

Ключевые слова: ячеистый бетон, испытания газобетона, золошлаковые отходы.

Abstract. The article presents the results of analysing the difference in strength and density of aerated concrete samples obtained in laboratory and industrial conditions. Test methods of cellular and other types of concrete and wall blocks based on them are analysed. The results of tests of aerated concrete and aerated concrete wall blocks of non-autoclave curing for strength and density according to various standardised methods are given. It is shown that when selecting the composition of aerated concrete in order to obtain products of certain specified properties, it is necessary to introduce correction factors for the transition to the strength of industrial samples.

Keywords: aerated concrete, aerated concrete testing, ash and slag waste.

Kipicne. Кез келген бұйымның композициялары мен өндіріс технологияларын әзірлеу бойынша зерттеулер мен зерттеулер жүргізу кезінде зертханалық сынақтардан жартылай өнеркәсіптік және өнеркәсіптік сынақтарға және үлгілердің тәжірибелік партиясын шығаруға дейінгі барлық кезеңдерден өту қажет.

Оның үстіне, егер тапсырма белгілі бір көрсетілген қасиеттері бар өнімдерді алу болса, онда зертханалық және өндірістік жағдайларда алынған нәтижелерде кейбір сәйкессіздіктер болатынын есте ұстаған жөн, бұл түзету коэффициенттерін енгізу қажеттілігіне әкеледі.

Осы мақалада уақытша ресурсты үнемдеу мақсатында зертханалық ізденістердің осы нәтижелерін түзету және блоктардың беріктігі мен тығыздығы сияқты көрсеткіштер бойынша қабырғалық блоктарды өндіру үшін автоклавты емес газ бетонының құрамын іріктеу кезінде зертханалық сынақтардан өнеркәсіптік сынақтарға көшу үшін түзету коэффициентін енгізу қажеттілігін айқындау міндеті қойылды.

Зерттеу объектісі ретінде МЕМСТ бойынша газ-бетон шлакоблоктарын шығарумен айналысатын Шығыс Қазақстан облысының кәсіпорны болды [1].

Алға қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін мынадай міндеттер шешілді:

1. Зертханалық және өнеркәсіптік жағдайларда алынған бетон үлгілерінің қасиеттерінің айырмашылығы бойынша деректерге теориялық шолу жүргізу.

2. Бетонның әртүрлі түрлерін және олардың негізінде қабырға блоктарын, оның ішінде газ бетоны мен газ бетон қабырға блоктарының үлгілерін сынау әдістемелеріне талдау жүргізу.

2. Зертханалық жағдайларда эксперименттік зерттеулер жүргізу және газ бетонының құрамын іріктеу кезінде зертханалық сынақтар нәтижелерінен өндірістік жағдайларда алынған блоктарды сынау нәтижелеріне көшу коэффициентін енгізу қажеттілігін анықтау.

Әдеби шолу. Зертханада рецептураны әзірлеу кезінде «тамаша жағдайлар» жасалатыны белгілі. Зауытта мұндай тамаша жағдайлар жоқ және шығуда ұялы бетонның қасиеттеріне елеулі әсер ететін факторлардың болуына байланысты берілген мәндерден ауытқулар болуы мүмкін [2]. Авторлар [3] монолитті құрылыста пайдаланылатын тауарлық бетонның нақты беріктігі конструкциялардағы бетонның жобалық сыныбынан жиі төмен болатынын атап өтті. Жұмыста [4] конструкциялардың нақты беріктігі туралы ұқсас мәселелер көтерілді және конструкциялардан алынған ұсақ дәнді бетонның қалыпталған кубиктері мен үлгі-керндерді сынау нәтижелерін салыстырмалы талдау жолымен аддитивті технологиялардың көмегімен тұрғызылатын конструкциялар үшін ауыстыру коэффициенті әзірленді.

Автоклавты емес газ бетоны табиғи жағдайларда немесе электрмен қыздыру кезінде кататын гидратация процесінде цементтің және толтырғыштардың өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болған цемент тастағы ұялы бетондарға жатады [5, 6]. Кеуекті құрылымның арқасында кеуекті бетоннан жасалған блоктар жылу және дыбыс оқшаулағыш материалдар болып табылады, жеңіл салмаққа, жоғары температураға төзімділікке, жақсы өңделуге, жоғары төзімділікке ие, бұл оларды монолитті және жеке құрылыста, оның ішінде сейсмикалық қауіпті аудандарда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Кеуекті бетонның құрылымының кейбір ерекшеліктеріне және берілген қасиеттердің кеуекті бетонның құрамын іріктеу әдістемесіне байланысты және сапаны бағалау әдістемесі ауыр немесе ұсақ түйіршікті бетонның құрамын іріктеу және сапасын бағалау әдістемесінен ерекшеленетін болады. Авторлар ұялы бетондардың құрамын, оның ішінде автоклавты емес қатты газ бетондарын іріктеудің әртүрлі әдістерін ұсынды [7, 8, 9], мұнда бастапқы су қатты қатынасын анықтаумен қатар, кремнеземдік компонент пен тұтқыр зат арасындағы қатынас нұсқаларын тандау маңызды кезең болып табылады [10,

11]. Кеукті бетондардың сапасын бағалауды МЕМСТ 25485 [12], кеукті қабырға блоктарының МемСТ 21520 [1] сәйкестігіне жүргізеді. Сонымен бірге қабырғалық бетон тастардың, оның ішінде қожблктардың сапасын бағалауды МемСТ 6133 [13] сәйкестігіне жүзеге асырады, ал оларды дайындайтын бетонды МемСТ 26633 [14] сәйкестігіне бағалайды.

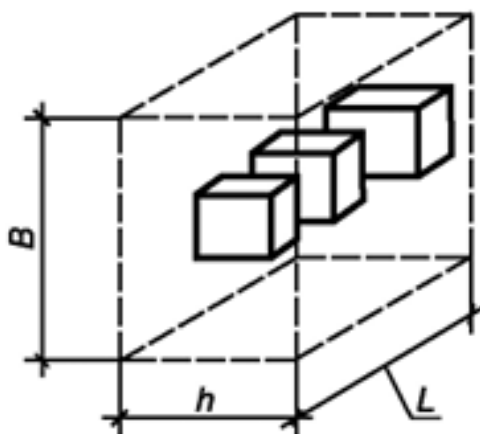
Зерттеу әдістері мен материалдары. Зерттеу барысында зертханалық жағдайларда дайындалған газ бетонының үлгілеріне және өндірістік алаңда дайындалған үлгілерге қатар эксперимент жүргізілді. Барлық үлгілер бір рецептура бойынша және бір шикізат материалдарынан дайындалды.

Зертханалық жағдайларда үлгілер өлшемі 150x150x150 мм стандартты қалыптарда дайындалды. 24 сағаттан кейін үлгілер қалыпқа келтіріліп, одан әрі беріктікті жинау үшін қалыпты қатайту камерасына орналастырылды. Сынақ алдында үлгі-кубтың жоғарғы бөлігі кесіліп кетті, себебі бетонды «көтеру» кезінде тегіс емес «өркеш» беті пайда болды.

Ұялы бетоннан блоктар шығаратын зауытта дайындалған бұйымдар үшін зерттеулер 600x200x199 мм номиналды өлшемді үлгі-блоктарда жүргізілді. Блоктар 12 данадан жасалады. Газбетонды көтеру аяқталғаннан кейін ішекті аралардың көмегімен блоктарға арамен кесіледі және беріктікті жинау үшін камераға орналастырылады.

Эксперимент барысында газ бетонының беріктігі мен тығыздығы анықталды. Сынау үшін қалыптан 2, 4, 6, 8 және 12 блоктар алынды. Блоктардың бір бөлігі кеукті бетондардан жасалған блоктарға арналған нормативтік құжаттама талаптарына сәйкес сыналды – МемСТ 25485, бір бөлігі қолданыста, бетон қабырға тастарына арналған нормалар бойынша – МемСТ 6133 [13].

МемСТ 25485 [12] бойынша дайындалған газ-бетон блоктары МемСТ 10180 [15] сәйкес беріктікке сыналады. Ол үшін блоктың ортасынан стандартты үлгілер кесіледі. Блоктан мөлшері 150x150x150 мм үлгі-кубтарды аралау схемасы 1-суретте келтірілген. Үлгілерді бұйымның немесе блоктың қырларынан кемінде 20 мм шегініп, ылғалдандырмай кеседі немесе қағып шығарады.



1-сурет. Блоктан үлгі-кубтарды аралау схемасы

Блоктарды аралау кезінде параллель жақтарымен және берілген рұқсаттармен өлшемдерімен үлгілерді дайындау ерекше қиындық туғызады. Осы жағдайды қамтамасыз ету үшін құрылыс саласындағы СҚЖТТ-да 2-суретте келтірілген қосымша құрал

дайындалды, ол блокты қол арасымен кесуді көздейді. Аралар ұялы бетоннан жасалған блоктар үшін арнайы пайдаланылады. Беріктігі мен кеуекті құрылымы төмен болғандықтан бетонды аралау үшін станоктарды пайдалану мүмкін емес, өйткені параллельділікті бұзуға әкелетін қосымша тегістеуді талап ететін жыртылған беттер алынады. Блоктардан кесілген үлгі-текшелер $3,5 \text{ мм} \pm$ номиналды мөлшерінен барынша ауытқыған, бұл елеулі болып табылады.



2-сурет. Блоктарды үлгі-текшелерге аралау

МемСТ 6133 сәйкес бетон қабырға тастары бүтін сыналатыны белгілі. Ұяшықты бетоннан жасалған блоктар осы нормативтік құжатқа қатысты екі бөлікке кесіліп сыналды, бұл үлгілерді дайындауды айтарлықтай жеңілдетті. Блоктарды екі бөлікке арамен кесу сондай-ақ біріздендірілген жабдықты (гидравликалық сығымдағышты) қолдану мүмкіндігі үшін жүзеге асырылды. Бұдан басқа, автоклавсыз қатайтылатын ұялы бетондардан жасалған блоктар өз құрылымында біртекті емес. Қырларға жанасатын тесіктер қиылысады және блоктың ішіне қарағанда тығыз құрылымға ие болады.

Бұл жұмыста эксперимент зертханалық илектердің төрт партиясында және зауытта жасалған блоктардың төрт партиясында жүргізілді, олардан үлгі-текшелер арамен кесіліп, блоктар сыналды.

Нәтижелері және оларды талқылау. Нормативтік құжаттарды талдау нәтижесінде ұялы бетон мен ауыр және ұсақ түйіршікті үлгілердің беріктігі бойынша сынау әдістемелерінде, сондай-ақ көрсетілген бетон түрлерінен дайындалған блоктарды сынау әдістемелерінде елеулі айырмашылықтар бар екені анықталды (1-кесте).

1-кесте. Бетондар мен блоктарды олардың негізінде сынау әдістемесі

Материал	Автоклавты емес газобетон	Автоклавты емес газ-бетон қабырға блоктары	Ауыр бетон немесе ұсақ түйіршікті	Бетон қабырға тастары
Өнімге НҚ	МемСТ 25485	МемСТ 21520	МемСТ 26633	МемСТ 6133
Сынау әдістеріне НҚ	МемСТ 10180 – қысуға беріктігі МемСТ 12730.1 – орташа тығыздығы			МемСТ 8462 – Сығуға беріктігі МемСТ 12730.1 –

1-кестенің жалғасы

<p>Қысуға беріктігі бойынша сынауға арналған әдістеме (үлгілер)</p>	<p>Үлгілер сол бетон қоспасынан жасалған бұйымдармен бір мезгілде дайындалған немесе олар суығаннан кейін дайын бұйымдардан арамен кесіледі немесе арматураланбаған бақылау блоктарынан шығарылады.</p> <p>Өлшемі: ұзындығы мен ені 400 мм кем емес, биіктігі 150-ден 250 мм дейін.</p> <p>Ойылған үлгі-цилиндр немесе арамен кесілген ұзындығы 70 мм қабырғасы бар үлгі-куб; 100 мм.</p> <p>Базалық үлгі: жұмыс қимасының мөлшері 150x150 мм болатын үлгі-куб.</p> <p>Сериядағы сыналатын үлгілердің саны: 3.</p> <p>Ұялы бетонның құрамын таңдау кезінде және беріктікті өндірістік бақылау кезінде жол беріледі</p> <p>бақылау үлгілерін нысандарда дайындау.</p>	<p>Базалық үлгі: жұмыс қимасының мөлшері 150x150 мм болатын үлгі-куб.</p> <p>Сериядағы сыналатын үлгілердің саны: бетон беріктігінің вариациясының серияшілік орташа коэффициентіне байланысты</p>	<p>Тұтас тасты сынайды. Сериядағы сыналатын үлгілердің саны: 3.</p>
<p>Қысуға беріктікті бағалау</p>	<p>Үлгілердің ылғалдылығын ескеретін түзету коэффициенті.</p> <p>Бетонның беріктігін базалық өлшем мен пішін үлгілеріндегі бетонның беріктігіне келтіру үшін масштабты коэффициент 400 кг/м³ және одан жоғары орташа тығыздықтағы ұялы бетон үшін ғана қолданылады: 70 мм – 0,9; 100 мм – 0,95.</p> <p>Үлгілер сериясындағы ұяшықты бетонның беріктігі: 3 үлгіден тұратын орташа арифметикалық мән.</p>	<p>Бетонның беріктігін базалық өлшем мен пішін үлгілеріндегі бетонның беріктігіне келтіруге арналған масштабты коэффициент: 70 мм – 0,85; 100 мм – 0,95.</p> <p>Үлгілер сериясындағы бетонның беріктігі: 2 үлгіден орта арифметикалық мән – 2 үлгіден, 3 үлгіден – беріктігі 2-ден, 4 үлгіден – беріктігі 3-тен; 6 үлгіден – мейлінше беріктігі бар 4-тен</p>	<p>Күш: 3 тас үшін орташа, үш тастың біреуі үшін ең аз мән қалыпқа келтірілген</p>

1-кестенің соңы

Орташа тығыздығы бойынша сынау әдістемесі (үлгілері)	Қалыптарда немесе бұйымдардан кесілген ГОСТ 10180 бойынша жасалған қалыпты пішінді бетон үлгілері. Дұрыс пішінді үлгілердің көлемі олардың геометриялық өлшемдері бойынша есептеледі. Үлгілердің салмағын өлшеу арқылы анықтайды. Үлгілер партиялармен дайындалады және сыналады. Сериядағы сыналған үлгілердің саны: кемінде 3.	МемСТ 10180 бойынша жасалған дұрыс пішінді бетон үлгілері. Дұрыс пішінді үлгілердің көлемі олардың геометриялық өлшемдері бойынша есептеледі. Салмағы - өлшеу. Үлгілерді сериялармен дайындайды және сынайды. Сериядағы сыналатын үлгілердің саны: кемінде 3. 2 үлгіге рұқсат етіледі (егер бетонның беріктігін анықтау кезінде үлгілер сериясы - 2 үлгіге).	Сериядағы сыналатын үлгілердің саны: кемінде 3.
Орташа тығыздықты бағалау	Бетонның орташа тығыздығы: сериядағы барлық үлгілердің сынау нәтижелерінің орташа арифметикалық мәні.	Серияның барлық тастарын сынау нәтижелерінің орташа арифметикалық мәні.	

Ауыр және ұсақ түйіршікті бетон сияқты ұялы бетонды сығу кезіндегі беріктікті анықтау үшін МемСТ 10180 [15] бойынша сынайды. Толтырғыш дәндерінің ең үлкен номиналды мөлшеріне байланысты текшелер мен цилиндрлер үлгілерінің мөлшері 100-ден 300 мм-ге дейін өзгереді, бұл ретте 70 мм өлшемді үлгілерді сынауға жол беріледі. Алайда қысуға беріктікті есептеу кезінде масштабты коэффициентті қолдануды талап етпейтін базалық үлгі ретінде мөлшері 150x150x150 мм үлгі-текше қабылданады. Конструкциялық-жылу оқшаулағыш және жылу оқшаулағыш бетондар сыныбын сынау үшін кеуекті толтырғыштарда (толтырғыш дәндерінің ең үлкен номиналды мөлшеріне қарамастан) көлемі 150x150x150 мм үлгілерді сынайды. Ұялы бетонға арналған сериядағы үлгілер саны бетонның беріктігінің вариациясының ішкі сериялық коэффициентіне байланысты емес және үшке тең. Сынақ нәтижелері бойынша сығуға бетонның беріктігін есептеу кезінде бетонның беріктігін 400 кг/м³ кем орташа тығыздықтағы кеуекті бетонға арналған негізгі өлшемдер мен пішіндердің үлгілерінде бетонның беріктігіне келтіру үшін масштабты коэффициент қолданылмайды. (яғни бірлікке тең), ал орташа тығыздығы 400 кг/м³ және одан астам, диаметрі және биіктігі 70 мм бұрғыланған үлгілер-цилиндрлер және ұзындығы 70 мм кесілген үлгілер-кубтар үшін - 0,90, диаметрі және биіктігі 100 мм үлгілер-цилиндрлер үшін және ұзындығы 100 мм қабырғасы бар үлгілер-кубтар үшін – 0,95-ке тең. Бұл ретте үлгілердің өлшемдері 70 мм ауыр және ұсақ түйіршікті бетондардан жасалған үлгілер үшін масштабты коэффициент 0,85-ке, үлгілердің өлшемдері 100 мм – 0,95-ке тең. Орташа тығыздыққа қарамастан ұялы бетон үшін сынақ кезінде үлгілердің ылғалдылығын ескеретін түзету коэффициенті қолданылады. Үлгілер сериясындағы ұяшықты бетонның беріктігі серияның барлық сыналған үлгілерінің орташа арифметикалық мәні, яғни үшеуінің орташа арифметикалық

мәні ретінде анықталады. Үлгілер сериясындағы ауыр және ұсақ түйіршікті бетонның беріктігін сериядағы сыналған үлгілер беріктігінің орташа арифметикалық мәні ретінде анықтайды: екі үлгіден – екі үлгі бойынша; үш үлгіден – мейлінше беріктігі бар екі үлгі бойынша; төрт үлгіден – мейлінше беріктігі бар үш үлгі бойынша; алты үлгіден – мейлінше беріктігі бар төрт үлгіден тұрады. Бұл ретте ақаулы үлгілерді жарамсыз деп тану кезінде бетонның сериядағы беріктігін, егер олар екеуден кем болмаса, қалған барлық үлгілер бойынша анықтайды, ал бір үлгіні жарамсыз деп тану кезінде екі үлгіден тұратын серияны сынау нәтижелері ескерілмейді.

Автоклавты емес газ-бетон қабырға блоктарының қысылуына беріктікті айқындау кезінде ұялы және бетонның басқа да түрлері сияқты МемСТ 10180 [15] бойынша сынау әдістемесі қолданылады. Қабырғалық бетон тастардың, оның ішінде шлакоблоктардың қысылуына беріктігін анықтау кезінде МемСТ 8462 [16] сәйкес тұтас тасты (блокты) сынаиды.

Ұяшықты бетонның және автоклавты емес газ-бетонды қабырға блоктарының орташа тығыздығы МемСТ 12730.1 [17] бойынша МемСТ 10180 бойынша пішінде дайындалған немесе блоктардан кесілген дұрыс пішінді бетонның үлгілеріндегі ылғалдылық жай-күйінің біріндегі бетон массасының (үлгінің) оның жалпы көлеміне қатынасы ретінде анықталады. Бұл ретте сериядағы сыналатын үлгілердің саны кемінде 3 [18] болуы тиіс. Ауыр және ұсақ түйіршікті бетонның орташа тығыздығы МемСТ 10180 бойынша жасалған дұрыс пішінді бетон үлгілерінде анықталады, бұл ретте екі үлгіден тұратын серияны қолдануға жол беріледі.

Қабырғалық бетон тастардың, оның ішінде қожблоктардың орташа тығыздығы МемСТ 12730.1 бойынша толыққанды тастар үшін, МемСТ 7025 [19] бойынша қуыс тастар үшін анықталады. Бұл ретте сериядағы сыналатын үлгілердің саны кемінде 3 болып қабылданады, серияның барлық тастарын сынау нәтижелерінің орташа арифметикалық мәні ретінде бағаланады.

Зертханалық жағдайларда дайындалған өлшемі 150x150x150 мм үлгі-кубтардың беріктігі мен тығыздығын анықтау бойынша сынақ нәтижелері 2-кесте, зауытта дайындалған блоктардан арамен кесілген өлшемі 150x150x150 мм үлгі-кубтар 3-кесте, блоктар (блоктардың жартысы) – 4-кесте келтірілген.

2-кесте. Зертханалық үлгі-кубтарды сынау нәтижелері

Номер		Өлшемдері, мм			Беріктігі, МПа		Тығыздығы, кг/см ³	
партиялар	үлгі	аср	бср	һср	үлгі	орташа	үлгі	орташа
1	1	150,1	149,8	150,1	1,41	1,45	656	662
	2	150,2	150,2	148,8	1,50		668	
	3	150,0	149,9	150,2	1,44		663	
2	1	149,8	150,0	149,9	1,63	1,56	675	670
	2	149,9	150,0	149,8	1,59		671	
	3	150,1	150,1	149,9	1,45		665	
3	1	150,0	150,1	149,7	1,49	1,42	645	638
	2	150,0	150,1	149,9	1,37		633	
	3	150,1	150,2	149,8	1,41		636	
4	1	150,1	150,0	149,9	1,49	1,52	665	675
	2	149,8	150,1	150,1	1,56		683	
	3	150,1	150,0	150	1,51		678	

3-кесте. Арамен кесілген үлгі-кубтарды сынау нәтижелері

Нөмір		Өлшемдері, мм				Беріктігі, МПа		Тығыздығы, кгс/см ³	
партия	блок	үлгі	орташа	үлгі	орташа	үлгі	орташа	үлгі	орташа
1	4	1	150,2	149,4	150,5	1,42	1,33	627	630
		2	150,3	150,5	148,8	1,29		629	
		3	149,8	147,9	150,2	1,27		635	
	12	1	150,1	149,5	150,7	1,45	1,29	627	628
		2	150,4	150,6	148,4	1,24		630	
		3	149,8	147,8	150,1	1,17		636	
2	4	1	148,0	150,7	149,2	1,18	1,31	624	623
		2	149,9	150,7	148,5	1,47		621	
		3	150,3	150,7	149,2	1,27		623	
	12	1	149,2	150,4	148,8	1,30	1,34	628	628
		2	150,0	152,8	149,9	1,52		629	
		3	149,8	150,4	153,1	1,21		627	
3	4	1	150,2	150,7	149,1	1,31	1,29	596	591
		2	150,2	150,7	149,6	1,33		597	
		3	150,1	150,4	148,2	1,23		580	
	12	1	150,7	149,4	149,8	1,31	1,35	594	598
		2	148,8	150,5	150,6	1,29		601	
		3	150,2	150,3	149,4	1,46		589	
4	4	1	150,5	150,9	149,0	1,42	1,43	644	641
		2	149,7	150,6	150,9	1,43		645	
		3	150,8	150,4	148,2	1,44		632	
	12	1	150,5	150,3	149,0	1,04	1,32	630	636
		2	149,2	150,2	150,7	1,39		641	
		3	150,1	150,2	149,4	1,52		639	

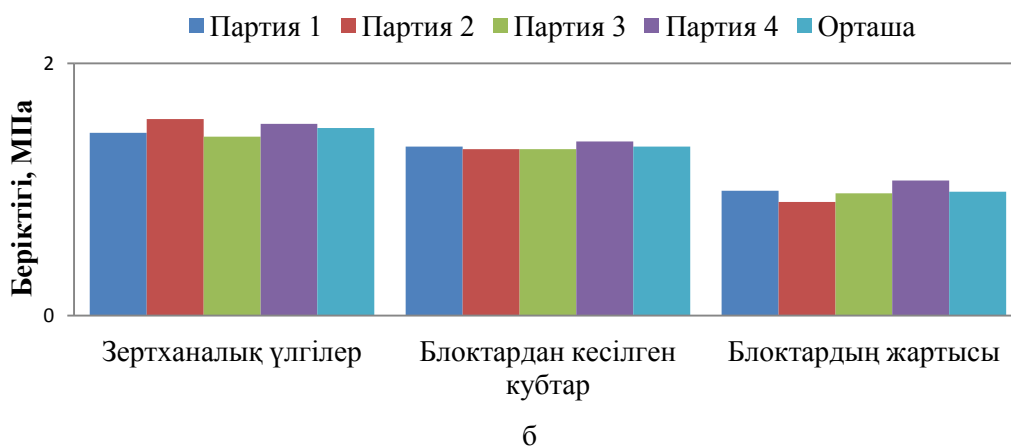
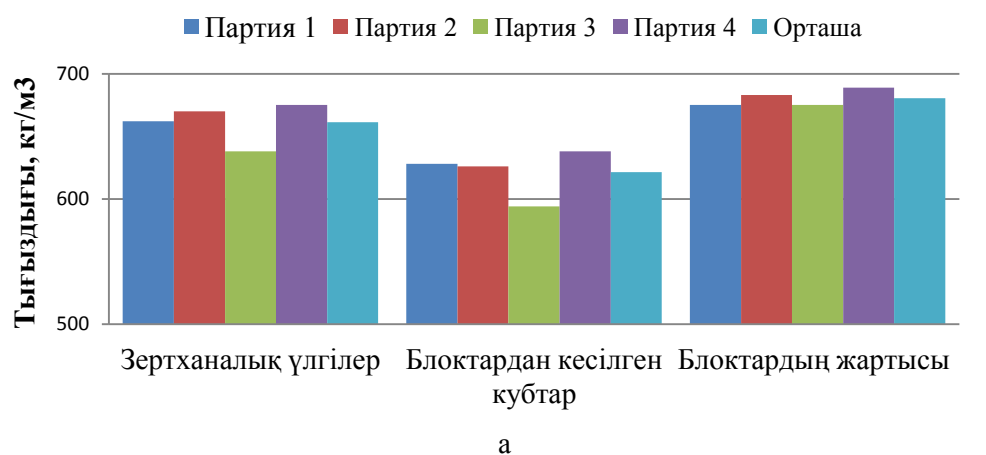
4-кесте. Блоктарды (блоктардың жартысын) сынау нәтижелері

Нөмір		Өлшемдері, мм				Беріктігі, МПа		Тығыздығы, кгс/см ³	
партиялар	блок	үлгі	орташа	үлгі	орташа	үлгі	орташа	үлгі	орташа
1	6	1	293,8	198,3	297,5	1,15	1,14	682	677
		2	296,8	198,5	299,8	1,13		673	
	8	1	293,8	198,3	297,5	0,92	0,89	689	673
		2	296,8	198,5	299,8	0,86		657	
2	6	1	299,5	199,8	299,0	0,91	0,88	690	683
		2	291,3	200,0	299,3	0,85		676	
	8	1	297,8	198,3	299,3	0,99	0,96	684	682
		2	297,0	198,5	300,8	0,94		681	
3	6	1	298,0	199,3	299,0	1,00	1,06	676	675
		2	298,8	198,0	299,3	1,12		674	
	8	1	299,3	198,0	299,3	0,86	0,95	679	675
		2	299,5	197,5	300,8	1,04		671	
4	6	1	297,5	198,5	302,8	1,23	1,16	678	682
		2	297,5	200,0	301,0	1,09		686	
	8	1	296,0	199,3	301,5	0,91	1,04	695	695
		2	299,0	199,5	301,3	1,17		695	

Зертханалық жағдайларда дайындалған үлгі-кубтарды, блок пен блоктардан кесілген үлгі-кубтарды беріктігі бойынша сынаудың салыстырмалы нәтижелері 5-кестеде және 3-суретте келтірілген.

5-кесте. Беріктігі мен тығыздығы бойынша сынақтардың салыстырмалы нәтижелері

Үлгілер	Партия 1	Партия 2	Партия 3	Партия 4	Орташа
Беріктігі, МПа					
Зертханалық	1,45	1,56	1,42	1,52	1,50
Блоктардан кесілген	1,34	1,32	1,32	1,38	1,30
Блоктардың жартысы	0,99	0,90	0,97	1,07	1,00
Тығыздығы, кг/м ³					
Зертханалық	662	670	638	675	661
Блоктардан кесілген	628	626	594	638	622
Блоктардың жартысы	675	683	675	689	681



3-сурет. Тығыздығы (а) және беріктігі (б) бойынша сынақтардың салыстырмалы нәтижелері

Эксперимент нәтижелерін талдау негізінде зертханалық жағдайларда дайындалған үлгілердегі газ бетонының тығыздығы осы жұмыста эталондық мәндер ретінде қабылданған зауытта дайындалған блоктардан кесілген үлгілерге қарағанда 5...7 %-ға, ал беріктігі 7...18 %-ға жоғары деген қорытынды жасауға болады. Сондықтан газ бетонының құрамын таңдау кезінде зауытта дайындалған блоктардың беріктігіне көшу үшін түзету коэффициентін енгізу қажет. Әртүрлі стандартталған әдістемелер бойынша автоклавты емес қатайтылған газбетонды сынау нәтижелерінің айырмашылықтары болады. Тығыздығы бойынша ең жоғары мәндер және беріктігі бойынша ең төменгі мәндер эталондық тығыздықтан ауытқуы 7...14 % жоғары, беріктігі – 22...32 % төмен блоктардың жарты үлгілерін көрсетті. Нақты жағдайларда блок тұтастай жұмыс істейді. Есептеу принциптерін негізге ала отырып, есептеу ең нашар нұсқа бойынша жүргізілгенде бүтін блоктардың (жартылардың) беріктігінің мәнін есепке алу, демек, бүтін блоктардың немесе жартыларының мәнін сынау дұрыс болады. Оның үстіне, үлгі-кубтарды дайындау қосымша қиындықтар туғызады, тіпті арнайы құрылғыны пайдаланған кезде де стандартқа сәйкес келетін геометриялық шектеулерді сақтау өте қиын.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулерге сүйене отырып, зертханалық және өндірістік жағдайларда алынған газдалған бетон үлгілерінің қасиеттері айтарлықтай ерекшеленетіндігі туралы қорытынды жасауға болады, бұл зерттеу нәтижелеріне сәйкес келеді [2-4], бұл жағдайда түзету коэффициентін енгізу қажет. өнеркәсіптік үлгілерді беріктікке көшу үшін композицияларды таңдау бойынша зертханалық зерттеу кезеңі; құрылымды қалыптастырудың ерекшеліктеріне байланысты басқа бетон түрлерімен салыстырғанда ұялы бетон мен блоктардың құрамын таңдау және олардың негізіндегі блоктардың сапасын бағалау әдістемесі әртүрлі; сығымдау беріктігіне ұялы қабырға блоктарының сапасын бағалау кезінде сынақтар бұрғыланған цилиндр үлгілеріне немесе басқару блоктарынан немесе дайын блоктардан кесілген текше үлгілеріне жүргізіледі, ал нақты жағдайда блок тұтастай жұмыс істейді, сондықтан принциптерге сүйене отырып ұсынылады. Есептеу ең нашар жағдайда орындалған кезде, тұтас (жарты) блоктардың беріктігінің мәнін алу ұсынылады.

Аталған зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (№ BR21882292 грант – «Орнықты құрылыс салаларын кешенді дамыту: инновациялық технологиялар, өндірісті оңтайландыру, ресурстарды тиімді пайдалану және технологиялық парк құру»).

Әдебиеттер тізімі

1. ГОСТ 21520-89. Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие. Технические условия. – 2004.
2. Ахметов Д. А. Ячеистый бетон для ограждающих изделий высотных зданий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Республика Казахстан. 2010.
3. Подмазова С.А., Куприянов Н.Н., Крылов Б.А., Сагайдак А.И. Качество бетона и стандартизация правил контроля его прочности. Технологии бетонов. 2009; 5.
4. Пименова А.О., Руденко О.В. Определение фактической прочности конструкций возводимых с помощью аддитивных технологий // Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана, часть I – Усть-Каменогорск, 2018. – С. 189-190.
5. Альджабуи Д.З.М., Буракова И.В., Бураков А.Е., Слдоэян Р.Д., Ткачев А.Г. Получение неавтоклавного газобетона с введением оксида графена и пластифицирующей добавки // Известия вузов. Строительство. 2023. №3. С.52-60. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-771-3-52-60.
6. Yu, W.; Liang, X.; Ni, F.M.-W.; Oyeyi, A.G.; Tighe, S. Characteristics of Lightweight Cellular Concrete and Effects on Mechanical Properties. Materials 2020, 13, 2678. <https://doi.org/10.3390/ma13122678>.

7. Самуйлов, Ю. Д. Методика определения состава газобетонной смеси требуемой плотности неавтоклавного ячеистого газобетона на микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева / Ю. Д. Самуйлов // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 214-232.
8. Самуйлов, Ю. Д. Методика определения состава газобетонной смеси требуемой прочности неавтоклавного ячеистого газобетона на микрозаполнителе из диспергированного гранитного отсева / Ю. Д. Самуйлов // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О.Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 234-252. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-15>.
9. Митина Н.А. Получение прочного неавтоклавного газобетона путем регулирования состава и свойств исходных смесей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2003.
10. СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. М.: Госстрой России, 2001.
11. СП РК 5.03-104-2013. Изготовление изделий из ячеистого бетона. – Астана, 2015.
12. ГОСТ 25485-89 Бетоны ячеистые. Технические условия. – М., ИПК Издательство стандартов, 2003.
13. ГОСТ 6133-99. Камни бетонные стеновые. Технические условия. – М., Госстрой России, 2001. – 38 с.
14. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М., Стандартинформ, 2019.
15. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М., Стандартинформ, 2018.
16. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – М., ИПК Издательство стандартов, 2001.
17. ГОСТ 12730.1-2020. Бетоны. Методы определения плотности. – М., Стандартинформ, 2021.
18. ГОСТ 12730.0-2020. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости. – М., Стандартинформ, 2020.
19. ГОСТ 7025-91 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. – М., Стандартинформ, 2006.

References

1. GOST 21520-89. Bloki iz yacheistyh betonov stenovye melkie. Tekhnicheskie usloviya. – 2004.
2. Ahmetov D. A. YAcheistyj beton dlya ograzhdayushchih izdelij vysotnyh zdanij. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk Respublika Kazahstan. 2010.
3. Podmazova S.A., Kupriyanov N.N., Krylov B.A., Sagajdak A.I. Kachestvo betona i standartizaciya pra-vil kontrolya ego prochnosti. Tekhnologii betonov. 2009; 5.
4. Pimenova A.O., Rudenko O.V. Opredelenie fakticheskoj prochnosti konstrukcij vozvodimyh s pomoshch'yu additivnyh tekhnologij // Tvorchestvo molodyh – innovacionnomu razvitiyu Kazahstana, chast' I – Ust'-Kamenogorsk, 2018. – S-189-190.
5. Al'dzhabubi D.Z.M., Burakova I.V., Burakov A.E., Sldoz'yan R.D., Tkachev A.G. Poluchenie neavtoklavnogo gazobetona s vvedeniem oksida grafena i plastificiruyushchej dobavki // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2023. №3. S.52-60. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-771-3-52-60.
6. Yu, W.; Liang, X.; Ni, F.M.-W.; Oyeyi, A.G.; Tighe, S. Characteristics of Lightweight Cellular Concrete and Effects on Mechanical Properties. Materials 2020, 13, 2678. <https://doi.org/10.3390/ma13122678>.
7. Samujlov, YU. D. Metodika opredeleniya sostava gazobetonnoj smesi trebuemoj plotnosti neavtoklavnogo yacheistogo gazobetona na mikrozapolnitеле iz dispergировannogo granitnogo отсева / YU. D. Sa-mujlov // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona : sb. науч. тр. / In-t BelNIIS; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Vyp. 10. – S. 214-232.
8. Samujlov, YU. D. Metodika opredeleniya sostava gazobetonnoj smesi trebuemoj prochnosti neavtoklavnogo yacheistogo gazobetona na mikrozapolnitеле iz dispergировannogo granitnogo отсева / YU. D. Sa-mujlov // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona : sb. науч. тр. / In-t BelNIIS; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Vyp. 11. – S. 234–252. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-15>.

9. Mitina N.A. Poluchenie prochnogo neavtoklavnogo gazobetona putem regulirovaniya sostava i svoystv iskhodnyh smesey. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. 2003.
 10. SN 277-80. Instrukciya po izgotovleniyu izdelij iz yacheistogo betona. M.: Gosstroj Rossii, 2001.
 11. SP RK 5.03-104-2013. Izgotovlenie izdelij iz yacheistogo betona. – Astana, 2015.
 12. GOST 25485-89 Betony yacheistye. Tekhnicheskie usloviya. – M., IPK Izdatel'stvo standartov, 2003.
 13. GOST 6133-99. Kamni betonnye stenovye. Tekhnicheskie usloviya. – M., Gosstroj Rossii, 2001. – 38 s.
 14. GOST 26633-2015. Betony tyazhelye i melkozemistye. Tekhnicheskie usloviya. – M., Standartinform, 2019.
 15. GOST 10180-2012 Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazcam. – M., Standartinform, 2018.
 16. GOST 8462-85. Materialy stenovye. Metody opredeleniya predelov prochnosti pri szhatii i izgi-be. – M., IPK Izdatel'stvo standartov, 2001.
 17. GOST 12730.1-2020. Betony. Metody opredeleniya plotnosti. – M., Standartinform, 2021.
 18. GOST 12730.0-2020. Betony. Obshchie trebovaniya k metodam opredeleniya plotnosti, vlazhnosti, vo-dopogloshcheniya, poristosti i vodonepronicamaemosti. – M., Standartiinform, 2020.
 19. GOST 7025-91 Kirpich i kamni keramicheskie i silikatnye. Metody opredeleniya vodopogloshcheniya, plotnosti i kontrolya morozostojkosti. – M., Standartinform, 2006.
-
-

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Abayuly Yerulan – Doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, eru-lan_97@mail.ru

Abdualikova G.M. – Senior instructor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. abdualikova_gm@mail.ru, (**Author for correspondence**)

Abduova A.A. – Candidate of Technical Sciences, Head of Department «Ecology», M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan. aisulu.abduova@mail.ru

Abeuova Laila Kuntuganovna – Lecturer, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: alk83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6560-3855>

Abildinov D.S. – doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, abildinov_ds_1@enu.kz, +77052617749. (**Author for correspondence**)

Abisheva Zhanar Semeykhanovna – Master of Chemistry, Nazarbayev Intellectual schools, of Ust Kamenogorsk, Kazakhstan, abisheva_zh@ukk.nis.edu.kz

Abiyeva G.S. – Candidate of Technical Sciences International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan E-mail: guldana1967@mail.ru

Adylkanova Ainur – master of engineering. Non-profit joint-stock company Shakarim University of Semey, aiko6a8383@mail.ru

Agabekov Daulet Zhandosovich – doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, daagabekov@gmail.com

Akhazhanov Sungat Berkinovich – PhD, Associate Professor, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: stjg@mail.ru, +7702-357-6413, <https://orcid.org/0000-0002-0903-3517>, (**Author for correspondence**)

Aldungarova A.K. – Doctor of Philosophy (PhD), Higher School of Architecture and Construction, D. Serikbayeva East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: liya_1479@mail.ru

Alimseitova Zhuldyz - PhD, Associate Professor, Satpayev University, Almaty, Kazakhstan, zhuldyz_al@mail.ru, 87773598105 (**Author for correspondence**)

Altynbekova Aliya Doszhankyzy – PhD. Student, Department of Technology of Industrial and Civil Construction, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0003-1010-9328>, e-mail: kleo-14@mail.ru

Anop Daria Kamilievna – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Candidate of Technical Sciences. Head of Development Strategy and Quality Assurance Department. Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. darjagalkina@mail.ru.

Artykbaev Darhan Zhaksylykovich - Doctor of Philosophy (PhD), Senior Lecturer, NPJSC «M. Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan artykbaev_d@mail.ru*, 8 702 443 8567 (**Author for correspondence**)

Askerbekova Arailym Myrzakhankyzy – L.N. Gumilyov Eurasian National University, doctoral student, +7 702 277 7220, e-mail: arai_09.91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4356-053X>

Askerbekova Arailym Myrzakhankyzy – PhD. Student, Department of Technology of Industrial and Civil Construction, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, <http://orcid.org/0000-0002-4356-053X>, e-mail: aria_09.91@mail.ru, (**Author for correspondence**)

Asylbekova Aizhan Asylbekovna – PhD, Associate Professor; Al-Farabi Kazakh National University, Head of the Department of Cartography and Geoinformatics, Almaty, Kazakhstan. e-mail: aizhan.asylbekova@kaznu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-8609-3855>

Aubakirova Farida Khabievna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NPJSC «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan, faraub1011@mail.ru, 8 747 777 55 68

Aubakirova Zulfiya Akyzbekovna – doctoral student of "Production of building materials, products and structures", A. Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, aubakirova.zulfiya@mail.ru

Azizov Eldar Alikovich – doctoral student; Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: eldar_14_03@mail.ru

Baideldinov M.U. – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, baideldinov_mu@enu.kz

Baigenzhenov O. S. – Doctor Ph.D., Professor. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", the department "Metallurgical processes, heat engineering and technology of special materials", Almaty, the Republic of Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5803-7680>. Эл.почта: o.baigenzhenov@satbayev.university. (**Author for correspondence**)

Baispay Gulshat Bolatkyzy – Postdoctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, gulshat.bgb2@gmail.com, 87083724812 (**Author for correspondence**)

Baitasov Kamalbek – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyzylorda University "Bolashak", Kazakhstan, City: Kyzylorda, E-mail: kbaitasov@mail.ru

Baklanova Olga Evgenievna – professor, candidate of physical and mathematical sciences, VKTU named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, E-mail: obaklanova@edu.ektu.kz, +77055290125, (**Author for correspondence**)

Begentaev Meiram Mukhametrakhimovich – Chairman of the Board - Rector of the Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan. m.begentaev@satbaev.university

Bekbayeva R.S. – «Semey Shakarim University» of non-profit joint stock company, candidate of Technical Sciences, senior lecturer, E-mail: 31-roza@mail.ru

Bolshibayeva A.K. – PhD assoc.professor, E-mail: kakim-aigerim@mail.ru3 ,<https://orcid.org/0000-0003-1191-4249>, Information System Department

Chumachenko N.G. – Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Samara, Russia E-mail: uvarovang@mail.ru

Dautova Zukhra – Candidate of Pedagogical Sciences, S. Amanzholov East Kazakhstan University , Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan dautowa@mail.ru, 87777422010

Denissova Natalya – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Digital Officer of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, (**Author for correspondence**)

Dosaliev Kanat – PhD, Associate Professor, NPJSC «M. Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan, Dosaliev_k@mail.ru, 8 701 866 7778

Doszhanov Maksut Zharylkasynovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyzylorda University "Bolashak", Kazakhstan, City: Kyzylorda, E-mail: doszhanov55@mail.ru, 8-701-530-84-74 (**Author for correspondence**)

Dyusova Rizagul Muslimovna – Candidate of Technical Sciences, post-doctoral student of the Department of Mechanics and Oil and Gas Business, NAO "Toraigyrov University", Pavlodar, 64 Lomova str., tel.: 8 (7182) 67-36-85, Republic of Kazakhstan. E-mail: rizagul.dyusova@gmail.com], 8702-225-0413.

Dyusseminov Duman Serikovich – Candidate of Science (VAK RK), Associate Professor, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, <http://orcid.org/0000-0001-6118-5238>, e-mail: duseminov@mail.ru

Dzhusupov Nurbol Dauletkanovich – 3 Current position, academic degree: doctoral student of the Department of «Development of mineral deposits» Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan). 8-777 484-17-80, E-mail: nurbol.jussupov@mail.ru, ORCID ID 0009-0000-4071-2078

Embergenov Muratbek Abdkarimovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Kyzylorda University "Bolashak". Kazakhstan, City: Kyzylorda, E-mail: ema-2802@mail.ru

Espolova Zukhra Ablkasymovna – master of engineering and technology, East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, 22Espolova@edu.ektu.kz (**Author for correspondence**)

Fedkin Yevgeniy – Master of Technical Sciences, engineer of the highest category of the highest qualification level of the Management of Support and Information Technology of the Department of Information Technology, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Ibragimov Kudaybergen – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NPJSC «M. Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan askanbayev@bk.ru, 8 705 758 4210

Ivashchenko Yelena Nikolayevna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher Office of support for research projects, Non-profit Joint Stock Company D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: elenaiva69@mail.ru, ORCID 0000-0002-9233-6593

Iztleuov Gani Moldakulovich – Candidate of Science, professor, M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-5722-342X>, e-mail: gani5@mail.ru

Jeksembayeva Asel Ermekovna – L.N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Director of the Innovation Development Department, +7 701 888 2587, e-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0299-6190>

Kaliyeva A.B. – doctoral student of the department "Automatization, Information Technology and Urban Planning", "Shakarim University of Semey", E-mail: aliyabekenqyzy@gmail.com

Karmenova M.A. – PhD, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, mmm_0582@mail.ru 8-777-411-04-04

Karymsakova I.B. – Acting Associate Professor of the Department of AITiG Doctor PhD, NAO Shakarim University, Semey, Kazakhstan, E-mail: karymsakova.indira@mail.ru, 87778510809, **(Author for correspondence)**

Kassymova Anel Albekovna – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: anelya.kas@mail.ru, ORCID:0009-0008-0686-4949, +7 776 663 11 00

Kassymova Anel Albekovna – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: anelya.kas@mail.ru, ORCID:0009-0008-0686-4949, +7 776 663 11 00

Kenzhekulova Farida Konarbaevna – Senior instructor, M.H.Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan. farida075@bk.ru

Khabyev A.T. – Doctor Ph.D., Assoc. Professor. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", the department "Chemical and biochemical engineering", Almaty, the Republic of Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5803-7680>. Эл.почта: o.baigenzhenov@satbayev.university.,

Khokhlova Anastasia Evgenievna – Rating, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, nxox2021@mail.ru, 87053273353

Khompysh Ardabek – PhD, Researcher, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan ardabek@mail.ru **(Author for correspondence)**

Konkanov Marat Dzhumataevich – Director of the scientific and production center "ENU-Lab", Astana, Kazakhstan, E-mail: marcon@metrology.kz, +7 777 008 08 07

Konyrkhanova A.A. – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, erkes Shank@mail.ru

Kosparmakova Samal Akhmetalievna – <https://orcid.org/0000-0003-4700-364X>, Scopus Author ID: 58075443200, ResearcherID: ACS-5864-2022, Deputy Director for Quality and Logistics, Research and Production Center "ENU-Lab", Astana, Kazakhstan, Email: smartsam0509@gmail.com, +7 747 5328651. **(Author for correspondence)**

Kozhakhmetova D.O. – Head of the Department "AITiG" Doctor PhD, NAO Shakarim University, Semey, Kazakhstan, E-mail: dinarakozhakhmetova@mail.ru

Kulbayeva A.K. – lecturer, PhD student 1st grade, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan, Information System Department, E-mail: aakulbayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-7245-8312> **(Author for correspondence)**

Kurbanbayeva S. – is an English language specialist M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan E-mail: saule_kurban@mail.ru

Kurmanova Dametyk Taitukovna – C. p.-m.s., Science, East Kazakhstan Technical university named after D.Serikbayev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, DamKurmanova@edu.ektu.kz

Kurushbayeva Dinara – master of engineering. Non-profit joint-stock company Shakarim University of Semey, sh_din097@mail.ru

Kusainova Aisulu Amirkhanovna – Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Surveying and Geodesy. **(Author for correspondence)**

Kynoyat Dina Didarovna – Analyst of " expert Plus " collection agency LLP, Almaty

Lizunov Oleg Alexandrovich – Researcher, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan. lizunov@bk.ru

Lukpanov Rauan Ermagambetovich – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0003-0085-9934>, e-mail: rauan_82@mail.ru

Lutay Sergey Sergeevich – East Kazakhstan Technical University D. Serikbaeva, engineer of the first category of the highest level of qualification, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. sslutai@mail.ru

Mamedov Seymur Etibar oglu – PhD of technical Sciences, Practicing Associate Professor, L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-2850-8100>, e-mail: sp_proekt_stroy@bk.ru, 8 701 866 66 12

Mashayev Yerbolat – bachelor, engineer of the second category of the highest qualification level of the Management of Support and Information Technology of the Department of Information Technology, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Medennikov Viktor Ivanovich – doctor of Engineering, Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: dommed@mail.ru

Mergenbekova Assel Nogerbekovna – Assistant Professor, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: asel_45520@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5738-6188>

Merkibayev Y.S. – master, head of the laboratory. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", the department "Metallurgical processes, heat engineering and technology of special materials", Almaty, the Republic of Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3869-6835>. Эл.почта: y.merkibayev@satbayev.university

Mezentseva Olga Varfolomeevna – Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Geography and Methods of Teaching Geography

Mukaliev Zhandos Kairatovich – Senior lecturer, doctoral student; Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: Zh.mukaliyev@kaznu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9292-7468>; cell number: 8775-372-87-55, **(Author for correspondence)**

Mukasheva Rosa Urumkanovna – PhD, Senior Lecturer of the Department of Mathematics of D. Serikbayev EKTU, **(Author for correspondence)**

Musin Ravil Altavovich – 3 Current position, academic degree: PhD, acting Associate Professor of the Department of "Development of Mineral Deposits" «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan). 8-778- 020-88-85, E-mail: r.a.mussin@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1206-6889

Mussiraliyeva Shynar Zhenisbekovna – Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, mussiraliyevash@gmail.com

Muzdybaev M. – candidate of technical sciences, D.Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: mmuzdybaev@mail.ru

Muzdybaeva A. – candidate of technical sciences, D.Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: amuzdybaeva@mail.ru

Myrzabekova D – PhD, senior lecturer, D.Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: DMyrzabekova@ektu.kz. **(Author for correspondence)**

Nurakhmetova Zhanara Anuarbekovna – PhD, <https://orcid.org/0000-0003-2558-8579>, Scopus Author ID: 57189372535, ResearcherID: AFF-6890-2022, L. N. Gumilev

Nurlanova Bayan Mukhambetovna – Senior Lecturer, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: b.nurlanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6956-9375>

Nurzhaubaev A.A. – doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, nurzhaubayev.akniet@gmail.com

Ogan Atkeldi – PhD student, Senior lecturer, Satpayev University, Almaty, Kazakhstan, atkeldi@mail.ru

Ospanov Ruslan Kairatuly – Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ospanov.ruslan.k@gmail.com

Otarbayeva Gulzira Makhsatovna – magister, teacher, NPJSC «M. Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan, gulzy_87@mail.ru, 8 777 969 5790

Ozheth Arshyn – PhD student, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0009-0008-2349-5655>, E-mail: Arshyn.novyy@bk.ru, 8775 513 68 08 (**Author for correspondence**)

Petrova Olga – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Competence Center of Environmental protection and Life Safety of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Rabatuly Mukhammedrakhym – 3 Current position, academic degree: PhD, acting Associate Professor of the Department of "Development of Mineral Deposits". Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylka Saginov» (Karaganda, Kazakhstan). 8-702- 503-88-81, E-mail: mukhammedrakhym@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-7558-128X; (**Author for correspondence**)

Rafikov Timur – doctoral student; Kazakh National Agrarian Research University; Kazakhstan.

Rakhmetulayeva S.B. – PhD assoc.professor, E-mail: ssrakhmetulayeva@gmail.com2 <https://orcid.org/0000-0003-4678-7964>, Information System Department,

Ramazanova Raigul Amangeldinovna – PhD, East Kazakhstan Technical University named after. D. Serikbaeva, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, RRamazanova@edu.ektu.kz, raigul_77_33@mail.ru, 8-776-466-88-89

Rudenko Olga Vladimirovna – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University. Candidate of Technical Sciences. Head of the Center of competence and technology transfer in the field of construction. Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. O_Rudenko_vkqtu@mail.ru.

Saktaganova Nargul Amanovna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Казахстан, email: amanovna.75@mail.ru, (**Author for correspondence**)

Saurbayeva Bekzat Sagatbekovna – candidate of chemical sciences, EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. saurbaeva71@mail.ru. 87773156261. (**Author for correspondence**)

Seilov Sh.Zh. – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, seilov1961@gmail.com

Seitenova Gaini Zhumagalievna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, L. Gumilev Eurasian National University, Astana, 2 Satpayev str., tel.: +7 (7172) 709500, Republic of Kazakhstan. E-mail: gainiseitenova@gmail.com, +7 747 213 2012.

Shakhmov Zh.A. – PhD, Associated professor, Department of Civil engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. zhanbolat8624@mail.ru

Shevlyakov Vladimir Fedrovich – East Kazakhstan Technical University. D. Serikbaeva, candidate of technical sciences. shevlyakovvf08@mail.ru

Skripnikova Nelly Karpovna – Dr., Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia. <http://orcid.org/0000-0003-3384-9564>, Email: nks2003@mail.ru

Smagulova E.M. – Associated professor, Department of Civil engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. elmirasmagulova@mail.ru

Spivak Dmitriy Alexeevich – Master of Technical Sciences, engineer of the Management of Support and Information Technology of the Department of Information Technology, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Surankulov Shayzhan Zhuvandykovich – Professor of technical sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, E-mail: sh.surankulov@kazatu.edu.kz

Tantybayeva Batima – Candidate of Pedagogical Sciences, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. bati_54@mail.ru, 87771511114

Tasbolat Galymzhan Zhumabekovich – Academic degree: Master of Technical Sciences, Kyzylorda University "Bolashak", Kazakhstan, Kyzylorda, E-mail: galymzhan_zh@mail.ru, 8-775-533-63-01

Tazabekova O.Zh. – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. omirgul.zhanarbekkyzy2000@gmail.com

Tazhenova Gaukhar – candidate of chemical sciences, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, gaukhar-1970@mail.ru, 87014158010

Tezekpayeva Shynar Tolegenovna – teacher, VKTU named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, E-mail: shtezekpaeva@edu.ektu.kz, +7777657671

Tlebaldinova A.S. – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, atlebaldinova@edu.ektu.kz, 8-705-752-15-22

Uazirhanova Zhuldyz Keneskhonovna – master of Engineering Science, East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, 3ZhUazirhanova@edu.ektu.kz

Uderbayev Saken Seitkhanovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, email: saken_uderbayev@mail.ru

Utepbergenova L.M. – Candidate of Technical Sciences, associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. utepber78@mail.ru

Yeleussinova Akmaral – Candidate of Technical Sciences, Head of Department «Civil engineering», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. Yeleussinova70@mail.ru

Yerbolat Dias Dossymuly – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: diaserbolat16@gmail.com, ORCID:0000-0002-2072-4212, +7 777 683 12 11

Yerbolatova Gulnara Ualhanovna – PhD, Associate Professor at the International School of Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: e.gulnara_77@mail.ru, ORCID:0000-0002-5258-4103, +7 777 654 17 28, (**Author for correspondence**)

Yulussov S.B. – Doctor Ph.D., Assoc. Professor. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", the department "Metallurgical processes, heat engineering and technology of special materials", Almaty, the Republic of Kazakhstan. ORCID ID: ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8044-4186>. Эл.почта: s1981b@mail.ru

Zamaliyev Nail Mansurovich – 3 Current position, academic degree: PhD, acting Associate Professor of the Department of "Development of Mineral Deposits", Non-profit Joint Stock Company "Karaganda Technical University named after Abylka Saginov" (Karaganda, Kazakhstan). 8-700- 435-33-23, E-mail: Nail-zamaliyev@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-0628-2654

Zavalko A. – candidate of technical sciences, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: AZavalko@mail.ru

Zhakypova Gulnur Mukhamedzhanovna – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, email: gulnur-str07-1@mail.ru

Zhamanbayeva Manira Krykbayevna – candidate of chemical sciences, EKTU, Ust- Kamenogorsk. Kazakhstan. MZhamanbaeva@edu.ektu.kz. 87770250770

Zharkenov Ye.B. – Associated professor, Department of Civil engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. berdenovich@gmail.com

Zhumagulova Adiya Askarovna – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-6310-2501>, e-mail: zaaskarovna@gmail.com

Zhumatayeva Zhazira Manarbekovna – lecturer, doctoral student; Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: zhazka07@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6113-3614>.

Zhursinbek B.Sh. – AI specialist, Kazakh Academy of Infocommunications, Astana, Kazakhstan, zhursinbek99@gmail.com

Zhursinbek E.Sh. – doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, zhursinbek@gmail.com

МАЗМҰНЫ

ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС

Аскербекова А.М., Дюсембинов Д.С., Скрипникова Н.К., Алтынбекова А.Д., Изтлеуов Г.М. Кешенді модификацияланған қоспаның көбікті бетон өнімдерін өндіру сапасына әсері	5
Ерболатова Г.У., Касымова А.А., Ерболат Д.Д. Магнетронды бүрку арқылы алынған TiN жабындарының құрылымы мен механикалық қасиеттерін зерттеу	16
Завалко А.Г., Муздыбаев М.С., Мырзабекова Д.М., Муздыбаева А.С. Жүргізушілерді үнемді жүргізуге үйрету үшін интегралды энергетикалық көрсеткіштерді қолдану мүмкіндігін бағалау	27
Кожаметова Д.О., Адылканова А.Ж., Курушбаева Д.Т., Карымсакова И.Б. Айқын емес ортада басқару алгоритмі негізінде каталитикалық крекинг технологиялық үрдісі есебін қалыптастыру	38
Кулбаева А.К., Рахметулаева С.Б., Болшибаева А.К. Қазақстанда ақшаны жымқыру жөніндегі қызметті анықтау: машиналық оқыту тәсілі және кешенді зерттеу	53
Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. Жылу-ылғалмен әртүрлі қамтамасыз етілген жылдардағы Қазақстанның орманды дала және дала аймақтары аумағының табиғи ылғалдануы	65
Мукалицев Ж.К., Асылбекова А.А., Жұматаева Ж.М., Азизов Э.А., Рафиков Т.К. Семей сынақ полигонының жерлерін талдау үшін деректер базасын құру	75
Мусин Р.А., Замалиев Н.М., Рабатұлы М., Джусупов Н.Д. Қазақстанның көмір қабаттарының метан өндіру жағдайын талдау	88
Тантыбаева Б.С., Саурбаева Б.С., Рамазанова Р.А., Жаманбаева М.Қ., Даутова З.С., Абишева Ж.С., Тажкенова Г.К., Иващенко Е.Н. Гумин қышқылының глицинмен күрделі қосылысын алу	96
Юлусов С.Б., Байгенженов О.С., Хабиев А.Т., Меркибаев Е.С. Құрамында ванадий бар техногендік шикізатты өңдеу әдістеріне шолу	105

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Алимсеитова Ж.К., Оган А. Цифрлық криптовалюта нарығының қызметтері үшін ақпараттық қауіпсіздік мәселелері және технологиялық тәуекелдер	114
Денисова Н.Ф., Федькин Е.М., Машаев Е.Ж., Спивак Д.А., Петрова О.А. Шығыс Қазақстан облысындағы қар көшкіні белсенділігінің мониторинг жүйесі үшін деректер базасын жобалау	124
Карымсакова И.Б., Денисова Н.Ф., Калиева А.Б., Кожаметова Д.О., Бекбаева Р.С. Импланттарды бүрку үшін траекторияларды модельдеудің ақпараттық жүйесін әзірлеу	134
Купоуат D.D., Mukasheva R.U. Blockchain технологиясы негізінде ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің компьютерлік моделін әзірлеу	144
Меденников В.И. Ресей ауыл шаруашылығына жасанды интеллектті енгізудің әлеуметтік салдары	155
Мусиралиева Ш.Ж., Байспай Г.Б., Абайұлы Е., Оспанов Р.К., Агабеков Д.Ж. Қатысушы пайдаланушылардың байланыстарын графикалық визуализациялау алгоритмі мен бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу	165
Сеилов Ш.Ж., Абильдинов Д.С., Байдельдинов М.У., Нуржаубаев А.А., Конарханова А.А., Журсинбек Б.Ш., Журсинбек Е.Ш. Жасанды иіс сезу жүйесін қолдануымен бақыланатын ортада көкөністер мен жемістерді сақтау технологиясын жетілдіру	179
Тлебалдинова А.С., Карменова М.А. Білім алушылардың оқу үлгерімдерін машиналық оқыту әдісі негізінде талдау және болжау	187
Хомпыш А., Лизунов О.А. IoT құрылғыларына арналған жеңілсалмақты шифрлау алгоритмі	198
Хохлова А.Е., Бакланова О.Е., Тезекпаева Ш.Т. Спамды сұзу мәселесін шешуде аңғал Бай-ес әдісін қолдану	210

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС

- Абдукаликова Г.М., Утепбергенова Л.М., Смагулова Э.М., Жаркенов Е.Б., Абдуова А.А., Шахмов Ж.А., Кенжекулова Ф.К., Елеусинова А.Е., Тазабекова Ө.Ж.** Ауылдық елді мекендерді сумен жабдықтау үшін суды тазарту технологиясын жетілдіру 219
- Аскербекбаева А., Дюсембинов Д., Жумагулова А., Лукпанов Р., Конканов М., Джексембаева А.** Минералды оқшаулау өндірісінің қалдықтарынан алынған минералды талшық негізінде көбік бетон өндіру технологиясы 233
- Ахажанов С.Б., Нурланова Б.М., Абеуова Л.К., Мергенбекова А.Н.** Жұқа изотропты пластиналардың иілуін талдау 241
- Досжанов М.Ж., Байтасов К., Ембергенов М.А., Тасболат Ф.Ж.** Пластинаның өз тербелістерінің есептерін қоршаған ортамен әрекеттесетін жазық элемент ретінде теориялық зерттеу 249
- Жакыпова Г.М., Удербасов С.С., Сактаганова Н.А., Алдунгарова А.К., Чумаченко Н.Г., Абиева Г.С., Курбанбаева С.** Органоминералды қоспалары бар тротуар плиталары үшін жақсартылған майда түйіршікті бетон 265
- Ибрагимов Қ., Аубакирова Ф.Х., Артыкбаев Д.Ж., Досалиев Қ.С., Отарбаева Г.М.** Зертханалық жағдайда ірі сынықты грунттардың максималды тығыздығы мен оңтайлы ылғалдылығын анықтау 274
- Коспармакова С.А., Конканов М.Д., Нурахметова Ж.А., Дюсова Р.М., Сейтенова Г.Ж.** Асфальтты жол жүйелеріндегі резеңкенің қайта өңделуі: қолданбалы зерттеулер мен технологиядағы жетістіктерге шолу 281
- Курманова Д.Т., Есполова З.А., Уазырханова Ж.К.** Оқу процесіне ALLPLAN графикалық бағдарламасын енгізу 292
- Өжет А., Мамедов С.Э., Суранкулов Ш.Ж.** Неміс сәулеттік тарихы мысалындағы жалпы білім беру ұйымдарының сәулеттік жобалау ерекшеліктері 310
- Руденко О.В., Аноп Д.К., Шевляков В.Ф., Лутай С.С., Аубакирова З.А., Бегентаев М.М.** Зертханалық және өнеркәсіптік жағдайларда алынған газобетон үлгілерінің қасиеттерінің айырмашылығын талдау 318

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Аскербекова А.М., Дюсембинов Д.С., Скрипникова Н.К., Алтынбекова А.Д., Изтлеуов Г.М. Влияние комплексной модифицированной добавки на качество производства пенобетонных изделий	5
Ерболатова Г.У., Касымова А.А., Ерболат Д.Д. Исследование структуры и механических свойств покрытий TiN, полученных методом магнетронного напыления	16
Завалко А.Г., Муздыбаев М.С., Мырзабекова Д.М., Муздыбаева А.С. Оценка возможности применения интегральных энергетических показателей для обучения водителей экономичному вождению	27
Кожаметова Д.О., Адылканова А.Ж., Курушбаева Д.Т., Карымсакова И.Б. Формирование задачи технологического процесса каталитического крекинга на основе алгоритма нечеткого управления	38
Кулбаева А.К., Рахметулаева С.Б., Болшибаева А.К. Выявление деятельности по отмыванию денег в Казахстане: подход машинного обучения и комплексное изучение	53
Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. Естественное увлажнение территории лесостепной и степной зон Казахстана в годы различной тепловлагообеспеченности	65
Мукалиев Ж.К., Асылбекова А.А., Жұматаева Ж.М., Азизов Э.А., Рафигов Т.К. Создание базы данных для анализа земель Семипалатинского испытательного полигона	75
Мусин Р.А., Замалиев Н.М., Рабатұлы М., Джусупов Н.Д. Анализ состояния добычи метана угольных пластов Казахстана	88
Тантыбаева Б.С., Саурбаева Б.С., Рамазанова Р.А., Жаманбаева М.К., Даутова З.С., Абишева Ж.С., Тажкенова Г.К., Иващенко Е.Н. Получение комплексного соединения гуминовой кислоты с глицином	96
Юлусов С.Б., Байгенженов О.С., Хабиев А.Т., Меркибаев Е.С. Обзор методов переработки техногенного ванадийсодержащего сырья	105

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алимсеитова Ж.К., Оган А. Проблемы информационной безопасности и технологические риски для сервисов рынка цифровых криптовалют	114
Денисова Н.Ф., Федькин Е.М., Машаев Е.Ж., Спивак Д.А., Петрова О.А. Проектирование базы данных для системы мониторинга активности лавиносборов в Восточно-Казахстанской области	124
Карымсакова И.Б., Денисова Н.Ф., Калиева А.Б., Кожаметова Д.О., Бекбаева Р.С. Разработка информационной системы моделирования траекторий для напыления имплантов	134
Қинойт Д.Д., Мукашева Р.У. Разработка компьютерной модели обеспечения информационной безопасности на основе технологии blockchain	144
Меденников В.И. Социальные последствия внедрения искусственного интеллекта в Российском сельском хозяйстве	155
Мусиралиева Ш.Ж., Байспай Г.Б., Абайұлы Е., Оспанов Р.К., Агабеков Д.Ж. Разработка алгоритма и программного обеспечения графической визуализации связей вовлеченных пользователей	165
Сеилов Ш.Ж., Абильдинов Д.С., Байдельдинов М.У., Нуржаубаев А.А., Конырханова А.А., Журсинбек Б.Ш., Журсинбек Е.Ш. Совершенствование технологии хранения овощей и фруктов в контролируемой среде с использованием системы искусственного обоняния	179
Тлебалдинова А.С., Карменова М.А. Анализ и прогнозирование успеваемости обучающихся на основе метода машинного обучения	187
Хомпыш А., Лизунов О.А. Легковесный алгоритм шифрования для устройств IoT	198
Хохлова А.Е., Бакланова О.Е., Тезекпаева Ш.Т. Применение метода наивного Байеса при решении задачи фильтрации спама	210

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

- Абдукаликова Г.М., Утепбергенова Л.М., Смагулова Э.М., Жаркенов Е.Б., Абдуова А.А., Шахмов Ж.А., Кенжекулова Ф.К., Елеусинова А.Е., Тазабекова Ө.Ж.** Совершенствование технологии очистки воды для водоснабжения сельских населенных пунктов 219
- Аскербекоева А., Дюсембинов Д., Жумагулова А., Лукпанов Р., Конканов М., Джексембаева А.** Технология производства пенобетона на основе минеральной фибры, полученной из отходов производства минеральных утеплителей 233
- Ахажанов С.Б., Нурланова Б.М., Абеуова Л.К., Мергенбекова А.Н.** Анализ изгиба тонких изотропных пластин 241
- Досжанов М.Ж., Байтасов К., Ембергенов М.А., Тасболат Ф.Ж.** Теоретические исследования задач собственных колебаний пластинки как плоского элемента, взаимодействующего с окружающей средой 249
- Жакыпова Г.М., Удербает С.С., Сактаганова Н.А., Алдунгарова А.К., Чумаченко Н.Г., Абиева Г.С., Курбанбаева С.** Улучшенный мелкозернистый бетон для тротуарной плитки с органоминеральными добавками 265
- Ибрагимов К., Аубакирова Ф.Х., Артыкбаев Д.Ж., Досалиев К.С., Отарбаева Г.М.** Лабораторное определения максимальной плотности и оптимальной влажности крупнообломочных грунтов 274
- Коспармакова С.А., Конканов М.Д., Нурахметова Ж.А., Дюсова Р.М., Сейтенова Г.Ж.** Обзор практических исследований по переработке резины и технологических разработок при использовании асфальтобетонных покрытий 281
- Курманова Д.Т., Есполова З.А., Уазырханова Ж.К.** Внедрение в учебный процесс графической программы ALLPLAN 292
- Өжет А., Мамедов С.Э., Суранкулов Ш.Ж.** Особенности архитектурного проектирования общеобразовательных организаций в историческом примере немецкой архитектуры 310
- Руденко О.В., Аноп Д.К., Шевляков В.Ф., Лутай С.С., Аубакирова З.А., Бегентаев М.М.** Анализ различия свойств образцов газобетона, полученного в лабораторных и промышленных условиях 318

CONTENT

ENGINEERING AND ENGINEERING

Askerbekova A.M., Dyusseminov D.S., Skripnikova N.K., Altynbekova A.D., Iztleuov G.M. The effect of a complex modified additive on the quality of the production of foam concrete products	5
Yerbolatova G.U., Kassymova A.A., Yerbolat D.D. investigation of the structure and mechanical properties of TiN coatings obtained by magnetron sputtering	16
Zavalko A., Muzdybaev M., Myrzabekova D., Muzdybaeva A. Assessment of the possibility of integrated energy indicators using for training drivers to drive economically	27
Kozhakhmetova D., Adykanova A., Kurushbayeva D., Karymsakova I. Formation of the problem of a technological process of catalytic cracking based on a fuzzy control algorithm	38
Kulbayeva A.K., Rakhmetulayeva S.B., Bolshibayeva A.K. Detecting money laundering activities in Kazakhstan: a machine learning approach and a comprehensive study	53
Kusainova A., Mezentseva O. Natural moistening of the forest-steppe and steppe zone of Kazakhstan in years with different availability of heat and moisture	65
Mukaliev Zh.K., Asylbekova A.A., Zhumatayeva Zh.M., Azizov E.A., Rafikov T. Creation of a database for the analysis of the lands of the Semipalatinsk test site	75
Mussin R.A., Zamaliyev N.M., Rabatuly M., Dzhusupov N.D. Analysis of the state of coalbed methane production in Kazakhstan	88
Tantymbayeva B.S., Saurbayeva B.S., Ramazanova R.A., Zhamanbayeva M.K., Dautova Z.S., Abisheva Zh.S., Tazhkenova G.K., Ivashchenko Ye.N. Preparation of a complex compound of humic acid with glycine	96
Yulussov S.B., Baigenzhenov O.S., Khabiyev A.T., Merkiybayev Ye.S. Review of methods for processing technogenic vanadium-containing raw materials	105

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Alimseitova Zh., Ogan A. Information security issues and technological risks for digital cryptocurrency market services	114
Denissova N., Fedkin Ye., Mashayev Ye., Spivak D.A., Petrova O. Designing a database for an avalanche activity monitoring system in the East Kazakhstan region	124
Karymsakova I., Denissova N., Kaliyeva A., Kozhakhmetova D., Bekbayeva R. Development of an information system for modeling trajectories for spraying implants	134
Қинойт Д.Д., Мукашева П.У. Development of a computer model for ensuring information security based on blockchain technology	144
Medennikov V.I. Social implications of implementing artificial intelligence in the Russian agriculture	155
Mussiraliyeva Sh.Zh., Baispay G.B., Abayuly Ye., Ospanov R.K., Agabekov D.Zh. Development of an algorithm and software for graphic visualization of relationships of involved users	165
Seilov Sh.Zh., Abildinov D.S., Baideldinov M.U., Nurzhaubaev A.A., Konyrkhanova A.A., Zhursinbek B.Sh., Zhursinbek E.Sh. Improvement of technology for storing vegetables and fruit in a controlled environment using artificial olfaction system	179
Tlebaldinova A.S., Karmenova M.A. Analysis and prediction of students' performance based on the machine learning method	187
Khompys A., Lizunov O.A. Lightweight encryption algorithm for IoT devices	198
Khokhlova A.E., Baklanova O.E., Tezekpayeva Sh.T. Application of the naive Bayes method in solving the spam filtering problem	210

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

- Abdualikova G.M., Utepbergenova L.M., Smagulova E.M., Zharkenov Ye.B., Abduova A.A., Shakhmova Zh.A., Kenzhekulova F.K., Yeleussinova A., Tazabekova O.Zh.** Improvement of water purification technology for water supply of rural settlements 219
- Askerbekova A.M., Dyusembinov D.S., Zhumagulova A.A., Lukpanov R.E., Konkanov M., Jeksembayeva A.E.** Technology of foam concrete production on the basis of mineral fiber obtained from wastes of mineral insulation production 233
- Akhazhanov S.B., Nurlanova B.M., Abeuova L.K., Mergenbekova A.N.** Bending analysis of thin isotropic plates 241
- Doszhanov M.Zh., Baitasov K., Embergenov M.A., Tasbolat G.Zh.** Theoretical studies of the problems of natural vibrations of a plate as a plane element interacting with the environment 249
- Zhakypova G., Uderbayev S.S., Saktaganova N.A., Aldungarova A.K., Chumachenko N.G., Abiyeva G.S., Kurbanbayeva S.** Improved fine-grained concrete for paving slabs with organomineral additives 265
- Ibragimov K., Aubakirova F.Kh., Artykbaev D.Zh., Dossaliyev K.S., Otarbayeva G.M.** Laboratory determination of the maximum density and optimal humidity of large-block soils 274
- Kosparmakova S.A., Konkanov M.J., Nurakhmetova Zh.A., Dyusova R.M., Seytenova G.Zh.** Review of rubber recycling practical studies and technological developments in using asphaltconcrete pavements 281
- Kurmanova D.T., Espolova Z.A., Uazirhanova Zh.K.** Introduction of the ALLPLAN graphic program into the educational process 292
- Ozhet A., Mamedov S., Surankulov Sh.** Features of architectural design of general educational organizations in the historical example of german architecture 310
- Rudenko O.V., Anop D.K., Shevlyakov V.F., Lutay S.S., Aubakirova Z.A., Begentaev M.M.** Analysing the difference in properties of aerated concrete samples obtained in laboratory and industrial conditions 318

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің ХАБАРШЫСЫ

Ғылыми журнал
1999 жылдан шыға бастады.
Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінде тіркеліп,
2024 ж. 3 мамырында № KZ71VPY00092356 куәлігі берілген.

ВЕСТНИК Восточно-Казakhstanского технического университета имени Д. Серикбаева

Научный журнал
Издается с 1999 г.
Зарегистрирован Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан. Свидетельство № KZ71VPY00092356 от 3 мая 2024 г.

BULLETIN of D. Serikbayev East Kazakhstan technical university

Scientific journal
Published since 1999
Registered by the Ministry of Information and Social Development
Republic of Kazakhstan. Certificate No. KZ71VPY00092356 dated May 3, 2024.

Редакторлар – Редакторы
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Корректорлар – Корректоры
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Руководитель издательства О.Н. Николаенко
Editors O. Nikolaenko, S. Mamyrazdykova
Copy editors O. Nikolaenko, S. Mamyrazdykova
Publishing director O. Nikolaenko

Материалдарды компьютерде терген және беттеген С.С. Мамыраздыкова
Набор, верстка, изготовление оригинал-макета С.С. Мамыраздыкова
Text Layout, lead out production of the original layout S. Mamyrazdykova

Басуға 27 маусым 2024 ж. қол қойылды.
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.
Көлемі: шартты баспа табағы 35,91, есептік баспа табағы 35,97.
Баспа нұсқасы. Таралымы 50 дана. № 315-2024 тапсырыс.
Бағасы келісім бойынша.

Подписано в печать 27 июня 2024 г.
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.
Объем: усл. печ. л. 35,91, уч.-изд. л. 35,97.
Печатная версия. Тираж 50 экз. Заказ № 315-2024.
Цена договорная.

Signed to print on June 27, 2024.
Format 84'108 / 16. Offset paper.
Volume: conventional printing plate 35.91, estimated printing plate 35.97.
Printed version. Circulation 50 copies. Order No. 315-2024.
The price is negotiable.

Шығыс Қазақстан техникалық университеті. 070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69.
Восточно-Казakhstanский технический университет. 070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69.
D. Serikbayev East Kazakhstan technical university. 070004, Ust-Kamenogorsk, 69 Protozanov Street.