

Регистрационный
№ KZ71VPY00092356

ISSN 1561-4212
ISSN 2789-8210 (Online)
№ 4(106), декабрь, 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

МАШИНАЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_5
MPHTI 55.01.79

С.Р. Байгереев¹, Ж.Т. Конурбаева², А.Х. Машекенова³

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

¹E-mail: sbaigereyev@edu.ektu.kz

²E-mail: zhkonurbaeva@edu.ektu.kz*

³E-mail: amashekenova@edu.ektu.kz

ПРИКЛАДНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕРТИФИКАТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ИНЖЕНЕРА В СФЕРЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ

МАШИНА ЖАСАУ САЛАСЫНДАҒЫ КӘСІБИ ИНЖЕНЕР СЕРТИФИКАТЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЕСЕПТЕУ ҮШІН ҚОЛДАНЫЛҒАН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛІ

APPLIED COMPUTER MODEL FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF A PROFESSIONAL ENGINEER CERTIFICATE IN MECHANICAL ENGINEERING

Аннотация. Сертификация инженерных кадров является одной из эффективных систем оценки соответствия компетенций инженеров международным требованиям. Результатом профессиональной сертификации инженеров является сертификат. В статье представлена прикладная компьютерная модель расчета срока действия сертификата в зависимости от уровня знаний заявителя, стажа работы и уровня ответственности профессии. По результатам компьютерного моделирования указанные входные параметры влияют на срок действия сертификата и отличаются от существующего подхода на 20 %. Результаты исследования могут быть применены в сертификационных центрах для сертификации профессиональных инженеров.

Ключевые слова: машиностроение, сертификация инженеров, сертификат, компьютерная программа, математическая модель, нечеткие множества.

Аңдатпа. Инженерлік персоналды сертификаттау инженерлердің құзыреттілігінің халықаралық талаптарға сәйкестігін бағалаудың тиімді жүйелерінің бірі болып табылады. Инженерлердің кәсіби аттестациясының нәтижесі сертификат болып табылады. Бұл мақалада өтініш берушінің білім деңгейіне, оның жұмыс тәжірибесіне және кәсіптің жауапкершілік деңгейіне байланысты сертификаттың әрекет ету мерзімін есептеудің қолданбалы компьютерлік үлгісі ұсынылған. Компьютерлік модельдеу нәтижелеріне сәйкес көрсетілген енгізу параметрлері сертификаттың әрекет ету мерзіміне әсер етеді және қолданыстағы тәсілден 20 %-ға ерекшеленеді. Зерттеу нәтижелерін кәсіби инженерлерді сертификаттау үшін сертификаттау орталықтарында қолдануға болады.

Түйін сөздер: Машинажасау, инженерлерді сертификаттау, сертификат, компьютерлік бағдарлама, математикалық модель, анық емес жиындар.

Abstract. Certification of engineering personnel is one of the effective systems for assessing the compliance of engineers' competencies with international requirements. The result of professional certification of engineers is a certificate. This article presents an applied computer model for calculating the validity period of a certificate depending on the applicant's level of knowledge, length of service, and level of responsibility of the profession. According to the results of computer modeling, the specified input parameters affect the validity period of the certificate and differ from the existing

approach by 20%. The research results can be applied in certification centers for certification of professional engineers.

Keywords: Mechanical engineering, engineering certification, certificate, computer program, mathematical model, fuzzy sets.

Введение. На сегодняшний день сертификация инженерных кадров представляет собой признанный во всем мире механизм для подтверждения качества реализации деятельности инженера. Профессиональная сертификация инженера позволяет осуществить формальное признание компетенций инженера со стороны работодателей и других заинтересованных лиц, открыть новые возможности для реализации профессиональной деятельности, повысить мотивацию для постоянного профессионального развития и самосовершенствования и т.д. (Adeosun et al., 2023; Gebken et al., 2010; Cid Aguayo et al., 2016; Widiyanti, 2017; Nisha et al., 2023; Mosaed Al-Garni, 2002; Kenedi, 2009; Francis et al., 2023; Gauvreau, 2018).

Критерии оценки качества инженерных кадров определяются программными документами международных организаций ENAEE, Washington Accord, FEANI, APES Engineer Register, IPEA (EMF) и др. Как следует из содержания критериев, представленных в указанных программных документах, инженерные кадры должны обладать не только техническими знаниями и опытом решения проблем после завершения программы инженерного образования, но также навыками, необходимыми для работы в разных дисциплинах и командах, а также способностью эффективно общаться на рабочем месте (Chubik et al., 2010; Graduate Attributes and Professional Competencies, 2013).

Результатом, определяющим соответствие инженеров требованиям международных организаций, является сертификат профессионального инженера. Как правило, срок действия сертификата является фиксированным. Например, в США, Великобритании и других европейских странах срок действия сертификата профессионального инженера составляет 3 года. В Казахстане срок действия сертификата регламентируется реестром профессий Республики Казахстан и может составлять 1, 2, 3 или 5 лет.

Фактором, влияющим на срок действия сертификата, является уровень ответственности профессии (Delacroix, 2022). Например, если профессия связана с высоким риском для жизни и здоровья человека, тогда интервал до последующей сертификации сокращается, в случае если направление инженерной деятельности имеет сравнительно низкий уровень ответственности назначается более широкий интервал.

Однако предположим, что на срок действия сертификата может влиять не только степень ответственности профессии, но и уровень знаний претендента на звание профессионального инженера, определяемый с помощью экзамена, и опыт его работы.

Вопрос, связанный с повышением качества сертификации инженерных кадров в сфере машиностроения, является крайне важным вопросом. На сегодняшний день в Казахстане присутствует проблема, связанная с нехваткой квалифицированных инженеров-машиностроителей, способных соответствовать международным требованиям обеспечения качества инженеров (например, согласно ENAEE, Washington Accord, FEANI, APES Engineer Register и IPEA (EMF)). В связи с этим, возникает необходимость в наличии эффективной системы сертификации инженерных кадров в области машиностроения, позволяющей учитывать уровень компетенций, опыт работы инженера, а также уровень ответственности профессии в рассматриваемой инженерной области.

Материалы и методы исследования. Для проверки гипотезы авторами статьи была разработана специальная компьютерная модель, позволяющая оценить степень влияния указанных факторов на срок действия сертификата.

Главное окно программы (на рис. 1) состоит из нескольких полей ввода. Первое поле ввода предназначено для ввода персональных данных эксперта и его данных оценивания

по 12 критериям (критерии соответствуют Washington Accord). В соответствии с математической моделью, программа принимает значения оценок от 0 до 1. Кроме того, в программе предусмотрены поля ввода для внесения данных по взаимному оцениванию экспертов (значения также варьируются от 0 до 1).

Следующее поле ввода предназначено для указания стажа работы претендента на звание профессионального инженера в области машиностроения. При этом в случае наличия служебных дисциплинарных взысканий, необходимо отметить данный факт в программе соответствующей кнопкой, что приведет к корректировке значения стажа работы с помощью специального понижающего коэффициента.

Действие	Информация о сертификации	Справка	
Оценка 1-го критерия	0.8	Оценка 7-го критерия 1.0	Оценка 1-го эксперта 100
Оценка 2-го критерия	0.65	Оценка 8-го критерия 0.95	Оценка 2-го эксперта 95
Оценка 3-го критерия	0.75	Оценка 9-го критерия 0.9	Оценка 3-го эксперта 100
Оценка 4-го критерия	0.9	Оценка 10-го критерия 0.85	Оценка 4-го эксперта 90
Оценка 5-го критерия	0.9	Оценка 11-го критерия 0.75	Оценка 5-го эксперта 80
Оценка 6-го критерия	0.85	Оценка 12-го критерия 0.9	Оценка 6-го эксперта 100

Опыт работы кандидата, лет: 8 Претендент имел дисциплинарные взыскания

Наименование профессии: Инженер по автомобильному сервису

Реестр: на обязательной основе на добровольной основе

Рассчитать срок действия сертификата Срок действия сертификата: 4 года

Рисунок 1. Главное окно компьютерной программы

Примечание – составлено авторами

Пользователю программы необходимо выбрать из раскрывающегося списка профессию, соответствующую направлению инженерной деятельности претендента.

После ввода входных параметров пользователю необходимо нажать на кнопку «Рассчитать срок действия сертификата». После нажатия на кнопку, в специальном поле отображается результат вычислений, а именно, срок действия сертификата.

Расчет срока действия сертификата осуществляется согласно алгоритму вычислений математической модели. Продемонстрируем расчет срока действия сертификата, основываясь на конкретных числовых данных.

Предположим, что претендентом для сертификации является инженер по сервису автомобилей. Стаж работы претендента составляет 8 лет. Претендент за время работы не имел дисциплинарных взысканий.

Результаты и их обсуждение. Определение критериев оценки для процедуры сертификации проводилось на основе сравнительного анализа критериев оценки образовательных программ международными организациями и международными соглашениями (табл. 1).

После внесения оценок экспертами программа вычисляет относительные оценки экспертов (табл. 2) (Bekenov et al., 2010) и выполняет их ранжирование (табл. 3), присваивая первый ранг максимальному баллу в строке, второй ранг – второму по величине баллу и т.д.

Для проверки совпадений мнений экспертов используем ранговый коэффициент корреляции Спирмена, который определяется по следующей формуле:

$$\rho = 1 - \frac{S_{\text{выб}}}{S_{\text{макс}}} = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^n (Z_{1j} - Z_{2j})^2}{(n^3 - n)} \quad (1)$$

С помощью формулы (1) получены результаты значений коэффициентов корреляции Спирмена: $\rho_{1,2} = 0,94$, $\rho_{1,3} = 0,79$, $\rho_{1,4} = 0,97$, $\rho_{1,5} = 0,86$, $\rho_{1,6} = 0,98$, $\rho_{2,3} = 0,81$, $\rho_{2,4} = 0,92$, $\rho_{2,5} = 0,87$, $\rho_{2,6} = 0,93$, $\rho_{3,4} = 0,68$, $\rho_{3,5} = 0,79$, $\rho_{3,6} = 0,77$, $\rho_{4,5} = 0,86$, $\rho_{4,6} = 0,98$, $\rho_{5,6} = 0,87$.

Вычисленные коэффициенты сведем в единую корреляционную матрицу (табл. 4).

Используя результаты второй анкеты, вычислим коэффициенты компетентности экспертов по следующей формуле:

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^m X_{ij}}{m} \quad (2)$$

где: X_{ij} – сумма баллов; m – количество экспертов.

Таблица 1. Критерии сертификации и инструменты оценки знаний и навыков инженеров

№	Наименование критерия	Тип знаний или навыков	Способ оценивания
1	Знание и понимание естественных наук (математики, физики, информатики), а также основ инженерного дела для решения сложных инженерных задач.	Технический	Теоретический экзамен
2	Умение проводить анализ сложных инженерных продуктов, процессов и систем в рамках своей области и в более широком междисциплинарном контексте.	Технический	Теоретический экзамен
3	Способность разрабатывать и проектировать решения сложных инженерных задач для удовлетворения заданных требований.	Технический	Теоретический экзамен
4	Умение проводить исследования сложных проблем, используя научно обоснованные подходы и методы.	Технический	Теоретический экзамен
5	Умение решать сложные практические инженерные задачи с использованием новых технологий и современных инструментов.	Технический	Теоретический экзамен
6	Умение учитывать социальные последствия инженерной практики.	Нетехнический	Интервью
7	Умение учитывать последствия инженерной деятельности для устойчивого развития.	Нетехнический	Интервью
8	Умение соблюдать профессиональную этику, обязанности и стандарты инженерной практики.	Нетехнический	Интервью
9	Умение работать в команде, управлять разнообразными и многопрофильными коллективами.	Нетехнический	Интервью
10	Умение общаться на иностранных языках.	Нетехнический	Интервью
11	Способность проявлять лидерские качества, понимание принципов управления инженерными работами.	Нетехнический	Интервью
12	Способность участвовать в непрерывном профессиональном развитии.	Нетехнический	Интервью

Примечание – составлено авторами

Таблица 2. Относительные оценки экспертов

№ эксперта	E1	E2	E3	E4	E5	E6
C1	0,0870	0,0734	0,1000	0,0847	0,1010	0,0909
C2	0,0870	0,0734	0,1143	0,0847	0,0808	0,0818
C3	0,0870	0,0917	0,1143	0,0678	0,0808	0,0818
C4	0,0870	0,0917	0,0714	0,0847	0,0606	0,0818
C5	0,0870	0,0917	0,1143	0,0847	0,0606	0,0909
C6	0,0870	0,0826	0,0714	0,0847	0,1010	0,0818
C7	0,0870	0,0826	0,0714	0,0847	0,0808	0,0909
C8	0,0783	0,0917	0,0714	0,0847	0,0808	0,0909
C9	0,0783	0,0826	0,0429	0,0847	0,0909	0,0909
C10	0,0696	0,0826	0,0286	0,0847	0,1010	0,0364
C11	0,0783	0,0642	0,0714	0,0847	0,0808	0,0909
C12	0,0870	0,0917	0,1286	0,0847	0,0808	0,0909

Примечание – составлено авторами на основе (Векепов, 2010)

Таблица 3. Ранговые оценки

№ эксперта	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	Сумма рангов
E1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	1	17
E2	3	3	1	1	1	2	2	1	2	2	4	1	23
E3	3	2	2	4	2	4	4	4	5	6	4	1	41
E4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
E5	1	3	3	4	4	1	3	3	2	1	3	3	31
E6	1	2	2	2	1	2	1	1	1	3	1	1	18

Примечание - составлено авторами на основе (Векепов, 2010)

Таблица 4. Корреляционная матрица

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	1	0,94	0,79	0,97	0,86	0,98
E2	0,94	1	0,81	0,92	0,87	0,93
E3	0,79	0,81	1	0,68	0,79	0,77
E4	0,97	0,92	0,68	1	0,86	0,98
E5	0,86	0,87	0,79	0,86	1	0,87
E6	0,98	0,93	0,77	0,98	0,87	1

Примечание – составлено авторами на основе (Векепов, 2010)

В соответствии с формулой (2), определены коэффициенты компетентности экспертов: $K_1 = 7,83$, $K_2 = 6,67$, $K_3 = 6,50$, $K_4 = 8,83$, $K_5 = 7,33$, $K_6 = 7,67$.

Определим коллективную оценку A_i каждого из вариантов с учетом компетентности экспертов посредством умножения коэффициентов компетентности экспертов на относительные оценки: $A_1 = 0,0894$, $A_2 = 0,0866$, $A_3 = 0,0860$, $A_4 = 0,0797$, $A_5 = 0,0876$, $A_6 = 0,0850$, $A_7 = 0,0833$, $A_8 = 0,0831$, $A_9 = 0,0793$, $A_{10} = 0,0680$, $A_{11} = 0,0790$, $A_{12} = 0,0929$.

Для ранжирования критериев оценки качества претендента сведем данные в результирующую таблицу и проставим каждому критерию ранг (табл. 5). Как следует из таблицы, наибольший «вес» имеет критерий № 12 – «Способность принимать участие в непрерывном профессиональном развитии» ($A_{12} = 0,0929$), самый наименьший «вес» у критерия № 10 – «Иметь коммуникационные навыки и знание иностранных языков» ($A_{10} = 0,0680$).

Таблица 5. Результирующая таблица

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	A_i	P_i
K_i	7,83	6,67	6,50	8,83	7,33	7,67		
C1	0,0870	0,0734	0,1000	0,0847	0,1010	0,0909	0,0894	2
C2	0,0870	0,0734	0,1143	0,0847	0,0808	0,0818	0,0866	4
C3	0,0870	0,0917	0,1143	0,0678	0,0808	0,0818	0,0860	5
C4	0,0870	0,0917	0,0714	0,0847	0,0606	0,0818	0,0797	9
C5	0,0870	0,0917	0,1143	0,0847	0,0606	0,0909	0,0876	3
C6	0,0870	0,0826	0,0714	0,0847	0,1010	0,0818	0,0850	6
C7	0,0870	0,0826	0,0714	0,0847	0,0808	0,0909	0,0833	7
C8	0,0783	0,0917	0,0714	0,0847	0,0808	0,0909	0,0831	8
C9	0,0783	0,0826	0,0429	0,0847	0,0909	0,0909	0,0793	10
C10	0,0696	0,0826	0,0286	0,0847	0,1010	0,0364	0,0680	12
C11	0,0783	0,0642	0,0714	0,0847	0,0808	0,0909	0,0790	11
C12	0,0870	0,0917	0,1286	0,0847	0,0808	0,0909	0,0929	1

Примечание – составлено авторами на основе (Bekenov, 2010)

Графическая интерпретация степеней важности критериев приведена на рис. 2.

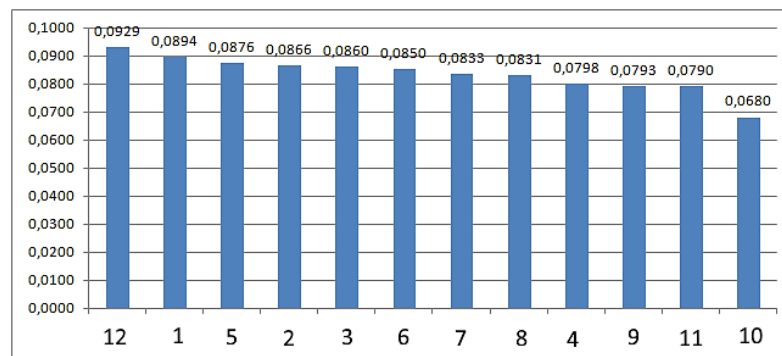


Рисунок 2. Графическая интерпретация ранжирования критериев по степени важности

Примечание – составлено авторами

Значение входного параметра, учитывающего уровень компетенций инженера, рассчитывается по следующей формуле:

$$S_1 = \sum (C_i \cdot A_i) \quad (3)$$

Следующим входным параметром, влияющим на срок действия сертификата, является стаж работы претендента. Значение параметра, учитывающего стаж работы претендента, определяется исходя из лингвистических переменных «Большой стаж работы», «Средний стаж работы», «Малый стаж работы», которые оцениваются количественным показателем, принимающим значения от 0 до 1. Другими словами, в данном случае применяется теория нечетких множеств (Andrés-Sánchez, 2023; Anzilli, 2021; Carlsson, 2003). Это связано с тем, что определение указанных лингвистических переменных является субъективной характеристикой.

Расчет балла по уровню ответственности инженерного профиля осуществляется на основе регистра профессий Республики Казахстан. Регистр содержит информацию о

наименовании профессии по национальному классификатору профессий, коде по национальному классификатору профессий, уровне квалификации по национальной рамке квалификаций и отраслевой рамке квалификаций, сроке действия сертификата, наименовании отраслевого государственного органа.

Согласно регистру, профессии делятся на две категории: профессии высокой ответственности и профессии средней и низкой ответственности. Если профессии высокой ответственности подлежат обязательной сертификации, то профессии средней и низкой ответственности сертифицируются на добровольной основе. К профессиям первой категории относятся, например, инженер по техническому обслуживанию авиации, бортиженер, морской инженер и т.д., к профессиям второй категории – инженер электротехнических систем, архитектор экосистемы ИТ, инженер-метролог и т.д.

В зависимости от уровня ответственности профессии в рамках категории значения сроков действия сертификата могут принимать значения «1 год», «2 года», «3 года», «5 лет» и «бессрочно» в реестре профессий Республики Казахстан.

Для установления зависимости между значением балла ответственности инженерного вида и средним значением входных параметров шкала параметра принимает значения от 0 до 1 и делится на две части (табл. 6).

Таблица 6. Таблица перевода срока действия сертификата (согласно реестру профессий Республики Казахстан)

Срок действия сертификата	1 год	2 года	3 года	5 лет	не ограничен	1 год	2 года	3 года	5 лет	не ограничен
Уровень ответственности инженерного направления	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Категории профессий	Первая категория профессий (с обязательной сертификацией)					Вторая категория профессий (с добровольной сертификацией)				
<i>Примечание – составлено авторами</i>										

Из табл. 6 видно, что меньшие значения шкалы охватывают категорию профессий с обязательной сертификацией. Это объясняется тем, что балл по уровню ответственности инженерного профиля косвенно влияет на срок действия сертификата. Поэтому значения шкалы от 0,1 до 0,5 относятся к первой категории профессий (с обязательной сертификацией), в то время как большие значения шкалы (от 0,6 до 1) охватывают категорию профессий с добровольной сертификацией. Таким образом, используя соотношение, представленное в табл. 5, можно провести расчет балла по уровню ответственности инженерного профиля.

После определения значения трех факторов определяется среднее значение факторов, которое переводится в значение срока действия сертификата. Согласно полученным результатам, срок действия сертификата составляет 4 года. В соответствии с реестром профессий, срок действия сертификата на данное инженерное направление составляет 5 лет. Следовательно, разница в значениях с учетом дополнительных входных параметров составляет 1 год.

Заключение. Таким образом, исходя из результатов исследований, можно сделать вывод, что указанные входные параметры (уровень знаний претендента, стаж работы, уровень ответственности направления инженерной деятельности) оказывают влияние на срок действия сертификата. Сравнивая результаты, полученные для случая

профессиональной сертификации, можно сделать вывод, что с учетом рассмотренных входных параметров срок действия сертификата сокращается на 1 год.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882257 – «Создание национальной модели инженерного образования в контексте реализации целей устойчивого развития»).

Список литературы

- Adeosun O., Adegbite W. (2023). Professional certification and career development: a comparative analysis between local and foreign certifications. *Management and Economics Research Journal*, vol. 5, 1-14, <https://doi.org/10.48100/merj.2023.253>
- Gebken-II R.J., Bruce R.D., Strong S.D. (2010). Impact of the Leadership in Energy and Environmental Design Accredited Professional Credential on Design Professionals. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, vol.136, 132–138.
- Cid Aguayo B.E., Barriga J. (2016). Behind certification and regulatory processes: Contributions to a political history of the Chilean salmon farming. *Glob. Environ. Chang.*, vol. 39, 81-90.
- Widiasanti I. (2017). The Role of Universities in Engineer Certification as Quality Assurance of Engineers Professionalism *Adv. Sci. Lett.*, vol. 23, 156–159.
- Nisha R., Haapala K.R., Sanchez C.A. (2023). Examining industry expectations for content knowledge in mechatronics across career and professional certificate programs. *Manufacturing Letters*, vol. 35, 1230-1235.
- Mosaed Al-Garni. (2002). Engineering certification: academic concerns and industry needs. *Symposium on certification of practicing engineers in Saudi Arabia*.
- Kenedi R.M. (2009). The importance of certification/registration in expanding engineering career opportunities. *Journal of Medical Engineering & Technology*, vol. 10, DOI:10.3109/03091908609032511
- Francis N., Norton E. (2023). Educating civil engineers for the twenty-first century: the new-model engineer. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, vol. 177, 63-71.
- Gauvreau P. (2018). Sustainable education for bridge engineers. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 5, 510-519.
- Chubik P.S., Chuchalin, A.I., Zamyatin, A.V. (2010). Certification and registration system for professional engineers based on APEC Engineer Register international standard. *Engineering Education*, vol. 6.
- Graduate Attributes and Professional Competencies* (2013). <http://www.ieagreements.org>.
- Delacroix S. (2022). Professional Responsibility: Conceptual Rescue and Plea for Reform. *Oxford Journal of Legal Studies*, vol. 42, 1–26, <https://doi.org/10.1093/ojls/gqab010>
- Bekenov T.N., Kornev V.A., Mashekenova, A.S. (2010). Quality management system for business processes of production and operation of complex technical systems. *Shygys Akparat*, 204.
- Andrés-Sánchez J. (2023). A systematic review of the interactions of fuzzy set theory and option pricing. *Expert Systems with Applications*, vol. 223, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119868>.
- Anzilli L., Villani G. (2021). Real R&D options under fuzzy uncertainty in market share and revealed information. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 434, 117-134.
- Carlsson C., Fuller R. (2003). A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 139, 297-312.
- Hohle, U. (2022). On the mathematical foundations of fuzzy set theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 444, 1-9.

Information about authors

Baigereyev Samat – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: sbaigereyev@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0002-7773-5457, +7 777 411 96 50

Konurbaeva Zhadyra – Candidate of Economic Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: zhkonurbaeva@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0002-6457-392X, +7 777 182 7250

Mashekenova Assiya – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: amashekenova@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0003-3556-3033, +7 777 139 71 41

TAY-KEN ICI
ГОРНОЕ ДЕЛО
MINING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_13
IRSTI 52.31

D.K. Bekbergenov¹, G.K. Jangulova², R.K. Zhanakova³, B.A. Abiyev⁴

¹Mining Institute named after D.A. Kunaev, Almaty, Kazakhstan

E-mail: kdbekbergen@mail.ru

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: gulnar_zan@mail.ru

³Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

*E-mail: zhanakova_raisa@mail.ru**

⁴Kazakh Highway Institute named after L.B. Goncharova, Almaty, Kazakhstan

E-mail: bakhitjan_aa1971@mail.ru

STUDY OF RE-EXTRACTION OF ORES FROM MCC WITH FIELD PREPARATION IN CONDITIONS OF THE COLLAPSE AREA

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВТОРНОЙ ВЫЕМКИ РУД ИЗ МКЦ С ПОЛЕВОЙ ПОДГОТОВКОЙ В УСЛОВИЯХ ОБРУШЕННОЙ ЗОНЫ

ДАЛАЛЫҚ ДАЙЫНДЫҚПЕН КАМЕРА АРАЛЫҚ ТІРЕКТЕН КЕНДЕРДІ ҚАЙТА АЛУ МҮМКІНДІГІ ШӨГІНДІЛЕРДІҢ ЖЫЛЖУ АЙМАҒЫН ЗЕРТТЕУ

Abstract. Justification of the technology for repeated ore extraction from deposits with preparation in complex mining and geological conditions of collapsed zones and subsidence troughs based on a rating indicator. To address the set tasks, theoretical and experimental studies were conducted to analyze the stages and sequence of developing remaining reserves, as well as methods for substantiating geomechanical parameters and assessing the value of mineral resources. Based on these studies, technological schemes were proposed to enable efficient repeated extraction of ore reserves from pillars with preliminary field preparation and determination of the order of development for specific sections. The first to be developed is block 54, followed by blocks 22-23-24, blocks 15 and 15-15 south in areas with overlapping deposits, and finally block 7bis of the "Annenskaya" mine (VGR). Technical and economic calculations confirmed the feasibility of extracting ore reserves from these blocks, despite the challenging conditions of collapsed zones and subsidence troughs.

Keywords: Field development, underground technology, technological blocks, mining horizon, delivery drift, geomechanical state of the massif, mining horizon, Annenskaya mine.

Аңдатпа. Зерттеліп орынған аймақтарының күрделі тау-кен техникалық жағдайларында далалық дайындықпен КАТ (камера аралық кен-тіректі)-ден кенді қайта алу технологиясының негіздемесі. Камера аралық кен-тіректің геомеханикалық параметрлерді негіздеу және пайдалы қазбалардың құндылығын анықтау әдістерін қолдана отырып, қалған қорларды тұтастардан қайта өңдеу үшін орындай отырып, қорларды өңдеудің кезеңділігі мен тәртібін теориялық, эксперименттік зерттеу жүргізу арқылы жүзеге асырылды. Зерттеулердің негізінде далалық дайындықпен және нақты қаралған блоктарда тарту реттілігінің тәртібін айқындай отырып, КАТ-дан қалған кен қорларын қайта өңдеу мүмкіндігінің технологиялық схемалары негізделді, кезектілікпен-бірінші кезекте пысықтауға 54-блок, бұдан әрі 22-23-24-блок, Оңтүстік 15 және 15-15-блоктар тартылады. қабаттасқан кен орындары, содан кейін «Анненская» шахтасының 7бис блогы жылжымалы мұльдасы бар құлаған аймақтардың күрделі тау-кен жағдайларында, сондай-ақ орындалған техникалық-экономикалық есептеулер негізінде осы блоктардағы кен қорларын кен орындарынан қазу тиімді болып табылады.

Түйін сөздер: Кен орындарын игеру, жерасты технологиясы, Технологиялық блоктар, өңдеу көкжиегі, жеткізу штрегі, массивтің геомеханикалық жағдайы, өңдеу көкжиегі, «Анненская» шахтасы.

Аннотация. Обоснование технологии повторной добычи руды из месторождений с подготовкой в сложных горно-геологических условиях обрушенных зон и мульды сдвижения на основе рейтингового показателя. Для решения поставленных задач были проведены теоретические и экспериментальные исследования, направленные на анализ стадийности и порядка разработки оставшихся запасов, а также методы обоснования геомеханических параметров и оценки ценности полезных ископаемых. На основе этих исследований предложены технологические схемы, которые позволяют эффективно осуществлять повторную добычу рудных запасов из целиков с предварительной полевой подготовкой и установлением последовательности разработки на конкретных участках. В первую очередь в работу вовлекается блок 54, затем блоки 22-23-24, блоки 15 и 15-15 юг в местах пересекающихся залежей, и в завершение блок 7бис шахты «Анненская» ВЖР. Проведенные технико-экономические расчеты подтвердили целесообразность разработки рудных запасов в этих блоках, несмотря на сложные условия зон обрушения и мульды сдвижения.

Ключевые слова: Разработка месторождений, подземная технология, технологические блоки, горизонт отработки, доставочный штрек, геомеханическое состояние массива, горизонт отработки, шахта «Анненская».

Introduction. The prospective priority of sustainable development of underground ore mining in difficult mining conditions with depletion of mineral resources is the obvious use of geotechnology with repeated extraction from abandoned ore reserves concentrated in inter-chamber (ICC), belt (LC), barrier (BC) and panel pillars (PC), which are structural elements of the room and pillar development system. This problem of ore extraction from abandoned pillars has been considered by many authors in ore and coal deposits (Lushnikov et al, 2013, Neverov et al, 2003). However, it is necessary to consider more widely the possibility of using the technology of this system, taking into account world experience and modern achievements of science and technology, in order to optimize extraction and ensure safe development of mineral deposits. Based on the mining and geological, mining and technical conditions, different versions of the room and pillar mining technology are used in the development of horizontal and very flat deposits (0-120) with an ore body thickness of 3-8 m of average and below average ore value.

Analysis of the application of this technology in world practice shows that in addition to the classic version, there is a room and pillar system with mechanized extraction of angular pillars, which are widely used in the development of ore deposits in the Carlsbad Basin in the USA, as well as in the Saskatchewan Basin (Eremenko et al, 2016, Eremenko et al, 2015, Analysis of the possibility No. 04-3.1.4-9-52 2019). In this case, the dimensions of the mining panels vary from 500 to 900 m. The variety of this system using different pillar shapes (rectangular, square, diamond-shaped) depends on the sequence of technological operations and the ore delivery means used.

Room and pillar systems are used in the development of potash ores at the Starobin deposit (Eremenko et al, 2016, Tishkov, 2018, Couto, Green, 2018). There is experience of pillar systems in the Navarre basin (Spain) and the Mulhouse basin (France), however, the deposits are currently not operating. The room and pillar system of development according to the "chevron" or "Christmas tree" pattern is carried out during extraction at the North Yorkshire deposit in England. There are various types of this system, in foreign literature it is sometimes also called "time control" technology, since they are used in weak rocks with a rapid advance of the cleaning front (FOR) and the maximum possible extraction (Bekbergenov, 2017; Imansakipova et al, 2020). The length of such panels reaches from 1000 to 1400 m with a width of 80 to 150 m. For the development of seams with a thickness of 1.2 to 5 m, a room and pillar system with an angular shape of pillars is used. In this case, the development of reserves, depending on the mining and geological conditions, can be carried out in three ways: direct reverse order of development and direct order with subsequent reverse extraction of reserves from the pillars. The size of the working passages and pillars is determined based on

technological calculations, in conjunction with the technical characteristics of the mining equipment. The coefficient of extraction of minerals varies from 30 to 90%.

World experience in using this type of technological scheme indicates the possibility of achieving an annual productivity of one face within 0.6 -1.5 million tons per year. However, the modern development of underground mining of natural and man-made ore reserves from the subsoil worked out by the room and pillar system is characterized by unfavorable mining and geological conditions of development, namely a decrease in the content of useful components in the ore, an increase in the share of refractory ores along with insufficient mining and geological information and high volatility of metal prices, which together leads to a violation of the stability of the functioning of the mining and engineering system, the safety of operational work and the integrated development of natural and man-made reserves from the subsoil, in collapsed conditions of ore deposits.

Therefore, the justification of technological schemes and parameters of the mining and engineering system, ensuring its stable functioning in underground mining of copper deposits in unstable market conditions, as well as in complex mining and geological and geomechanical conditions of development, is an important scientific problem. Currently, during underground development of underground mines of the Zhezkazgan deposit, a number of problems are encountered, among which it is necessary to highlight the increase in rock pressure, low quality of ores, aggravated by the presence of small and large rock inclusions in the structure of ore bodies.

The conducted analysis of the world experience of underground development of natural and man-made ore reserves from the depths worked out by the room and pillar system indicates that in domestic and world practice there are numerous examples and results of the application of this system with regular and irregular arrangement of the MCC (Xu C at al, 2023; Zhou J at al, 2022; Tishkov, 2018, Couto, Green, 2018)

The same problem exists in the extraction of ore at the Zhezkazgan deposit, where the share of repeated extraction from the abandoned ore reserves is about 85% at the Zhezkazgan deposit.

The rock massif of the Annensky district is represented by alternating layers of sandstones, siltstones and mudstones with a predominance of red-colored rocks in the total mass. Industrial concentration of copper is found exclusively in gray fine- and medium-grained sandstones. Layers of red sandstones and siltstones do not have mineralization. About 80% of the district's reserves are concentrated in deposits with dip angles of 15-35°, over 350 - 8%. A characteristic feature of the Annensky field is the multi-tiered mineralization. The deposits are located on 9 ore-bearing horizons, including 23 overlapping ore packs (Bekbergenov, 2017, Analysis of the possibility No. 04-3.1.4-9-52 date 2019, No. 03-23-21-747 date 2019). The ore horizons and the ore bodies included in them are separated from each other by interlayers of waste rock with a thickness of 4 to 40 m. The ore bodies have the form of sheet-like deposits, the sizes of which by area vary widely from 0.1 - 0.5 to 1.0 -2.0 km² and more. In addition to sheet-like deposits, there are ore bodies of ribbon and lens-shaped form with a length of 800 - 2500 m and a width of 100 - 400 m. The nature of the wedging out of ore bodies is rarely distinct; most often the transitions from rich to poor ores and poor to barren sandstones are very vague. The thickness of ore bodies fluctuates from 1.5 to 20 m and more. The dip angles of the ore bodies correspond to the dip angles of the host rocks and are 0-15° in the western and northwestern parts of the field, 15-35° in the central and eastern parts, sometimes more (Conclusion on mining No. 03-23-21-747 date 2009, No. 03-23-21-691 date 2009, Final report for 2022).

The most stable are ore and barren gray sandstones. Siltstones, argillites and intraformational conglomerates are unstable. Argillites and siltstones cover about 40% of the ore reserves of the Annensky mine. A decrease in stability is observed in areas where folding, crushing, as well as in zones of fracturing of rocks and ores have appeared. However, the room-and-pillar mining

system developed during the development of reserves at the Zhezkazgan deposits caused deterioration of the mining and geomechanical conditions in the conditions of repeated underground mining of reserves of the Annensky district mine of collapsed deposits with the periodic nature of technogenic-geomechanical processes of deformation and destruction of the abandoned pillars in the cleaning panels of the deposit block, taking into account the exit of the collapse zone to the daylight surface and the trough of deposit displacement, due to the events that occurred at PO Zhezkazgantsvetmet TOO Kazakhmys Corporation with the following events (Eremenko et al, 2016, Imansakipova et al, 2020): 6 mass collapses occurred from 1977 to 1990; from 1991-2005 the number of collapses increased by 11, where the remaining reserves in 7151 pillars - 14.5% had a service life of more than 30% and 1457 (20.4%) pillars were classified as weakened, and 123 (17.2%) were classified as destroyed; according to the results of the destruction of the MCC in the periods of 2004-2006, where there were failures between the layers in the worked-out overlapping inclined deposits in the Annensky mining region, a large collapse occurred with a combined displacement trough, covered an area of about 2 km along the strike of the deposit and along the dip, in 2015, at the Annenskaya mine of the VZhR, a collapse occurred in the form of peeling off the roof of block 29yug of the Ann-9-I-V deposit of the 160m horizon, the area of rock peeling from the roof was 9404 m² with a volume of quenched voids of 103.1 m³, in addition, according to 2015 data, for the entire period of development of the Zhezkazgan deposit, about 50 thousand MCCs were formed, which are the main reasons for the deterioration of the geomechanical situation at the deposit and the share of stable pillars decreased from 75% to 61% due to a 2-fold increase in the share of completely destroyed pillars, i.e. from 13% to 26%, and also over the course of 6 years at the Zhezkazgan deposit, the total volume of voids formed was 389,812 thousand m³;

On October 9, 2020, another local collapse occurred on the ore field of the East Zhezkazgan mine along the adit 26 deposit Kr. 9-II-III, where the collapse boundary appeared with an outlet to the day surface without seismic manifestation of rock pressure in this section of the mine and, at the same time, the collapse area was 140 x 100 m²:

Based on the above, when developing reserves of deposits in inclined deposits of the Annensky ore field of the Zhezkazgan deposit, complex mining and technical areas arise at the centers of mass collapses with a trough of displacement of the rock mass (Information on the survey from 1-31.10.2014).

Despite all the advantages, the main disadvantages of the chamber-pillar system are significant ore losses from 30% to 40%, as well as the accumulated volumes of voids, which lead to complications in the technology of cleaning excavation, self-collapse of pillars (Figure 1) and chamber roofs.

For Zhezkazgan field the total area of the excavated space collapsed and at the stage of irreversible deformation processes is about 48% of the total area of the excavated space, the share of targets with a long period of existence.

Materials and methods. On the flanks of the developed part of the Zhezkazgan deposit, the reserves of the Annensky ore field are concentrated, where the main ore mining is currently concentrated, located to a depth of 500 m on deposits with an angle of inclination from 15° to 35° and more degrees. At the same time, more than 80% of the reserves are also concentrated in overlapping deposits. The number of overlaps in some cases reaches 5-7 or more (Conclusion on mining No. 04-3.1.4-9-204 dated 11.07.2019, No. 03-23-21-747, dated 2009).

Compared to the central ore field, the rocks of this region have steeper dip angles of up to 30° ÷ 35° or more. The dip angles of flexures reach 70°. Deposits with dip angles of 0 ÷ 15° make up about 12% of the ore reserves and are located in the western and northwestern parts of the region. In the central part of the region, deposits with dip angles of 15° ÷ 35° contain about 80% and in the eastern part (dip angle over 35°) – 8% of the reserves.

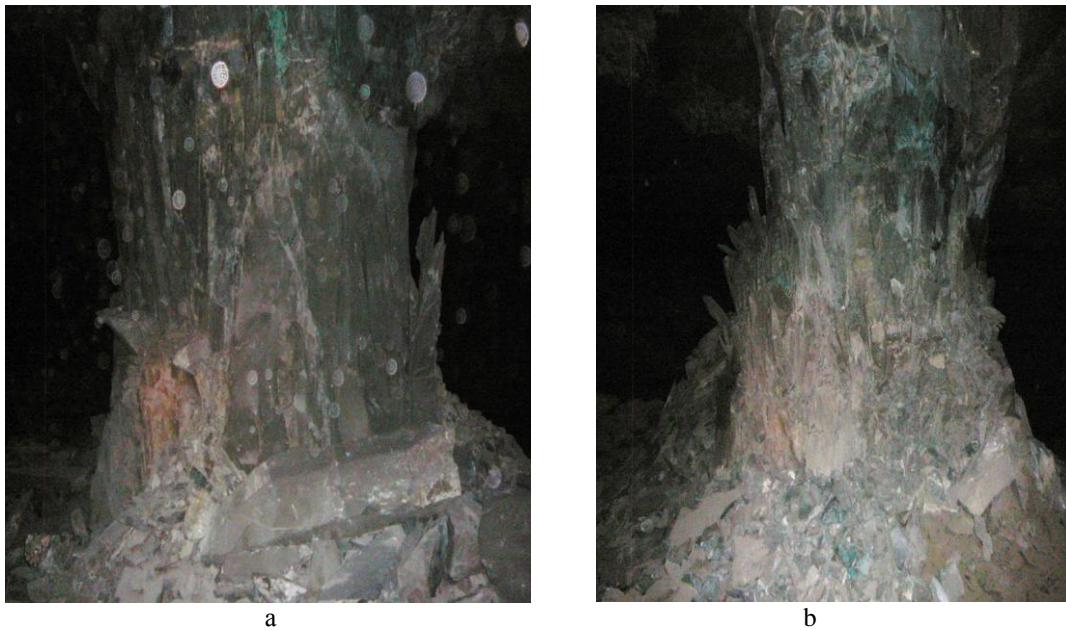


Figure 1. Process of ICC destruction: a – initial view, b – after 30 years of condition

Note – Figure from the final report for mining operations at the Annensky mine sites No. 03-25-1366 dated 26 December 2009

The excavation of the tselik from the open worked-out space requires strict compliance with the technology of excavating the MCC in a stable worked-out space and their safety margin of at least with constant monitoring of the condition of the worked-out space using a regional radio telemetry system for monitoring seismic events in real time.

The authors carried out a study of collapses that occurred at the Annensky mine in 2004-2006, which showed that the shear process is complicated by shearing of rocks along inclined surfaces of the massif weakening. The observed shears occur along inclined interlayer contacts, cracks and slip mirrors, which were formed in the process of formation of flexural zones: interlayer movements occurred in flexural zones during bending of the layered rock strata. Sliding mirrors with friction furrows and clay were formed along them. The directions of movements and furrows on the sliding mirrors are crosswise to the strike of the flexural zones. Shear voids were later filled with vein minerals of calcite type. Calcite filler of shear cracks is well detected in workings, in the roof of chambers during visual inspections. Its strength is significantly lower than that of even red-coloured rocks.

The observed shifts are a vivid manifestation of the massif destruction along the inclined weakening surfaces, on which the condition of special limit equilibrium is realised (according to the terminology of Acad. Sokolovsky V.V.):

$$\tau_{np} = C' + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi' \quad (1)$$

where τ_{np} , σ – ultimate tangential and normal stresses on weakening surfaces; C' , φ' – adhesion and friction angle on the same.

On inclined weakening surfaces with an angle of incidence α , the effective normal s and tangential stresses t are found according to the formulae (Figure 2):

$$\begin{aligned} \sigma &= \gamma H (\cos^2 \alpha + \lambda \cdot \sin^2 \alpha) \\ \tau &= 0,5(1-\lambda)\gamma H \cdot \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (2)$$

The displacement along the weakening surfaces will occur when the acting tangential stresses (1) exceed the limiting stresses (2).

According to the measurement results, the maximum natural stresses σ_{sl} act horizontally along the strike of flexures, practically along the dip of the layers and weakening surfaces, and are 2 times higher than the vertical gravitational pressure of the overlying strata γH . Therefore, in calculations for the conditions of the Annensky mine it is necessary to take $\lambda = 2$.

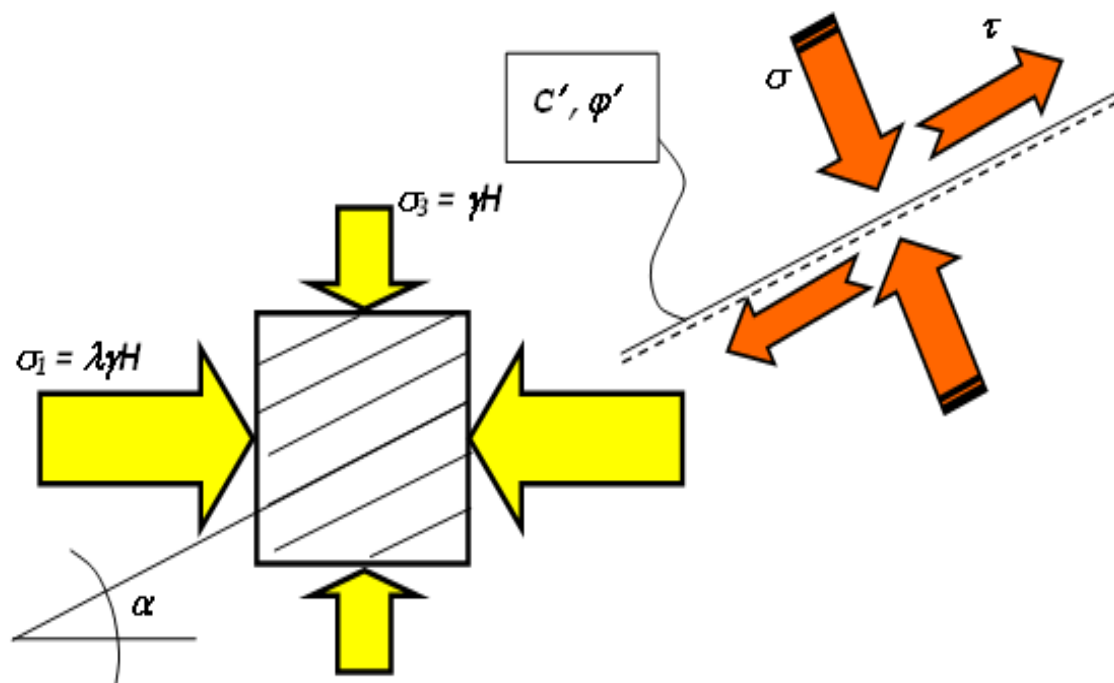


Figure 2. Scheme for calculation of acting stresses on weakening surfaces

Note – Figure from the final report for mining operations at the Annensky mine sites No. 03-25-1366 dated 26 December 2009

According to the calculation results, the actual distribution of loads on the MCC inside the panels is uneven: the central rows of the MCC, which are furthest from the BC, are loaded more than the outermost rows (Figure 3) The distribution of loads on the MCC has the form of a vault (Final report for 2022).

On the flanks of the developed part of the Zhezkazgan deposit are concentrated reserves of the Annensky ore field, where the main ore extraction is now concentrated, placed to a depth of 500 m on deposits with an inclination angle of 15° to 35° and more degrees. Therefore, we consider the different process blocks separately below.

1. Technological block. Block 15-15 south of the Ann-5-I deposit is located between the horizons -35m – 55m, and the deposit of these blocks Ann-4-I is located between the horizons – 46m – 96m.

From the conducted studies, there is the first access to this block along the delivery drift of the block - Block 10 bis Ann-5-I from the drift 6 of the horizon -100 m-105 m, and the second access is along the drift of block 7 bis of the horizon -90 m.

The minimum rock layer between deposits 5-1 and 4-1 is 20 m, which will allow the underlying deposit 4-1 to be developed without losses in the future.

2. *Technological block.* Block 15 of the Ann-3-II, Ann-3-I deposit is located between the horizons -62 m and -135 m and is shown in Figure 2, below it is the Ann-4-I deposit, access to these deposits is available.

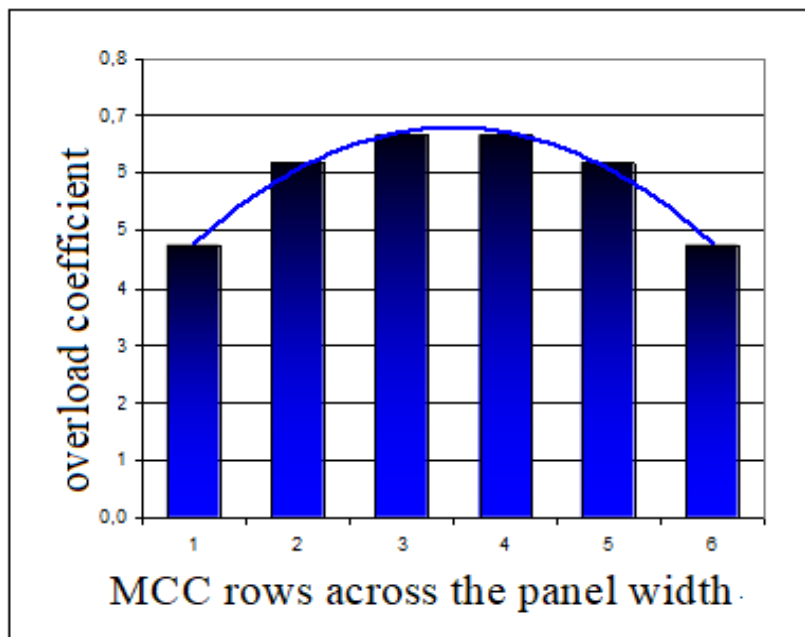


Figure 3. Distribution of MCC row loads in the panel

Note – Figure from the final report for mining operations at the Annensky mine sites No. 03-25-1366 dated 26 December 2009)

To develop the reserves in this block, we first compare the elevation marks of these blocks of the horizon -62 m -135 m and then, taking into account the elevation marks, we determine the available access to them for driving workings at the horizon -105 m -90 m.

3 *Technological scheme of blocks.* Bl.22-23-24 of the deposit Ann-3-II, 3-I are located between the horizons +12 m and -18 m and the deposit Ann -2-IV is located below (Fig. 3).

For repeated development of reserves from the MCC for this block, the following technological schemes are available:

- the first access to the block is via the transport drift of the Block 29 Vostok horizon -47m;
- the second access is via the drift 1 horizon -90m;
- there is access to the Ann-2-IV deposit via the entrance 2 horizon -60m.

Since the transport drift of the Block 29 Vostok horizon -47m approaches the elevation marks of the Ann-3-II, 3-I deposits of the +12 m horizon and the -18m horizon, it will be possible to pass the transport slope from it upward to the +12m horizon. After the transport slope reaches the required mark from top to bottom along the dip of the deposit, it will be necessary to pass the field delivery drift and simultaneously develop the Ann-3-II, 3-I deposits in a descending order according to the local project for their development.

And the Ann - 2-IV deposit will be developed after the development of the deposit reserves from the upper horizons. For this, it is necessary to pass to them from the entrance of the 2nd horizon -60 m transport drift and the development of its reserves will be carried out from top to bottom according to a similar scheme.

4. *Block 7 bis of the Ann-2-II* deposit is located on the horizon 0 m of the Annenskaya mine of the VZhR (Fig. 5) and there is access to it, where a field drift is being carried out along the delivery drift of block 7 bis, from north to south, and from it we will produce preparatory mine workings. For this, the development of the reserves of this block must be carried out from top to bottom in accordance with the Local Project for their development.

5. *Technological block Bl. 89bis* of the Ann-7-I deposit is located between the horizons +57m +20m and has access along the adit 2 of the horizon -90m and access along the adit 6 of the horizon -90m.

Below this block there is a collapsed deposit Ann-3-II of the horizon -62 m and horizon -135 m. Based on this, access to this block is closed and is not subject to repeated development of their ore reserves. In this connection, it is necessary to restore previously completed mining and development workings to study this area. For this purpose, when developing reserves from the MCC from the collapse zone with a displacement trough in hazardous areas, all mining operations must be carried out in strict compliance with the requirements of geomechanical safety, seismic safety, industrial safety and other regulatory requirements for safe operation.

Thus, from the above, all analyzed blocks have access for repeated field development of the remaining reserves at the Annenskaya mine of the VZhR, except for the technological block Bl. 89bis of the Ann-7-I deposit.

Results and their discussions. Based on the results of technical and economic calculations for the above-mentioned 5 blocks of the Annenskaya VZhR mine, the calculation of the production cost per 1 ton of cathode copper for the blocks is as follows: Block 15-15 south of the Ann 5-I deposit - 4621 S/t, Block 15 of the Ann 3-II deposit - 4653 S/t, Block 22-23-24 of the Ann 3-II and 3-I deposits - 6002 S/t, Block 54 of the Ann 3-II and 2-IV deposits - 8104 S/t, Block 7bis - 9052 S/t.

Development of the remaining reserves and extraction of copper cathode at the Annenskaya mine in the blocks: Block 15-15 south of the Ann-5-I-4-I deposit; Block 22-23-24 deposits Ann-3-II, 3- I v. and, 2-IV; Block. 54 deposits Ann-3- II, 2-IV; Block. 7 bis deposits Ann-2- II, Block. 15 deposits Ann-3- II, 3-I v. n., located in a collapsed zone with seismic activity in the conditions of a displacement trough, must be carried out in descending order. First of all, block 54 is involved in development, then block 22-23-24, then blocks 15 and 15-15 south, in places where there are no overlapping deposits and then block 7bis. In order to predict the expansion of the displacement trough boundary, in area and depth in the area of the collapse of the Annenskaya mine, VZhR, as well as to study the negative impact of the displacement trough development in the collapse zone on mine workings and stoping space, we recommend conducting systematic deformation monitoring, consisting of instrumental observations and research work in the field of geomechanics, studying the SSS of the massif.

No negative impact of the deformation processes of the displacement trough on mine capital workings, such as the shafts of the Annenskaya mine, VZhR, the conveyor drift, which is located at the -180 m mark, was revealed.

Conclusion. Based on the study of the stages and order of development of reserves (reserve depletion) with the assessment of the possibility of developing the remaining reserves and extracting the MCC, as well as Block 15-15 south of the Ann deposit - 5-I-4-I; Block 22-23-24 deposits Ann-3-II, 3-I v.n., 2-IV; Block. 54 deposits Ann-3-II, 2-IV; Block. 89 bis deposits Ann-7-I, Block. 7bis deposits Ann-2-II, Block. 15 deposits Ann-3-II, 3-I v.n. are located in the seismic activity zone, where the following results were obtained:

1. The conducted assessment shows the possibility of re-development of the remaining ore reserves from the MCC with field preparation at the Annenskaya mine in the blocks: Block. 15-15 south deposits Ann-5-I-4-I; Block. 22-23-24 deposits Ann-3-II, 3- I v. I, 2-IV; Block. 54

deposits Ann-3- II, 2-IV; Block. 89 bis deposits Ann -7-I, Block 7 bis deposits Ann-2- II, Block 15 deposits Ann-3- II, 3-I centuries B.C., located in a collapsed zone with seismic activity in the conditions of the displacement trough of deposits of the Annenskaya VZhR mine;

2. No negative impact of the deformation processes of the displacement trough on the capital workings was revealed, such as the shafts of the Annenskaya mine, VZhR, the conveyor drift, which is located at the -180 m mark;

3. Based on the conditions for ensuring the safe conduct of mining operations, the order and sequence of involving reserves in the development of the remaining ore reserves from the MCC at the Annenskaya mine in the considered blocks were determined: Block 15- 15 south of the Ann-5-I-4-I deposit; Block 22-23-24 deposits Ann-3-II, 3- I v. i, 2-IV; Block. 54 deposits Ann-3- II, 2-IV; Block. 7 bis deposits Ann-2- II, Block. 15 deposits Ann-3- II, 3-I v. n., located in a collapsed zone with seismic activity in the conditions of a displacement trough and must be carried out in descending order. First of all - development of block 54, then block 22-23-24, then blocks 15 and 15-15 south, in places where there are no overlapping deposits and then block 7bis;

4. Based on the results of the technical and economic calculation, involvement in the development of reserves of Block. 15- 15 south of the Ann-5-I-4-I deposit, 15 of the Ann-3-II, 3-I deposit, Blocks 22-23-24 of the Ann-3-II, 3-I deposit are characterized by positive economic efficiency at a cathode copper price of 8141 \$/t, and for blocks Block 54 of the Ann-3-II, 2-IV and 7 bis of the Ann-2-II deposit, the efficiency is ensured at a cathode copper price of 11800 \$/t.

Conflict of interest. The author(s) declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgments. In turn, the authors express their gratitude to the staff of this journal for their cooperation and responsible approach in preparing and publishing this article.

References

- Lushnikov V.N., Sendi M.P., Eremenko V.A., Kovalenko A.A., Ivanov I.A. Gornyy zhurnal. 2013. – No 12. – Pp. 11-16. 2. Kelly B. Stress analysis for boreholes on department of defense lands in the western United States: A study in stress heterogeneity. Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, February 11-13. 2013. – Pp. 139-150.
- Neverov A.A., Konurin A.I., Shaposhnik Yu.N., Neverov S.A., Shaposhnik S.N. Geomechanical substantiation of sublevel-chamber system of developing with consolidating stowing. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2016: science and technologies in geology, exploration and mining, vol. II, jun. 30-jul. 06, 2016. Albena, Bulgaria. – P. 443-450.
- Eremenko V.A., Neguritsa D.L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses. Eurasian Mining. 2016. – No 1 (25). – P. 21-24.
- Eremenko A.A., Mel'nichenko V.F., Bashkov V.I., Gakhova L.N. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2015. – No 6. – Pp. 25-32.
- Freydin A.M., Neverov S.A., Neverov A.A., Konurin A.I. Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk. 2017. – Vol. 4. – No. 3. – Pp. 180-185. 8. Ordin A.A., Nikol'skiy A.M., Metel'kov A.A., S Imansakipova, B.B., Sdvyzhkova, O.O., Isabayev, K.Z., Shakieva, G. The combined method for assessing risk factors in underground construction /Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020(3), R. 53–58 <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/053> (Q3, Precentile 57%, CiteScore 1.9)
- Xu C, Zhou KP, Xiong X, Gao F, Lu Y. Prediction of mining induced subsidence by sparrow search algorithm with extreme gradient boosting and TOPSIS method. Acta Geotech 2023:1–17.
- Zhou J, Zhu SL, Qiu YG, Armaghani DJ, Zhou AN, Yong WX. Predicting tunnel squeezing using support vector machine optimized by whale optimization algorithm. Acta Geotech 2022;17(4): – Pp. 43-66.
- Tishkov, M "Evaluation of caving as a mining method for the Udachnaya underground diamond mine project", in Y. Potvin & J. Jakubec (eds), Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Australian Center for Geomechanics, Perth, 2018, pp. 835-846

- Couto PM, Green S. Improving the Mining Efficiencies Utilising a Combination of Elongates and Packs at Unisel Mine. Welkom: AMMSA On-line Publication; 2018. p. 1–12.
- Bekbergenov D.K. Features of the technology of repeated ore mining in the conditions of a collapsed area by the underground method on the example of the Zhezkazgan deposit. // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2017. - No. 3 (special issue 3). - 16 p.
- Analysis of the possibility of developing reserves of the Annenskaya and 57 mines, located in the displacement trough. No. 04-3.1.4-9-52 dated 16.10.19. Geomechanical department of the Mine surveying + geomechanical service of the Mining Administration of the MMC TOO "Kazakhmys Corporation". - 8 p. 12.
- Information on the survey of mine workings falling within the displacement trough and 150 m, the zone of the displacement troughs of 2004-2006. Along the Annenskaya mine, the VZhR from 1-31.10.2014 – 12 p.
- Assessment of the involvement of upper horizon blocks in re-development adjacent to the displacement trough from the east (block 25 Ann. 8-II horizon 270 m, block 6 Ann. 7-II-I horizon 170 m, block 26 Ann. 6-II horizon 230 m). No. 04-3.1.4-9-204 dated 11.07.2019. PO Zhezkazgangsvetmet Geomechanical Department of Kazakhmys Corporation LLP. – 9 p.
- Conclusion on mining operations adjacent to the sections of the Annensky mine that collapsed in 2004 (block 3-3bis Ann-2-II-I. block 7 Ann-2-IV. Block 31 Ann-2-II-I, block 12 bis Ann-3-II), No. 03-23-21-747 dated July 21, 2009. According to Zhezkazgantsvetmet Mining and Geomechanical Department. – 2 p.
- Conclusion on the conduct of mining operations at the sites of the Annensky mine in the 150-meter zone adjacent to the 2004 displacement trough (Block 6 Ann. 7-I, block 11-south Ann. 3-IV, block 25-south Ann. 8-II, block 4-south Ann. 4-II-I), No. 03-23-21-691 dated June 25, 2009. PO Zhezkazgantsvetmet Mining and Geomechanical Department, Branch of Kazakhmys Corporation LLP. – 3 p.
- Conclusion on conducting mining operations in the vicinity of the Annensky mine sections that collapsed in 2004 (GPR block 12 bay Ann-3-II, block 11 south bay Ann-2-IV). No. 03-23-21-1331 dated December 14, 2009. Mining and Geomechanical Department, Mine Surveying and Geomechanical Department of Kazakhmys Corporation. – 2 p.
- Geomechanical conclusion on conducting mining operations in the Annensky mine sections in the displacement trough and adjacent to it. No. 03-25-1366 dated December 26, 2009. Mining and Geomechanical Department, Mine Surveying and Geomechanical Department of Kazakhmys Corporation. – 5 p.
- Final report for 2022 on the research topic “Study of compliance of the determination of parameters and the mining system in the conditions of the Annenskaya mine of the East Zhezkazgan mine” (stage 2). Project Manager Bekbergenov D.K., KazNIITsvetmet LLP. Almaty, 2022. – 347 p.

Information about authors

Bekbergenov Dosanbay Kaldarbaevich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory «Integrated Development of Subsoil», D.A. Kunayev Mining Institute, Almaty, Kazakhstan, E-mail: kdbekbergen@mail.ru

Jangulova Gulnar Kabatayevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: gulnarzan@gmail.com

Zhanakova Raisa Kulmakhanovna – PhD Associate Professor at the K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Kazakhstan, Almaty, e-mail: zhanakova_raisa@mail.ru

Abiyev Bakhytzhан Ablkhasimovich – higher education, candidate of technical sciences, Kazakh Highway Institute, head of the department «TCPBM», Kazakhstan, Almaty, e-mail: bakhitjan_aa1971@mail.ru

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ELECTRICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_23
MFTAA 45.00.00

В.А. Калытка¹, А.Д. Мехтиев¹, П.А. Дунаев²

¹Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан
E-mail: kalytka@mail.ru

E-mail: barton.kz@mail.ru

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан
E-mail: dunayev.kz@mail.ru*

ҚАТТЫ ДЕНЕЛІ ДИЭЛЕКТРИКТЕРДЕГІ ҚҰРЫЛЫМНЫҢ МИКРОСКОПИЯЛЫҚ АҚАУЛАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУДІҢ ӘМБЕБАП ӘДІСТЕМЕСІН ӨЗІРЛЕУ

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL METHODOLOGY FOR MEASURING THE PARAMETERS OF MICROSCOPIC STRUCTURAL DEFECTS IN SOLID STATE DIELECTRIC

Аңдатпа. Күрделі кристалды құрылымы бар диэлектриктерде (сутегі байланысы бар кристалдар (СБК); керамиканың әртүрлі сорттары; перовскиттер; сілтілі-галлоидты кристалдар және т.б.) көлемді-зарядты поляризацияны қалыптастыру процесстеріне қатысатын құрылымның микроскопиялық ақауларының параметрлерін өлшеу (жетілдірілген эксперименттік қондырғы негізінде) және есептеудің әмбебап әдістемесі ұсынылған. Полярсыздандырудың термоынталандырылған токтарының әдісі диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсін өлшеумен бірге кристалдардың сутегі байланысы бар диэлектрлік спектроскопиясын (СБК) жүзеге асыруға және құрылым ақауларының қасиеттері мен параметрлерін талдауға мүмкіндік береді. ЭЕМ дыбыстық картасының көмегімен, сигналды модуляция – демодуляция әдісімен (МДМ – әдісімен), полярсыздандырудың термоынталандырылған тоғын (ПТЫТ) өлшеудің автоматтандырылған схемасы өзірленді. Бұл схеманы практикалық сынақтан өткізу табиғи флогопит кристалының мысалында СБК протонды релаксацияның кинетикалық теориясының әдістерімен есептелген теориялық тәуелділіктермен салыстыру функциясын азайту әдісімен салыстырылатын ПТЫТ тығыздығының температуралық спектрін өлшеу арқылы жүргізілді. Эксперименттің қателіктерін статистикалық өңдеу арқылы компьютерлендірілген өлшеу схемасының дәлдігінің жоғары дәрежесі негізделді

Түйін сөздер: Полярсыздандырудың термоынталандырылған токтары (ПТЫТ); ЭЕМ дыбыстық картасының сандық арнасы; модуляция – демодуляция әдісі (МДМ – әдіс); сутектік байланысы бар кристалдар (СБК); табиғи флогопит.

Аннотация. Предложена универсальная методология измерения (на основе усовершенствованной экспериментальной установки) и расчета параметров микроскопических дефектов структуры, участвующих в процессах формирования объемно-зарядовой поляризации в диэлектриках со сложной кристаллической структурой (кристаллы с водородными связями (КВС); различные сорта керамики; перовскиты; щелочно-галлоидные кристаллы и др.). Метод термостимулированных токов деполяризации, в комплексе с измерением тангенса угла диэлектрических потерь, позволяет осуществить диэлектрическую спектроскопию кристаллов с водородными связями (КВС) и выполнить анализ свойств и параметров дефектов структуры. Разработана автоматизированная с помощью звуковой карты ЭВМ, методом модуляции – демодуляции (МДМ – методом) сигнала, схема измерения термостимулированного тока деполяризации (ТСТД). Практическая апробация данной схемы проведена путем измерения температурного спектра плотности ТСТД, сравниваемого, методом минимизации функции

сравнения (МФС), с теоретическими зависимостями, рассчитанными методами кинетической теории протонной релаксации в КВС, на примере кристалла природного флогопита. Путем статистической обработки ошибок эксперимента обоснована высокая степень точности компьютеризированной схемы измерения.

Ключевые слова: термостимулированные токи деполяризации (ТСТД); цифровой канал звуковой карты ЭВМ; методом модуляции – демодуляции (МДМ – метод); кристаллы с водородными связями (КВС); природный флогопит передача энергии.

Abstract. A universal methodology is proposed for measuring (based on an improved experimental setup) and calculating the parameters of microscopic structural defects involved in the formation of volume-charge polarization in dielectrics with a complex crystal structure (hydrogen bonded crystals (HBC); various types of ceramics; perovskites; alkali-halide crystals, etc.). The method of thermally stimulated depolarization currents, in combination with the measurement of the dielectric loss tangent, makes it possible to perform dielectric spectroscopy of hydrogen bonded crystals (HBC) and to analyze the properties and parameters of structural defects. A circuit for measuring the thermally stimulated depolarization current (TSTD), automated with the help of a computer sound card, by the method of modulation - demodulation (MDM - method) of the signal, has been developed. Practical approbation of this scheme was carried out by measuring the temperature spectrum of the density of TSTD, compared by the method of minimizing the comparison function (MCF), with theoretical dependences calculated by the methods of the kinetic theory of proton relaxation in HBC, using the example of a natural phlogopite crystal. By statistical processing of experimental errors, a high degree of accuracy of the computerized measurement scheme is substantiated.

Keywords: thermally stimulated depolarization currents (TSTD); digital channel of the computer sound card; modulation - demodulation method (MDM – method); crystals with hydrogen bonds (HBC); natural phlogopite.

Кіріспе. Кристалл тордың күрделі құрылымы бар диэлектриктердің электрофизикалық қасиеттерін, атап айтқанда сутектік байланысы бар кристалдарды (СБК) (Калытка и Коровкин, 2015; Kalytka, 2021; Астапов, 2016) зерттеу поляризацияның (ПТЫТ), полясыздандырудың (ПТЫТ) және материалдардың кешенді диэлектрлік өткізгіштігінің термоинталандырылған токтарының спектрлерін өлшеу кезінде алынған эксперименттік нәтижелермен теорияны салыстыру негізінде кешенді түрде құрылады (Mironov, 2020; Mironov, et al., 2018; Миронов и Лукин, 2019).

Қазіргі заманғы бағдарламалық жасақтаманың, цифрлық және компьютерлік техниканың техникалық мүмкіндіктері диэлектриктерді (СБК, керамика және т. б. сияқты) поляризациялау (және полясыздандыру) кезінде болатын жеткілікті күрделі физикалық процестерді нақты уақыт режимінде имитациялық модельдеу және басқару (сигналдарды аналогтық – цифрлық түрлендіру арқылы) мүмкіндігімен экспериментті автоматтандырылған реттеудің жылдам әрекет ететін көпфункционалды схемаларын әзірлеуге және іске асыруға мүмкіндік береді.) (Емельянова и др., 2017; Gagkaeva, et al., 2021; Тихомиров и др., 2014; Иванов, 2018; Motovilov, et al., 2020).

Протонды релаксация мен өткізгіштіктің квазиклассикалық кинетикалық теориясының әдістерімен (Motovilov, et al., 2019; Gagkaeva, et al., 2019) температураның (70-550 К) және электр өрісінің кернеулігінің (100 кВ/м-10 МВ/м) кең диапазонындағы экспериментпен жақсы үйлесетін КВС көшпелік поляризациясының әртүрлі математикалық модельдері әзірленді және сыналды (сандық әдістердің көмегімен). Төмен (70-100 К) және өте төмен (4-25 К) температуралар саласында СБК көрінетін туннельдік поляризацияның кванттық кинетикалық теориясының негіздері қаланды (Gagkaeva, et al., 2019). Теориялық нәтижелерді имитациялық модельдеу әдістерімен де өңдеуге болады (Annenkov Yu. M., Kalytka V.A., Korovkin M.V., 2017; Хуснулина и Воскобойникова, 2017; Кротов, 2016; Kalytka, et al., 2019).

Күрделі кристалл торлы құрылымы бар диэлектриктер және олардың композиттері қазіргі заманғы өнеркәсіптің көптеген салаларында әртүрлі практикалық қолданысқа ие,

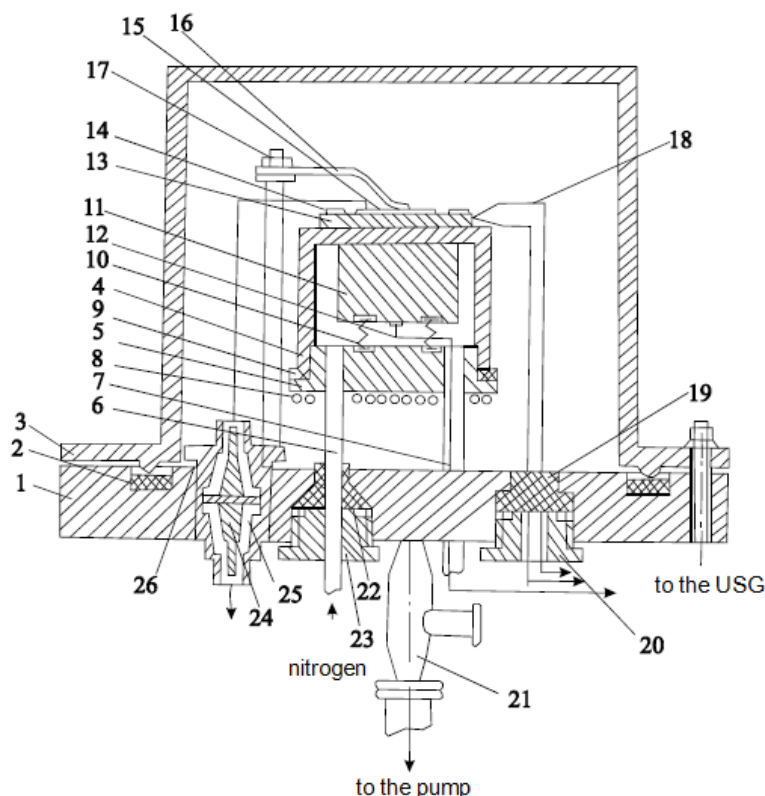
бұл осы кластағы кристалдарды радиоэлектроника, микроэлектроника, электрохимиялық технологиялар үшін перспективалық материалдар ретінде және оқшаулау техникасы мен жоғары кернеу техникасы саласында анықтайды (Kalytka, Korovkin, 2017; Khannanov, et al., 2017).

Осы жұмыстың мақсаты күрделі кристалды құрылымы бар диэлектриктердегі (сүтегі байланысы бар кристалдар (СБК); керамиканың әртүрлі сорттары; перовскиттер; сілтілі-галоидты кристалдар және т.б.) құрылымның микроскопиялық ақауларының параметрлерін есептеу және дәл өлшеудің әмбебап әдіснамасын әзірлеу және апробациялау болып табылады. Біз автоматтандырылған (дыбыстық картаның МДМ күшейткіштерін қолдана отырып) өлшеу схемасын ұсындық, ал оның көмегімен алынған ПТЫТ $J_{exp}(T)$ тығыздығының эксперименттік спектрі, оны (Kalytka, 2021) теориясынан есептелген температураға $J_{theory}(T)$ тәуелділіктермен салыстырғаннан кейін, $T=70-550$ К температура диапазонында СБК релаксаторлардың параметрлерін сандық есептеу үшін қолданылады.

Материалдар мен әдістер. Термоинтандырылған токтардың токтарын және диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсін өлшеуге арналған эксперименттік қондырғы.

Біз ультрадыбыстық үлгіге әсер ету мүмкіндігімен поляризацияның (ПТЫТ) және деполяризацияның (птыт) термоинтандырылған токтарының температуралық спектрлерін өлшеуге, кешенді диэлектриялық өткізгіштігін ($\hat{\epsilon} = \epsilon' - i\epsilon''$), меншікті көлемді электр өткізгіштігін (σ) анықтауға мүмкіндік беретін әмбебап қондырғыны (1-сурет) әзірлеп, апробацияладық. Өлшемдер $\nu = 50$ кГц – 35 МГц поляризациялық электр өрісінің жиілік диапазонында $T = 70 - 550$ К температурада жүзеге асырылды. Резеңке тығыздағышпен 2 және вакуумды экрандау қақпағымен 3 резеңке негізде 1 қуыс төменгі электрод 4 бекітіледі, оның қақпағына 5 түтік 6,7 дәнекерленген, азот буының кірісі мен шығысына арналған. Төменгі электрод қақпағының төменгі бетінде тұрақты токпен қоректенетін 8 жылытқыш спиралы орналасқан. 5 қақпақ фторопластикалық тығыздағышты пайдаланып герметикалық түрде бұралады 9. 4 электродының ішінде 10 серіппелерін пайдаланып, 11 сәулелендіруші ультрадыбыстық түрлендіргіш бекітілген. Ультрадыбыстық тербеліс генераторынан (УДГ) оқшауланған 12 енгізу 7 азот шығару түтігі арқылы жүзеге асырылды, бұл 5 қақпағының конструкциясын жеңілдетеді. Ультрадыбыстық түрлендіргіштің электрод корпусымен байланысын жақсарту үшін вакуумдық майлау қолданылады. Азот Дьюар ыдысындағы сұйық азотқа түтікпен түсірілген кедергі спиралын қыздырған кезде оның буларының қысымының жоғарылауына байланысты сорып алынады. Зерттелетін үлгі (диэлектрик) 13 қорғаушы 14 және өлшеу 15 электродтары 4 төменгі қуыс электродқа орналастырылады және оқшауланған тіреуге бекітілген 16 жұқа пластинкалы серіппенің көмегімен жабысады 17. Температураны өлшеу төменгі электродтың жоғарғы бөлігіндегі саңылауға бекітілген 18 хромель-алюмель термопара арқылы жүргізілді.

Термопараны енгізу 19 тығыз резеңке тығыздағыштан және 20 қысқыш гайкадан тұратын жалғағыш арқылы жүзеге асырылады. Ауа негізге дәнекерленген 21 келтеқосқыш арқылы айдап шығарылады. Азотты айдауға арналған 6 және 7 түтікшелер 22 фторопласты төсемдер мен 23 қысқыш гайкалардың көмегімен негізге бекітіледі. Вакуумдық электр кірісі 24 металл ядросынан, 25 фторопластикалық тығыздағыштардан және 26 қысқыш гайкадан тұрады. Жалғағыштың төменгі бөлігінде жалғағышты қуат көзінен немесе электрометрден жалғау үшін бұранда бар.



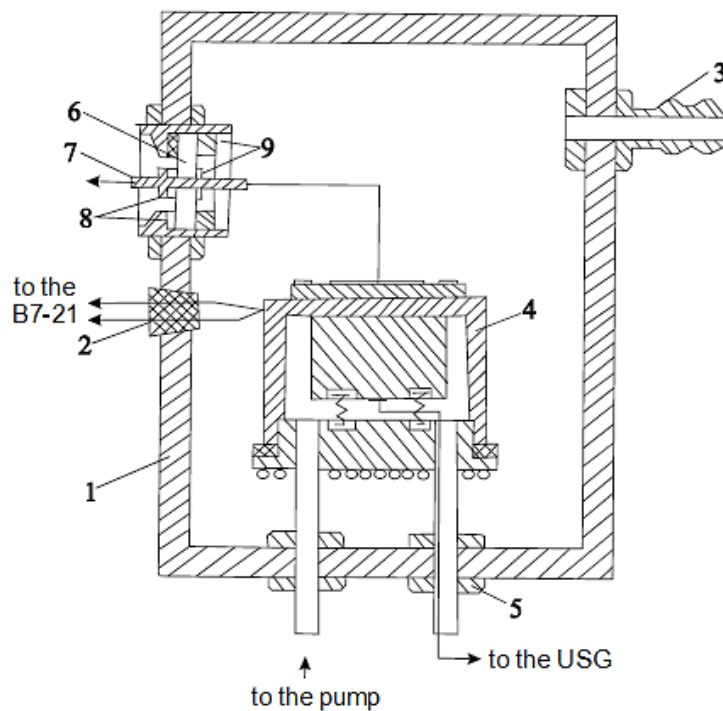
1-сурет. Поляризацияның, поляриздандырудың термоынталандырылған токтарын және диэлектрлік шығын бұрышының тангенсін өлшеуге арналған қондырғының конструкциясы
Ескерту – автормен құрастырылған

Үлгінің табиғи қыздыру жылдамдығы $0,1 \frac{K}{c}$ қабылданады. Тұрақты қыздыру жылдамдығын сақтау үшін 8 жылытқышы қолданылады. Қысым 5Па ($\sim 10^{-2}$ мм.рт.ст.) қамтамасыз етіледі. Қондырғының өлшеу қателігі ток арқылы $\pm(3 \div 5) \cdot 10^{-15}$ А аспайды. Алайда бұл қондырғы $C < 10^{-11}$ Ф және $tg\delta < 10^{-3}$ электр сыйымдылығын өлшеуге мүмкіндік бермеді.

$tg\delta$ и ε' кішігірім мәндерді өлшеу үшін біз қосымша ықшам құрылғыны (2-сурет) жасадық, оның өлшемі 1-суретте көрсетілген қондырғымен салыстырғанда кішірек.

1 корпусы (жоғарыдан көрініс) фторопластан жасалған. Корпуста термopapa 2 және ауаны сығып шығаруға арналған келтеқосқыш 3 үшін резеңке бекіткіштер бар. Төменгі қуыс электрод 4 құрылғысы 1-суретте көрсетілгенге ұқсас. Азотты енгізу және шығару түтіктері корпусқа қысқыш гайкалардың көмегімен 5 бекітіледі. Вакуумдық электр кірісі $(1-2) \cdot 10^{-4}$ диэлектрлік шығын бұрышы бар балқытылған кварцтың 6 пластинасының негізінде жиналады. Электрлік түйіспе 7 пластинаның ортасындағы саңылау арқылы енгізіледі. Пластиналар мен енгізу резеңке төсемдердің 8 және 9 қысқыш гайкалардың көмегімен саңылаусыздандырылады.

Қысым шамамен 1 Па құрайды. Қақпақ органикалық әйнектен жасалған және резеңке тығыздағыш арқылы 1 корпусына басылған. Барлық құрылғы металл экранға орналас-тырылған.



2-сурет. $tg\delta$ және ε' шағын мәндерін өлшеуге арналған қондырғының конструкциясы

Ескерту – автормен құрастырылған

ВМ-560 сапа өлшегішінің конструкциясын ескере отырып, біз ұсынған құрылғы тікелей аспапқа орнатылады, бұл жеткізу сымдарының ұзындығын 5-6 см дейін азайтуға мүмкіндік берді. Нәтижесінде пикофарда үлесіне дейін электр сыйымдылығын $tg\delta \geq 3 \cdot 10^{-4}$ өлшеу қамтамасыз етілді.

Көрсетілген диапазонда өлшеу $tg\delta$ кезіндегі қате $\frac{\Delta(tg\delta)}{tg\delta}$ едәуір. Мәселен, $tg\delta < 10^{-3}$,

$\frac{\Delta(tg\delta)}{tg\delta} = (40 \div 50) \%$ кезінде, ал $tg\delta \geq 10^{-3}$ $\frac{\Delta(tg\delta)}{tg\delta} = (6 \div 10) \%$ кезінде. Алайда, $tg\delta$ және ε' өлшеудің барлық күрделілігін ескере отырып және вакуумдағы төмен температура аймағында (70-100 К) қазіргі уақытта дәлдікке қол жеткізу мүмкін болмайды.

Беттік өткізгіштіктің әсері қорғаныш сақиналы электродтармен немесе электродтар арасындағы жолдың үлкен айырмашылығын қамтамасыз ететін үлгі өлшемдерін таңдаумен жойылады. Диаметрдің қалыңдыққа қатынасы 20:1 таңдалды.

Материалдардың диэлектрлік сипаттамаларын өлшеу үшін біз мыналарды қамтитын схеманы жинадық: 1) (Астапов, 2016) баяндалған әдістемеге сәйкес дайындалған үлгі; 2) УИП-2 моделінің тұрақтандырылған кернеу көзі; 3) токтарды өлшеуге арналған аспап (В7-30 электр метрі) немесе электр сыйымдылығын және $tg\delta < 10^{-3}$ өлшеуге арналған ВМ-560 сапа өлшегіші 4) Шығару аспабы (КСП-4 потенциометрі); шунт, ультрадыбыстық түрлендіргіш, ультрадыбыстық генератор, қорғау блогы. Температураны өлшеу үшін дифференциалды термпарасы бар В7-21 вольтметр қолданылды, оның дәнекерлеп біріктіру еріген мұздың температурасы сақталатын нөл-термостатқа (НТ) орналастырылды. Термопараны өлшемдеу $\pm 0,5$ К дәлдікпен МОД-61 тұрақты ток көпірінің көмегімен жүргізілді.

Жиілігі бойынша ВМ-560 генератор шкаласын өлшемдеу қателігі $\pm 0,5\%$ аспады. Өлшенетін мәннен пайызбен сапалылықты өлшеу қателігі $\pm \left(3 + \frac{Q_x}{Q}\right)$ аспайды, мұндағы Q_x сапа есебі жүргізілетін шкаланың жұмыс бөлігінің соңғы мәні, Q – сапалылықтың өлшенген мәні. Өлшеу конденсаторының бөліну бағасы $0,1$ пФ, сыйымдылық бойынша негізгі қателік 1% -дан аспады. ВМ-560 сапалылық өлшеуішінде есептеу мына формула бойынша жүргізілді

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{(Q_1 - Q_2)(C_0 + C_1)}{(C_1 - C_2)Q_1Q_2}, \quad (1)$$

мұндағы C_0 – ауыстырылатын индуктивті катушкалардың өзіндік сыйымдылығы, Q_1, Q_2, C_1, C_2 – конденсаторсыз және объекті арқылы жалғанған конденсатормен резонансқа бапталған контурдың сапа коэффициенті және электр сыйымдылығы.

В7-30 электрметрі екі полярлықтың токтарын 10 А-дан 10 А-ға дейін, тұрақты ток кернеулері 10^{-4} В бастап 10 В дейін, зарядтары 10^{-15} Кл бастап 10^{-9} Кл дейін, кедергісі 106 Ом-нан бастап 1018 Омға дейін өлшеуге мүмкіндік береді. Токты өлшеудің $\Delta = \pm(A + 0,05I_x)$ рұқсат етілген негізгі қателігінің мәндерінің шектері, мұнда A – электрметрдің дискреттік қатесі, ең аз мәнді разрядтың 2 бірлігіне тең, I_x – өлшенетін шаманың нақты мәні болып табылады. Р589 сандық автоматты көпірі электр сыйымдылығын өлшеу үшін және $\operatorname{tg}\delta$ тіркелген 1 кГц жиілікте қолданылды. Объектіге 80 В кернеуі берілді. Диэлектрик шығындар мен сыйымдылық бұрышының тангенсін өлшеу шегі $3 \cdot 10^{-4} \leq \operatorname{tg}\delta \leq 10^{-1}$, $10^{-14} \leq C \leq 10^{-5}$ Ф тең. Сыйымдылықты өлшеу қателіктері C және сәйкесінше $\operatorname{tg}\delta$

$$\frac{\Delta C}{C} = \pm \left(1 + \frac{2}{C_x}\right), \quad (2.1)$$

$$\frac{\Delta(\operatorname{tg}\delta)}{\operatorname{tg}\delta} = \pm (0,02 \operatorname{tg}\delta_x + 3 \cdot 10^{-4}). \quad (2.2)$$

$\operatorname{tg}\delta > 10^{-1}$ үлкен мәндерді өлшеу үшін жиілігі 1% және бұрышы ± 20 болатын қателігі бар ВМ-507 сапа өлшегіші қолданылды.

Нәтижелер. Өлшеу нәтижелерін статистикалық өңдеу. Шаманы өлшеу қателері стандартты түрде есептелді (Mironov, 2020; Mironov, et al. 2018). Орташа арифметикалық қате

$$m[x] \equiv \langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (3.1)$$

бірлік өлшемнің орташа квадраттық қатесі:

$$\sigma[x] \equiv \sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)}; \quad (3.2)$$

арифметикалық орташа квадраттық қате:

$$\sigma_{\bar{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma_n; \quad (3.3)$$

шаманың өлшенген мәндерінің сенімгерлік интервалы:

$$\Delta x = \frac{\sigma_{\bar{n}}}{\sqrt{n}} y_{p,n}, \quad (3.4)$$

мұнда $P = P(\langle x \rangle - y_{p,n} \sigma_{\bar{n}} < x < \langle x \rangle + y_{p,n} \sigma_{\bar{n}})$ – сенімділік ықтималдығы, $y_{p,n}$ – Стьюдент коэффициенті. Қажетті өлшемдердің саны $P = 0,9$; $\frac{\Delta x}{x} \geq 1$ жағдайларда анықталды. Бұл жағдайда өлшемдер саны алты болуы керек, бұл экспериментте ескерілген. Функция үшін өлшеу қатесі, $\Delta y = f'(x) \Delta x$, $\frac{\Delta y}{y} = \frac{f'(x)}{f(x)} \Delta x$ салдарынан, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ жағдайда тең

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 (\Delta x_1)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 (\Delta x_2)^2 + \dots + \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2}}. \quad (4)$$

Нормаланған ауытқу төмендегі формула бойынша анықталды

$$y = \frac{x_i^k - \langle x \rangle^k}{\sigma_{\bar{n}} \sqrt{n+1}}, \quad (5)$$

мұнда x_i^k – k таңдамадагі x_i экстремалды мәні; $\langle x \rangle$ – k таңдамаға арналған орташа арифметикалық мән.

(2.1),(2.2),(3.1)-(3.4) және (4),(5) формулалар көмегімен полярсыздандырудың термоынталандырылған тогы тығыздығының үшінші эксперименттік максимумының T_{max} температурасы төңірегіндегі флогопитте белсендірілген релаксаторлар үшін $U_{0,exp}$ белсендіру энергиясын өлшеу кезіндегі қателерді есептейміз: $U_{0,exp,3} = 0,25$ эВ, $n = 7$, $\sigma_n = 3 \cdot 10^{-2}$, $\sigma_{\bar{n}} = 1,1 \cdot 10^{-2}$, $y_{p,n} = 1,9$, $\Delta x = 2,2 \cdot 10^{-2}$. Сонда $U_{0,exp,3} = 0,25 \pm 0,02$. (5) $U_{0,exp,3}$ үшін алынған $0,18$ эВ және $0,35$ эВ мәндерінің таңдамада қалатындығын анықтаймыз. (5)-тен $y = \frac{0,35 - 0,25}{1,1 \cdot 10^{-2} \sqrt{6}} = 3,7$ аламыз. $y_{p,n} = 1,9$ болғандықтан, $y > y_{p,n}$ салдарынан, $U_{0,exp,3} = 0,35$ эВ таңдамада қалмайды. осыған ұқсас $U_{0,exp,3} = 0,18$ эВ үшін, $y = 2,2$, мұнда $y > y_{p,n}$.

Жанама өлшеулердің қателіктері келесі өрнектерден анықталды. Ток тығыздығы j мен электр өрісінің E кернеуі үшін (Mironov, et al. 2018)

$$\frac{\Delta j}{j} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2}, \quad \frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2}. \quad (6.1)$$

Буччи – Рив формуласының экспоненциалды көбейткіші үшін [5]

$$\frac{\Delta \tau_0}{\tau_0} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{U_{0,exp} + 2k_B T_{max}}{k_B T_{max}}\right)^2 \left(\frac{\Delta T_{max}}{T_{max}}\right)^2 + \left(\frac{U_{0,exp} + k_B T_{max}}{k_B T_{max}}\right)^2 \left(\frac{\Delta U_{0,exp}}{U_{0,exp}}\right)^2}. \quad (6.2)$$

Диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі үшін [5]

$$\frac{\Delta(\text{tg}\delta)}{\text{tg}\delta} = \left[\left(\frac{C_2}{C_1 - C_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta C_1}{C_1}\right)^2 + \left(\frac{C_1}{C_1 - C_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta C_2}{C_2}\right)^2 + \left(\frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta Q_1}{Q_1}\right)^2 + \left(\frac{Q_1}{Q_1 - Q_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta Q_2}{Q_2}\right)^2 \right]^{1/2}. \quad (6.3)$$

Өлшеу процесінде температура бойынша полярсыздандырудың термоынталандырылған токтары максимумдарының жай-күйінің шашырауы орташа есеппен 5К аспайды.

Гарлик-Гибсон әдісімен белсендіру энергиясын есептеу кезінде (бастапқы көтеру әдісі) (Kalytka, 2021) формула қолданылды.

$$U_{0,exp} = \frac{k_B T_{max,1} T_{max,2}}{T_{max,2} - T_{max,1}} \ln \left(\frac{I_1}{I_2} \right). \quad (7)$$

Осы әдіс бойынша белсендіру энергиясын анықтау кезінде қатені есептеу үшін [5] формула алынады

$$\frac{\Delta U_{0,exp}}{U_{0,exp}} = \sqrt{2 \left(\frac{I}{\ln I} \right)^2 \left(\frac{\Delta I}{I} \right)^2 + \left[\left(\frac{1}{1 - \frac{T_{max,1}}{T_{max,2}}} \right)^2 + \left(\frac{1 - 2 \frac{T_{max,2}}{T_{max,1}}}{1 - \frac{T_{max,2}}{T_{max,1}}} \right)^2 \right] \left(\frac{T_{max,2}}{T_{max,1}} \right)^2}. \quad (8)$$

Параболалық потенциалды кедергі моделі үшін: $U_{0,exp} = \frac{m\omega^2 \delta_0^2}{8}$, мұнда δ_0 – кедергі ені (Kalytka, 2021). Қатені есептеу $\frac{\Delta \delta_0}{\delta_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta(U_{0,exp})}{U_{0,exp}}$ береді.

(1), (2.1), (2.2), (3.1)-(3.4), (4)-(8) формулалар бойынша есептелген өлшеу қателері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Өлшеу қателері

№	Өлшенетін шама	Салыстырмалы қате, %	
1	Электр кернеуі, V	0,5	
2	Үлгі қалыңдығы, d	0,1-0,2	
3	Электродтың диаметрі, D	0,2	
4	Электродтың ауданы, S	0,5	
5	Ток күші, I	5	
6	Ток тығыздығы, j	5	
7	Электр өрісінің кернеулігі, E	1	
8	tgδ спектр бойынша есептелген $U_{0,exp}$ белсендіру энергиясы	30	
9	ПТЫТ тығыздық спектрі бойынша есептелген $U_{0,exp}$ белсендіру энергиясы	10	
10	Экспоненциалды көбейткіш, τ_0	tgδ спектр бойынша	40
		ПТЫТ спектр бойынша	10
11	Диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі, tgδ	$tg\delta \geq 10^{-3}$	6-10
		$tg\delta < 10^{-3}$	40-50
12	Ықтимал кедергінің ені, δ_0	5	
Ескерту – автормен құрастырылған			

Полярсыздандырудың термоинталандырылған токтарының спектрі бойынша есептелген $U_{0,exp}$ белсендіру энергиясы мен τ_0 экспоненциалды көбейткішті анықтаудағы салыстырмалы қателер резонанстық немесе көпір әдісіне қарағанда (диэлектрлік шығын бұрышының тангенс спектрі бойынша) едәуір аз.

Талқылау. Термоинталандырылған токтардың температуралық спектрлерін өлшеудің автоматтандырылған схемасы

Эксперимент нәтижесінде алынған ақпараттың сенімділігі мен көлемі өлшеудің дәлдігі мен жағдайларына байланысты, өйткені диэлектриктің поляризациясы кезінде пайда болатын релаксация процестерінің механизмі өзгертін параметрлердің (температура, айнымалы электр өрісінің жиілігі) уақыт өте келе өзгеру жылдамдығына өте сезімтал (Астапов, 2016).

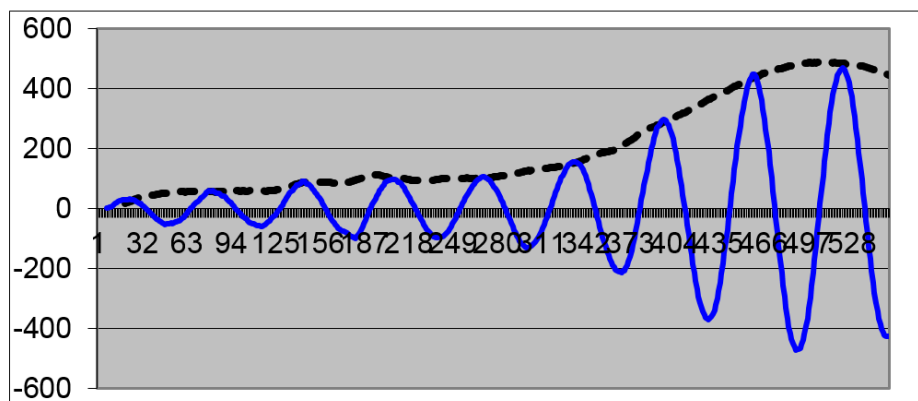
Автоматтандырылған экспериментті басқару схемасын енгізу кезінде барлық шығыс ақпарат аналогтық сигнал түрінде ұсынылады, бұл ретте деректерді кейіннен өңдеу үшін ЭЕМ көмегімен, бұл ақпаратты цифрлық түрге түрлендіру қажет (Астапов, 2016).

Тұрақты компоненті бар сигналды цифрландырудың және оларды ЭЕМ өңдеудің көптеген балама әдістері бар. Төменде келтірілген әдіс, қолданыстағы әдістердің жалпы санынан оны ең керекті құралдармен жүзеге асыру тұрғысынан ең оңай - микроконтроллердің бағдарламалық жасақтамасы, ТЦК қолдану және т.б. қажет емес, ал дайын драйверлері бар дыбыстық карта кез келген компьютердің бөлігі ретінде жабдықталады (Астапов, 2016).

3-суретте амплитудалық модуляцияға дейін (нүктелі сызық) және амплитудалық модуляциядан кейін (қатты сызық) модуляторлардың жұмысын көрсететін сигнал фрагменті көрсетілген.

Дыбыстық картаның МДМ күшейткіштерімен өлшенген (3-сурет) (компьютерлік әдіс) табиғи флогопит кристалындағы термоинталандырылған полярсыздандыру тогының эксперименттік спектрі (5-суреттегі 1-график) (Калытка и Коровкин, 2015) алынған нәтижемен бірдей.

(Kalytka, 2021) сияқты, біз 873 К температурада алдын-ала қыздырылған және $T_p=373$ К температурада және $E_p=106$ В/М өріс кернеуінде полярланған $d=30$ мкм табиғи флогопиттің үлгісін зерттедік. Үлгінің сызықтық қыздыру жылдамдығы $c=0,1$ К/с тең болды.



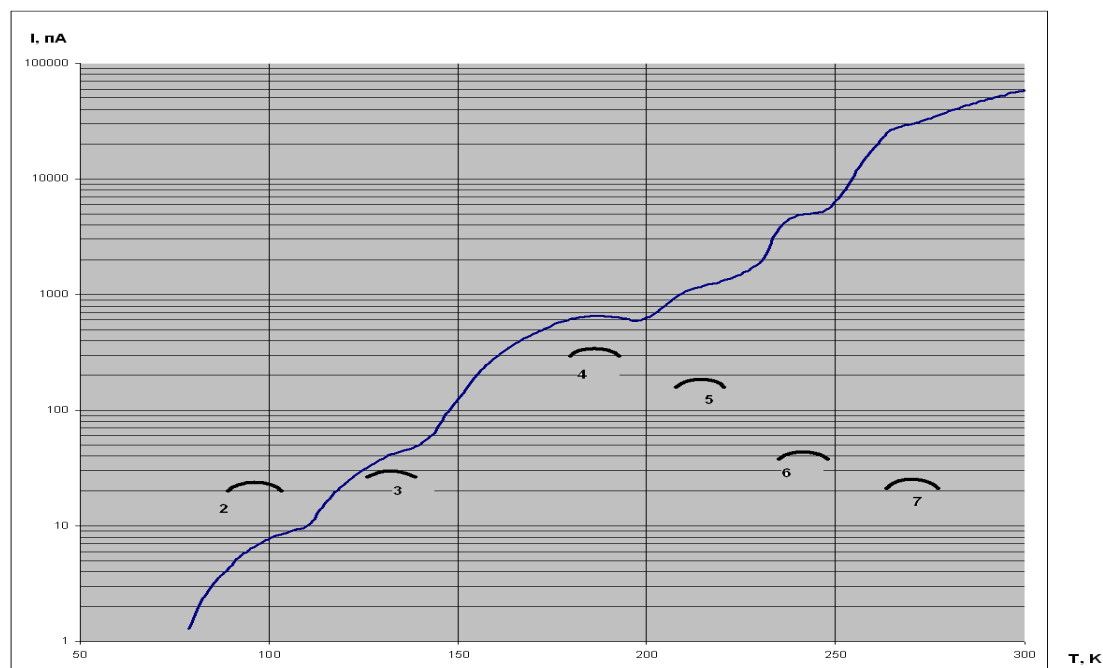
3-сурет. Модуляцияланған сигнал фрагменті

Ескерту – автормен құрастырылған

Теориялық қисықтардың $J_{theory}(T)$ беталысы заңдылықтарын егжей-тегжейлі талдау, олардың 5-суреттегі $J_{exp}(T)$ эксперименттік спектрмен байланысы және теориялық параметрлерді есептеу (белсендіру энергиясы $-U_{0,th}$, тепе-теңдік концентрациясы $-n_{0,th}$, өзіндік тербелістердің сызықтық жиілігі $-v_{0,th}$, ықтимал кедергінің ені $-\delta_{0,th}$), релаксаторлардың барлық түрлері үшін әр эксперименттік нүктенің $T_{max,exp}$ маңында салыстыру функциясын (СФМ) $\Phi(\bar{\xi}) = [T_{max,theory}(\bar{\xi}) - T_{max,exp}]^2$ минимумдау әдісін орындадық [2]. Мұнда $T_{max,theory}(\bar{\xi})$ – $\bar{\xi} = \{U_{0,th}; v_{0,th}; n_{0,th}; \delta_{0,th}\}$ айнымалы кеңістіктегі функция ретінде анықталған $J_{theory}(T)$ функцияның максимум температурасы. Мұнда қолданылатын $J_{theory}(T)$ функциясының аналитикалық өрнегі тығыздықты матрицалық аппараттың көмегімен, блоктайтын электродтар моделі үшін құрылады (Kalytka, 2021).

(Калытка & Коровкин, 2015) монорелаксациялық максимумдардың температурасы № 1-6, (Kalytka, 2021)-дің 13-суретіндегідей $T_{max,exp} = 100, 130, 178, 206, 235, 260$ К тең.

$J_{max,exp}$ және $J_{max,theory}$ амплитудалар мен жоғары температура максимумдары ($T_{max,exp} > 100$ К) арасындағы айырмашылық (Kalytka, 2021) де қарастырылады.



4-сурет. $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ табиғи флогопит кристалындағы полярсыздандырудың термоинталандырылған тогының спектрі: (1) – табиғи флогопит кристалы үшін автоматтандырылған схема бойынша (МДМ – әдісінің көмегімен) өлшенген ПТЫТ $J_{exp}(T)$ тығыздығының эксперименттік спектрі; (2-7) – эксперименттік максимумдардың $T_{max,exp}$ тиісті температураларының маңайында құрылған теориялық графиктер $J_{theory}(T)$

Ескерту – автормен құрастырылған

В7-30 электромметрдің көмегімен өлшенген ПТЫГ тығыздығының максимумдарының $T_{max,exp}$ температурасы мен $J_{max,exp}$ амплитудасы (3-сурет (Kalytka, 2021) және дыбыстық карта (4-сурет) бірдей болғандықтан, релаксаторлардың әр түрі үшін $U_{0,exp1}$, $U_{0,exp2}$ мәндері айтарлықтай ерекшеленбеуі керек, бұл 2-кестеден шығады. Бұл ретте, автоматтандырылған схеманы (3-сурет) қолдану № 2-6 (2-кесте) максимумдар үшін белсендіру энергиясының өлшенген мәндерінің сенімді аралығын айтарлықтай қысқартатынын көру қиын емес, бұл эксперимент нәтижелерінің дәлдігін статистикалық және сандық бағалау тұрғысынан да, теория мен экспериментті салыстыру кезінде де өзекті.

2-кесте. $KMg_3(Si_3O_{10})(OH)_2$ табиғи флогопит кристаллындағы релаксаторларды белсендіру энергиясы

Экспериментте өлшенген максимум температура	Белсендіру энергиясы, эВ			
	[2]-гі 16-кестеде келтірілген нәтижелер бойынша		Автоматтандырылған схеманы қолдану арқылы орындалған өлшеу нәтижелері бойынша, МДМ – әдіс бойынша (3-сурет)	
T_{max} , К	$U_{0,th2}$	$U_{0,th1}$	$U_{0,exp2}$	$U_{0,th2}$
100	0,05±0,01	0,05	0,05±0,01	0,05
130	0,17±0,02	0,16	0,17±0,01	0,16
178	0,25±0,03	0,25	0,25±0,02	0,25
206	0,31±0,03	0,31	0,31±0,02	0,31
235	0,4±0,04	0,36	0,4±0,02	0,4
260	0,49±0,05	0,45	0,49±0,02	0,47

Ескерту – автормен құрастырылған

Релаксаторлар параметрлерінің теориялық мәндерін есептеу СФМ (Kalytka, 2021) әдісімен жүзеге асырылатындықтан, эксперименттік жағдайлардың математикалық модельге болжамдарға айтарлықтай әсерін ескере отырып, өлшеу процесін автоматтандыру № 5, 6 максимумдар үшін $U_{0,th1}$ салыстырғанда $U_{0,th2}$ мәндеріне оң әсер етті (2-кесте).

СБК қатарының диэлектрлік қасиеттерін зерттеуге ұқсас әдістерді қолдану (мысалы, химиялық таза халькантит $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (Kalytka, 2021), тальк $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ (Kalytka & Коровкин, 2015; Kalytka, 2021).1,2] және т.б.) анықталған заңдылықтарды растайтыны анық.

Қорытынды. Біз жетілдірген қондырғы және эксперименттер әдістемесі $I \geq 10^{-15}$ А және $tg\delta \geq 3 \cdot 10^{-4}$ тогының күшін өлшеуге, поляризациялайтын өрістің 50 кГц – 35 МГц жиілігі кезінде температура диапазонында полярсыздандырудың термомынталандырылған токтарының спектрлерін түсіруге, сондай-ақ бірқатар технологиялық процестер үшін аспаптар мен жабдықтар жұмыс істейтін жағдайларды модельдеуге мүмкіндік береді (мысалы, керамика және қабатты минералдар негізінде оқшаулауды дайындау кезінде (слюда, тальк, кристаллогидраттар)).

Өлшеу нәтижелерін математикалық статистика әдістерімен өңдеу резонанстық немесе көпір әдістерімен салыстырғанда релаксация параметрлерін анықтау үшін полярсыздандырудың термомынталандырылған тогы әдісінің айқын артықшылығын анықтады (1-кесте).

Есептеу нәтижелері бойынша (табиғи флогопит кристалы мысалында) полярсыздандырудың термоынталандырылған токтарын өлшеудің автоматтандырылған схемасын қолдану (ЭЕМ негізінде, дыбыстық картаның көмегімен, МДМ – әдісімен) № 2-6 максимумдар температуралары кезінде іске қосылатын $U_{0,exp}$ релаксаторларды өлшеу кезінде дәлдік дәрежесінің елеулі жоғарылауына әкеледі (2-кесте). Сонымен қатар, № 5, 6 максимумдар үшін теориялық белсендіру энергиясының $U_{0,th}$ мәні іс жүзінде $U_{0,exp}$ сәйкес келеді.

Әдебиеттер тізімі

- Калытка В.А., Коровкин М.В. Протонная проводимость. Монография: ISBN-13: 978-3-659-68923-9; ISBN-10: 3659689238; EBAN: 9783659689239. Germany: «LAP LAMBERT Academic Publishing». – 2015. – 180 p. <http://www.lap-publishing.com> // Kalytka V.A., Korovkin M.V. Protonnaya provodimost. Monografiya: ISBN-13: 978-3-659-68923-9; ISBN-10: 3659689238; EBAN: 9783659689239. Germany: «LAP LAMBERT Academic Publishing». – 2015. – 180 p. <http://www.lap-publishing.com>.
- Kalytka V.A. «Electrophysics of proton semiconductors and dielectrics». Publisher: Karaganda Technical University, Karaganda: KTU Publ. House, 2021, 133 p. - Bibliography: p. 133 - 500 copies – ISBN 978-601-320-399-7.
- Астапов В.Н. Аналитический обзор электрофизических характеристик углеводородных жидкостей и применение их в информационно-измерительных системах для контроля качества топлив // Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – № 5. – С. 5-27. // Astapov V.N. Analitycheskij obzor elektrofizicheskikh harakteristik uglevodorodnyh zhidkostej i primenenie ih v informacionno-izmeritelnyh sistemah dlya kontrolya kachestva topliv // Nauchnoe obozrenie. Tehnicheskie nauki. – 2016. – № 5. – С. 5-27.
- Mironov V. L. A dielectric model of thawed and frozen Arctic soils considering frequency, temperature, texture and dry density // International Journal of Remote Sensing. – 2020. – Vol. 41, no. 10. – P. 3845 – 3865. – URL: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1708506>.
- Mironov V. L. [et al.]. Joint studies of water phase transitions in Na-bentonite clay by calorimetric and dielectric methods // Cold Reg. Sci. Technol. – 2018. – Vol. 153. – P. 172 – 180. – URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X17302598>.
- Миронов В. Л., Лукин Ю. И. Многорелаксационная температурная модель комплексной диэлектрической проницаемости бентонитовой глины в диапазоне частот от 15 МГц до 15 ГГц // Радиотехника. – 2019. – Т. 83, 12(19). – С. 33 – 44 // Mironov V. L., Lukin Yu. I. Mnogorelaksacionnaya temperaturnaya model kompleksnoj dielektricheskoy pronicaemosti bentonitovoj gliny v diapazone chastot ot 15 MGc do 15 GGc // Radiotekhnika. – 2019. – Т. 83, 12(19). – С. 33 – 44.
- Емельянова Ю. В., Морозова М. В., Михайловская З. А., Буянова Е. С. Импедансная спектроскопия: теория и применение: учеб. пособие / [под общ. ред. Е. С. Буяновой]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: ISBN 978-5-7996-2067-7; Изд.во Урал. ун-та, 2017. – 156 с. // Emelyanova Yu.V., Morozova M.V., Mihajlovskaya Z.A., Buyanova E.S. Impedansnaya spektroskopiya: teoriya i primenenie: ucheb. posobie / [pod obsh. red. E.S. Buyanovoj]; M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federacii, Ural. feder. un-t. – Ekaterinburg: ISBN 978-5-7996-2067-7; Izd.vo Ural. un-ta, 2017. – 156 s.
- Gagkaeva Z.V., Sidoruk K.V., Gorshunov B.P., Motovilov K.A. Aqueous cations and excess of translational vibrations as the evidences of charge transport in biomaterials. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME-2021). November 3-5, 2021, Chisinau, Moldova.
- Тихомиров П.О., Емельянов П.В., Плотник Н.С., Зырянов А.В. Минимизация времени простоя процессов при их миграции в облачном хостинге // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2014. – Том 12. – Выпуск № 4. – С. 112-120. – ISSN 1818-7900 // Tihomirov P.O., Emelyanov P.V., Plotnik N.S., Zyryanov A.V. Minimizaciya vremeni prostoya processov pri ih migracii v oblachnom hostinge // Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tehnologii. – 2014. – Том 12, Vypusk № 4. – С. 112-120. – ISSN 1818-7900.

- Иванов В.Н. Численные методы исследования механических систем с дополнительными связями//Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2015. – Том 31, Выпуск № 4. // Ivanov V.N. Chislennyye metody issledovaniya mekhanicheskikh sistem s dopolnitelnymi svyazyami//Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Matematika. Mehanika. Informatika. – 2015. – Tom 31, Vypusk № 4.
- Motovilov K.A., Savinov M., Zhukov S., Grinenko V., Tyurenkov I.O., Gagkaeva Z.V., Mostert B., Gorshunov B.P. The comparative study of the transport properties and structural organization of peptides enriched with aromatic groups and the pigment eumelanin. SPb-POEM. 2020, Saint-Petersburg, Russia.
- Motovilov K.A., Grinenko V., Savinov M., Zhukov S., Mostert B., Tyurenkov I.O., Gagkaeva Z.V., Gorshunov B.P. Transport characteristics of synthetic eumelanin. 62 AllRussia scientific conference in MIPT. November 18-23, 2019, Dolgoprudny, Russia.
- Gagkaeva Z.V., Motovilov K.A., Grinenko V., Savinov M., Bedran Z.V., Mostert A.B., Gorshunov. B.P. Transport properties and dielectric relaxations in eumelanin. Organic Bioelectronics Italy. October 21-23, 2019, Naples, Italy.
- Annenkov Yu. M., Kalytka V.A., Korovkin M.V. Quantum effects under migratory polarization in nanometer layers of proton semiconductors and dielectrics at ultralow temperatures. Russian Physics Journal - Vol., No.1, 2017. - pp. 35- 41. DOI: 10.1007/s11182-015-0459-z.
- Хуснулина А.Л., Воскобойникова О.Б. Автоматизированная система сбора и визуализации технологических данных в производстве полупроводниковых приборов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2017. – Том 15, Выпуск № 3. – С. 100-110. – DOI 10.25205/1818-7900-2017-15-3-100-110. – ISSN 1818-7900 // Husnulina A.L., Voskoboynikova O.B. Avtomatizirovannaya sistema sbora i vizualizatsii tehnologicheskikh dannyh v proizvodstve poluprovodnikovyyh priborov//Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tehnologii. - 2017. - Tom 15, Vypusk № 3. – S. 100-110. - DOI 10.25205/1818-7900-2017-15-3-100-110. – ISSN 1818-7900.
- Кротов К.В. Градиентный метод формирования динамических расписаний обработки данных в конвейерной системе при различных моментах времени их поступления//Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2016. – Т. 14, Выпуск № 1. – С. 39-60 // Krotov K.V. Gradientnyj metod formirovaniya dinamicheskikh raspisanij obrabotki dannyh v konvejernoj sisteme pri razlichnyh momentah vremeni ih postupleniya//Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tehnologii. – 2016. – T. 14, Vypusk № 1. – С. 39-60.
- Kalytka V.A., Bashirov A.V., Taranov A.V., Tatkeyeva G. G., Neshina Y.G. and Sidorina Y.A. Methods of Theoretical Researches the Properties of Electrotechnical Materials Class of Dielectrics with Hydrogen Bonds//Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, Vol. 16, 2019, pp. 1–6. DOI: 10.1166/jctn.2019.8130.
- Kalytka V.A., Korovkin M.V. Dispersion relations for proton relaxation in solid dielectrics. Russian Physics Journal - Vol. 59, No.12, April, 2017. - pp. 2151- 2161. DOI: 10.1007/s11182-017-1027-5.
- Khannanov B.K., Sanina V.A., Golovenchits E.I., Scheglov M.P. Electric polarization induced by phase separation in magnetically ordered and paramagnetic states of RMn_2O_5 (R=Gd, Bi) // J. Magn. Magn. Mater. 2017. Vol. 421. P. 326–335.

Information about authors

Valery Kalytka – PhD, associate professor, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, kalytka@mail.ru

Ali Mekhtiyev – Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor, NJSC "Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin", Astana, Kazakhstan, barton.kz@mail.ru

Pavel Dunayev – Cand.Sci. (Eng.), PhD, Associate Professor, Head of Department, NJSC "Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin", Astana, Kazakhstan, dunayev.kz@mail.ru

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_36
MFTAA 55.03.14

Н.А. Камышева¹, А.К. Курманов², У.Б. Хасенов²

¹М. Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті,
E-mail: nata0000@mail.ru*

²«Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғамы, Қостанай қ, Қазақстан
E-mail: kurmanov_ayap@mail.ru
E-mail: kstu-tt@mail.ru

СОҚПАЛЫ-ЦЕНТРДЕН ТЕПКІШ КҮШ АРҚЫЛЫ ӘРЕКЕТ ЕТЕТІН ҰСАҚТАҒЫШТЫҢ ЖҰМЫС ОРГАНДАРЫНА ТИЕСІЛІ КЕЙБІР КОНСТРУКТИВТІ ПАРАМЕТРЛЕРДІҢ ҰСАҚТАУ ПРОЦЕСІНЕ ӘСЕР ЕТУІН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ УДАРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ПРОЦЕСС ДРОБЛЕНИЯ

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SOME DESIGN PARAMETERS OF THE WORKING ENGINES OF AN IMPACT CENTRIFUGAL GRINDER ON THE CRUSHING PROCESS

Аңдатпа. Қазіргі заманғы астық өңдеу өнеркәсібі салаларының, соның ішінде құрама жем өндірісінің, маңызды мәселесі – олардың жоғары энергия сыйымдылығы болып табылады. Құрама жем өндірісі ауыл шаруашылығының маңызды саласы болып табылады, өйткені мал шаруашылығы саласындағы жоғары экономикалық көрсеткіштер жануарлардың рационына байланысты, оның құрамында организмнің қоректік заттарға қажеттілігін толық қанағаттандыратын заттар жиынтығы және белгілі бір гранулометриялық құрамы болуы керек.

Жұмыстың мақсаты – қолданыстағы дәнді және бұршақты ұсақтағыштарды талдау, соқпалы – ортадан тепкіш ұсақтағыштың кейбір параметрлерін есептеу: үдеткіш қалақтардың саны және диск пен барабан арасындағы минималды саңылауды анықтау.

Түйін сөздер: Протеин, ұсақтау, саңылау, қалақ, диск, барабан, энергия сыйымдылығы.

Аннотация. Существенной проблемой отраслей современной зерноперерабатывающей промышленности, включая комбикормовое производство, является их высокая удельная энергоёмкость. Производство комбикормов является важной отраслью сельского хозяйства, так как высокие экономические показатели в животноводческой отрасли зависят от рациона животных, который должен содержать набор веществ, полностью удовлетворяющий потребности организма в питательных веществах, а также иметь определенный гранулометрический состав.

Цель работы – анализ существующих измельчителей зерна и зернобобовых, расчет некоторых параметров ударно-центробежного измельчителя: количество разгонных лопаток и определение минимального зазора между диском и барабаном.

Ключевые слова: Протеин, измельчение, зазор, лопатка, диск, барабан, энергоёмкость.

Abstract. A significant problem in the modern grain processing industry, including feed milling, is their high specific energy intensity. The production of compound feed is an important branch of agriculture, since high economic indicators in the livestock industry depend on the diet of animals, which must contain a set of substances that fully satisfies the body's nutritional needs, and also have a certain granulometric composition. The purpose of the work is to analyze existing grain and legume grinders, to calculate some parameters of an impact-centrifugal grinder: the number of accelerating blades and determining the minimum gap between the disk and the drum.

Keywords: Protein, grinding, gap, blade, disk, drum, energy intensity.

Kipicne. Жануарлардың өнімділігі көбінесе рационның толыққанды протеинмен жеткілікті мөлшерде қамтамасыз етілуіне байланысты болады. Ауыл шаруашылығы жануарларын ғылыми негіздегі азықтандыруды ұйымдастырудағы стратегиялық міндет азықтағы жемдік ақуызды молайту болып саналады, себебі жемшөптегі протеиннің өзгеруі ауыл шаруашылығы жануарларының жағдайына әсер етеді (M.S. Seleem т.б., 2023, M.I. Marcondes, т.б., 2023, M.G. Erickson т.б., 2023).

Өлемдік тәжірибе көрсеткендей, мәселені шешудің ең тиімді бағыты дәнді-бұршақты дақылдарды кеңінен қолдану болып отыр. Бұршақ, люпин, жемдік бұршақты 5-10 % мөлшерінде пайдаланудың оң тәжірибесі сауын сиырларды, мекиен тауықтарды және бройлер балапандарын азықтандыру үшін құрама жем құрылымынан алынған (А. В. Малец, 2023).

Қазіргі таңда осы жемшөп түрлеріне арналған егіс алқаптарының саны өте шектеулі түрде пайдаланылады, алайда бұршақ дақылдарына арналған егіс алқаптарының ұлғаюы, оларды жемшөп шикізаты ретінде мұқият зерттеу жемшөптің қосымша «химиялануына» және импорттық шикізатқа тәуелділікті азайтады.

Жемді ұсақтау әдісі – ауылшаруашылық жануарларын азықтандыруға дайындықтың негізгі әдістерінің бірі. Жануарларды, құстарды азықтандыру ғылымы мен практикасы құрама жем жануардың тағамдық құрамы мен түріне қарай теңдестіріліп қана қоймай, сонымен бірге түйірлердің белгілі бір мөлшеріне ие болуы қажет, өйткені түйірлердің мөлшері жем сапасының маңызды факторларының бірі болып табылады, өйткені ол жемді тұтынуға және асқазанның жұмысына, демек, жануарлардың өнімділігіне әсер етуі мүмкін (M. Naem т.б., 2024, A.M. Lyons т.б., 2022 A.T. Brown т.б., 2023). Кейбір жемшөптердің сипаттамалары 1 кестеде көрсетілген (Н.А. Жазылбеков т.б., 2008).

1-кесте. Кейбір жемшөптердің негізгі сипаттамалары

Жемшөптің түрлері	Ылғалдылық, %	Көлемдік масса, кг/м ³	Тығыздық, г/см ³	Ұсақтау модулі, мм	Үлгідегі түйірлердің мөлшері, %, өлшемі, мм					
					14,6	39,1	29,7	11,0	40,5	0,9
Ірі қара малға арналған құрама жем	9,3	584,0	1,54	1,67	14,6	39,1	29,7	11,0	40,5	0,9
Шошқаларға арналған құрама жем	9,0	539,0	1,54	1,31	10,6	40,5	27,6	14,8	50,5	1,0
Үйректерге арналған құрама жем	9,1	618,0	1,38	1,28	12,9	40,4	24,4	15,1	50,5	1,7

Ескерту – негізінде авторлар құрастырған (Жазылбеков т.б., 2008)

Жемшөп құрамында көп мөлшерде ұсақ тартылған ұн тәрізді фракциялар мен жіңішкелеп ұсақталған астық шикізаттарының болуы жануарлардың ағзасына теріс әсер етеді, тіпті асқазанның әртүрлі ауруларын тудырады (Marx F.O. т.б., 2021). Бұл жағдайда жемшөпті сіңіру тиімділігі 15...18 % төмендейді (Л.С. Султанғалиева., 2013).

Зерттеу материалдары мен әдістері. Ауыл шаруашылығы өндірісінде астық пен бұршақ дақылдарын ұсақтау үшін қолданылатын негізгі машиналар процесті ұйымдастыруы және құрылымдық белгілері бойынша жіктелетін әртүрлі құрылымды ұсақтағыштар болып табылады:

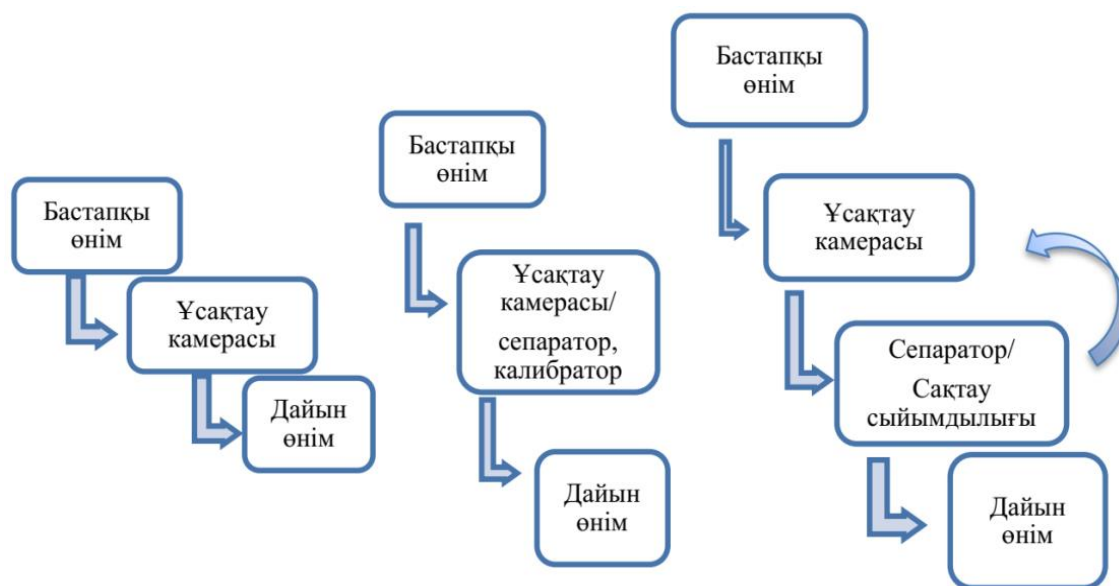
– қызметі бойынша (арнайы, әмбебапты және аралас);

- жұмыс процесін ұйымдастыру принципі бойынша (үлестік және ағындық);
- жұмыс органдарының типі бойынша (диірмен, шар, балға, ортадан тепкіш, ағынды, құйынды, білікшелі, дискілі, конустық және т.б.);
- материалды ұсақтау камерасына беру тәсілі бойынша (өздігінен ағып немесе мәжбүрлеп);
- ұсақтау өнімдерін шығару әдісі бойынша (өздігінен ағу, механикалық немесе пневматикалық тасымалдағышпен).

Ұсақтағыш конструкциялары мынадай түрлерге жіктеледі:

- торсыз;
- торлы;
- әмбебап.

Ұсақтау кезеңдер санының ұлғаюына байланысты технологиялық процесті орындауға жұмсалатын үлестік шығындардың ұлғаюын атап өткен жөн (Смышляев, А.А., 2022).



1-сурет. Ұсақтау этаптарының саны бойынша ұсақтағыштардың түрлері
Ескерту – негізінде автор құрастырған (Смышляев, А.А., 2022)

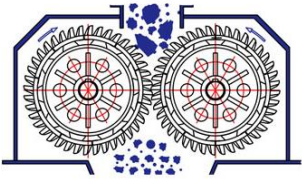
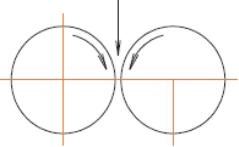
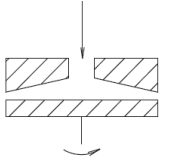
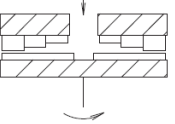
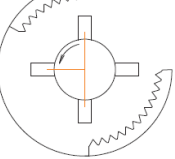
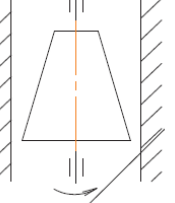
Ұсақтағыштың түрін таңдаған кезде, жалпы артықшылықтарды, кемшіліктерді келесі параметрлер бойынша бағалау маңызды: меншікті өнімділік, энергия және металл сыйымдылығы, алынған өнімнің сапасы (азықтандыру нормаларына сәйкес келетін гранулометриялық құрамын), сенімділік, жұмыс беттерінің тозуға төзімділігі және құрылымның және оның жеке түйіндерінің тиімділігін, сенімділігін анықтайтын басқа параметрлер.

Ұсақтағыштардың басқа да топтасуы бар, мұндағы жұмыс органдары мен өнделетін материал арасындағы өзара әрекеттесуі деген өлшемшарт қолданылады:

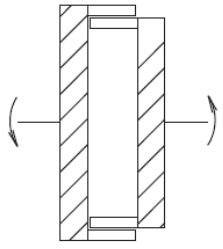
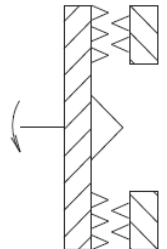
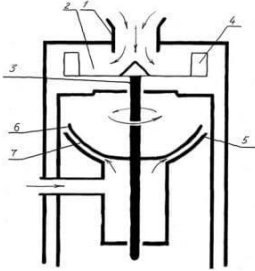
- а) қысу;
- б) кесіп бөлу және кесу;
- в) соққы / шағылысқан соққы;
- г) үгілу.

Ең танымал ұсақтағыштардың талдауы 2-кестеде толығырақ көрсетілген.

2-кесте. Материалға механикалық әсер ету әдісі бойынша астық ұсақтағыштардың негізгі түрлері мен бағалануы

Ұсақтағыштар құрылымы	Ұсақтау әдісі	Артықшылықтары	Кемшіліктері
1	2	3	4
<p>Орамды ұсақтағыш</p> 	Қысу; кесіп бөлу және кесу;	Ұсақтау өнімдерінің жоғары біркелкілігі; Шаңның аз қалыптасуы; Пайдалану қарапайымдылығы мен сенімділігі.	Берік және абразивті материалдарды ұсақтау кезінде біліктердің жұмыс беттерінің қарқынды және біркелкі емес тозуы; Салыстырмалы түрде төмен меншікті өнімділік; Шамадан жоғары меншікті энергия тұтыну
<p>Жаншу станогы</p> 	Қысу	Құрылымның және қызмет көрсетудің қарапайымдылығы, пайдаланудағы сенімділік	Электр энергиясының үлестік шығынының артуы; Жоғары металл сыйымдылығы
<p>Бұрғы диірмені</p> 	Қысу Зақымдау	Ұсақтаудың жоғары деңгейі	Ұсақтау өнімдерінің гранулометриялық құрамының біркелкі болмауы; Шаң фракцияларының айтарлықтай шығымы, электр энергиясының жоғары меншікті шығыны, қызмет көрсетудің күрделілігі
<p>Пышақ диірмені</p> 	Кесу Зақымдау	Төмен меншікті энергия сыйымдылығы; Біркелкі гранулометриялық құрам	Жұмыстағы техника Жұмыс барысындағы қызмет көрсетудің күрделілігі; Жұмыс органдарының төменгі сенімділігі мен беріктігінің нашарлығы
<p>Балғамен ұсақтағыш</p> 	Соққы Үгілу Кесу	Құрылымның қарапайымдылығы; Жоғары өнімділік; Сенімділік; Ықшамдылық	Шаң тәріздес түйірлердің үлкен шығымы бар біркелкі емес фракциялық құрамы, жоғары энергия сыйымдылығы, жоғары металл сыйымдылығы
<p>Конустық ұсақтағыш</p> 	Үгілу Қысу	Құрылымның қарапайымдылығы, жоғары деңгейлі ұсақтау; Қатты және тұтқырлы шикізатты ұсақтауға да жарамды	Жоғары меншікті энергия сыйымдылығы; шикізатты шаң тәрізді тозан қалыптасқанша асыра ұсақтау

2-кестенің соңы

1	2	3	4
<p>Дезинтегратор</p> 	Сокқы Үгілу	Ұсақтаудың жоғары деңгейі	Құрылымның мен қызмет көрсетудің күрделілігі; Үгілу өнімдерінің біркелкі емес фракциялық құрылымы; Жоғары меншікті энергия сыйымдылығы
<p>Дисмембратор</p> 	Сокқы Үгілу	Құрылымның және қызмет көрсетудің қарапайымдылығы	Біркелкі емес ұсақтау; Шаңның қалыптасуы; Жоғары меншікті энергия сыйымдылығы
<p>Сокпалы-центрден тепкіш күш арқылы әрекет ететін ұсақтағыш</p> 	Сокқы/шағ ылысқан сокқы; Үгілу	Өнімділік; Құрылымның және қызмет көрсетудің қарапайымдылығы; Ұсақтаудың жоғары меншікті жылдамдығы	Біркелкі емес ұсақтау; Шаңның қалыптасуы.

Ескерту – автор құрастырған

Бүгінгі таңда, әртүрлі салаларда, материалды аз энергия шығынымен ұсақтайтын сокпалы-ортадан тепкіш күш арқылы әрекет ететін ұсақтағыштарға көбірек қызығушылық танытуда (Воронин В.В., 2022, Шатохин В.М., 2012, Курманов А.К., 2020, Абалихин А.М., 2018).

Олардың өзіне тән сипаттамалық ерекшелігі – қалақты ротордың (үдеткіш) бетінен, инерцияның ортадан тепкіш күштердің әсерінен, шектік қирау жылдамдығынан едәуір асатын үдеумен материал екпіндеп ұшып, кейін қозғалмайтын деканың бетіне немесе басқа қозғалатын тосқауылға соғылумен орындалатын жұмыс процесі.

Құрылымы бойынша олар бір және бірнеше, вертикаль немесе горизонталь орналасқан айналу осьтерінде бір роторлы немесе көп роторлы болуы мүмкін.

Кез келген сокпалы-ортадан тепкіш күш арқылы әрекет ететін ұсақтағышты аналитикалық зерттеудің маңызды міндеті – ұсақтағыштың айналу жиілігіне байланысты үдеткіш ротордан шыққан кезде материалдың жылдамдығы мен бағытын анықтау. Сокқының қирату күші аталған параметрлерге байланысты.

Бұл мәселені шешудің бірден бір әдісі – дәндер траекториясының әртүрлілігін (бұзылған және бұзылмаған) ескере отырып, материалды аралық бөлуді қолдану мүмкіндігінің болуы.

Авторлар вертикалды осьте орналасқан қарама-қарсы айналмалы роторлары бар үш роторлы типтегі соқпалы-ортадан тепкіш ұсақтағышты негіздеді (Ляпин В.В., 2007).

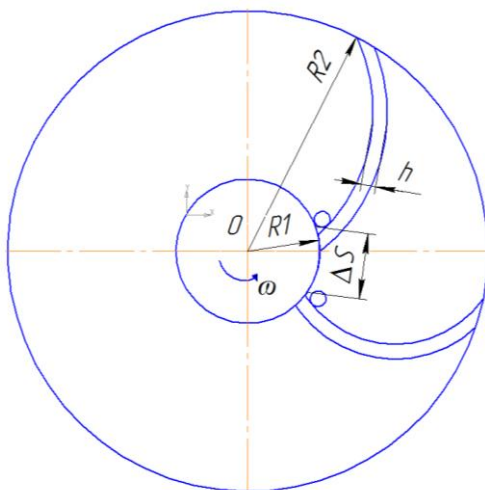
Сондай-ақ, соқпалы-ортадан тепкіш үш сатылы ұсақтағыштың конструктивті шешімі қызығушылық тудырады, мұндағы жұмыс сенімділігін арттыру үшін сепаратор ұсақтау аймағынан шығарылды. Гравитациялық күштердің әсерінен бөлінген ұсақталған материал гравитациялық күштердің әсерінен беттердің үстімен қозғалады (Ляпин В.В., 2007).

Авторлар дәлелдегендей (Шатохин В.М., 2012), түзу сызықты қалақтың бұрышы және үйкеліс күшінің максималды жоғарылауымен түйірдің түсу жылдамдығының төмендеуі 17 % тен, қисық сызықты қалақ үшін тек 6 % болады. Атап айтқанда, ротордың қабылданған айналу жиілігі үшін түйірдің тасымалданатын жылдамдық модулі салыстырмалы модульден екі есе дерлік асып түсетіндігіне байланысты.

Соқпалы – ортадан тепкіш ұсақтағыштардағы дәндердің қирау процесін зерттеуге қатысты жұмыстарды талдағанда, ұсақтау процесін жетілдіру негізінен дискідегі үдеткіш қалақтардың шағылысатын органдардың бетіне ең жоғары жылдамдықпен астықтың тікелей соққысын қамтамасыз ету арқылы жүзеге асырылатынын байқауға болады. Ұсақтағыштың корпусына немесе декасына соғылған кезде дәннің сыртқы бетінің өсуінің негізгі факторларға тәуелділігін анықтайтын математикалық модель: шабуыл бұрышы, ұсақтағыштың қалақшасынан түйірдің ұшып шығу жылдамдығы, кейін соқпалы-ортадан тепкіш ұсақтағыштың оңтайлы құрылымдық-режимдік параметрлерін одан әрі анықтауға мүмкіндік беретінін біз бұрын анықтадық (Курманов А.К., Камышева Н.А., 2020). Бұл жұмыс барысында біз қалақтардың санын және диск пен ұсақтағыш барабанының арасындағы минималды сағылауын есептедік.

Материал түйірінің қалақ арасындағы кеңістікке, жұмыс органдарының арасына, яғни қалақ бетінен түйірдің, дәлірек айтқанда, қалақтың ішкі радиусына сәйкес келетін ($S=R1$) қашықтыққа ұшып кету шартынан СОҰ дискісіндегі қалақтардың санын есептеп анықтауға болады (Абалихин А.М., 2018).

Түйірдің (бұршақ дәні) құрылғының жүктеме аузынан жұмыс дискісінің ортасына түскені 2-суретте көрсетілген.



2-сурет. Қалақтардың оңтайлы санын анықтау

Ескерту – автор құрастырған

Түйірдің үдеткіш қалақтар арасындағы кеңістікке ену уақытының шамасын қозғалыс теңдеуіне сүйене отырып табуға болады:

$$S(t) = \vartheta_{0t} + \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

мұндағы, ϑ_{0t} – түйірдің бастапқы жылдамдығы, м/с; g – еркін түсу үдеуі, м/с²; t – түйірдің қозғалу уақыты, с.

Түйірдің бастапқы жылдамдығы нөлге тең (ϑ_{0t}) деп қабылдаймыз. Олай болса, түйірдің шеңбер доғасы бойымен 0 нүктеден А нүктесіне орын ауыстыру уақытының мәні келесідей болады:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2S}{g}} \quad (2)$$

Кейін, түйір өз салмағының әсерінен біршама қашықтыққа жылжып кетеді, ол қашықтық ротор осінен үдеткіш қалақтардың жоғарғы беттеріне дейінгі қашықтықтардың қосындысына түйірдің эквивалентті диаметрін қосқанда табылады:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(R+d_{\text{э}})}{g}} \quad (3)$$

мұндағы, d – түйірдің эквивалентті диаметрі, м.

Осылайша, t_2 және t_1 айырмашылығы ретінде СОҰ қалақтары арасындағы кеңістікке түйірдің ену уақытын табуға болады. Бұл уақытты Δt деп белгілейміз:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2(R+d_{\text{экв}})}{g}} - \sqrt{\frac{2S}{g}} \quad (4)$$

Қалақтар арасындағы доғаның ұзындығын t уақыт аралығындағы қалақтың ΔS орын ауыстыру қашықтығы ретінде анықтайық:

$$\Delta S = \frac{L}{z} \quad (5)$$

мұндағы, L – шеңбер ұзындығы, м; z – үдеткіш пышақтардың саны, дана.

Шеңбердің ұзындығын формула бойынша анықтауға болады:

$$L = 2\pi R_1 \quad (6)$$

мұндағы R_1 – үдеткіш қалақтардың ішкі беттерінің айналу радиусы, м.

Үдеткіш қалақтардың ені мен санын ескере отырып, формула келесідей түрге ие болады:

$$\Delta L = \frac{2\pi R_1 - b \cdot z}{z} = \frac{2\pi R_1}{z} - b \quad (7)$$

мұндағы, b – қалақтың ені, м.

Сонымен, үдеткіш қалақтардың ішкі беттерінің бұрыштық жылдамдығы мен айналу радиусының R_1 берілген шамаларында үдеткіш қалақтың ΔL қашықтыққа орын ауыстырған уақытын келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$t = \frac{\Delta L}{\omega \cdot R_1} \quad (8)$$

мұндағы, ω – бұрыштық жылдамдық, айн/мин.

СОҰ білігінің айналу жылдамдығы арқылы бұрыштық жылдамдықты көрсетеміз:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (9)$$

мұндағы, n – жетек білігінің айналу жиілігі, айн/мин.

Демек:

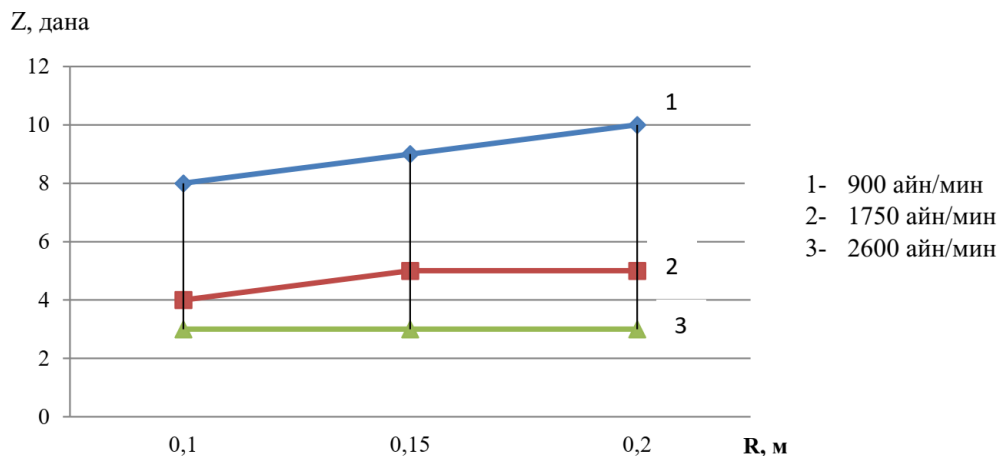
$$\Delta t = \frac{60 \left(\frac{2\pi R_1}{z} - b \right)}{2\pi n \cdot R_1} \quad (10)$$

Бұдан, қалақтардың санын келесідей анықтауға болады:

$$z = 60 \cdot 2\pi R / \frac{2\pi n}{60} R \Delta t + k \quad (11)$$

Өрнек мәнін жеңілдету арқылы, бұрыштық жылдамдық ω және айналу радиусының берілген шамаларында СОҰ дискісіндегі жұмыс үдеткіш қалақтардың қажетті санын есептеу үшін өрнектің келесі түрін аламыз:

$$z = 2\pi R \sqrt{g/60\pi R n (\sqrt{2(R + d_{\text{ЭКВ}})} - \sqrt{2R})} + k \sqrt{g} \quad (12)$$



3-сурет. Бұрыштық жылдамдық және айналу радиусының берілген шамаларында СОҰ дискісіндегі үдеткіш қалақтар санының тәуелділігі

Ескерту – автор құрастырған

Қалақтардың саны шексіз болуы мүмкін емес. Доңғалақ қалақтар санының артуымен қарсылықтың жоғарылауымен және қалақ арасындағы кеңістіктің бітелуімен байланысты екенін ескеру керек, біз қалақтар санын шектеу шартын көрсетеміз (Абалихин А.М., т.б., 2018):

$$z \leq \frac{\pi D_0}{d_3 + \delta} \quad (13)$$

мұндағы δ – қалақтың қалыңдығы, м; D_0 – үдеткіш дискінің диаметрі, м; d_3 – дискіге түсетін түйірдің эквивалентті диаметрі, м.

Аталған өнімділік көрсеткіштеріне, энергия шығынына, сондай-ақ ұсақтау модуліне әсер ететін маңызды факторлардың бірі – ротор дискісі мен статор дискісі арасындағы h_n саңылауының мөлшері. Ұсақтағышта h_n саңылауының мөлшері 0,65...4,0 мм аралығында өзгереді.

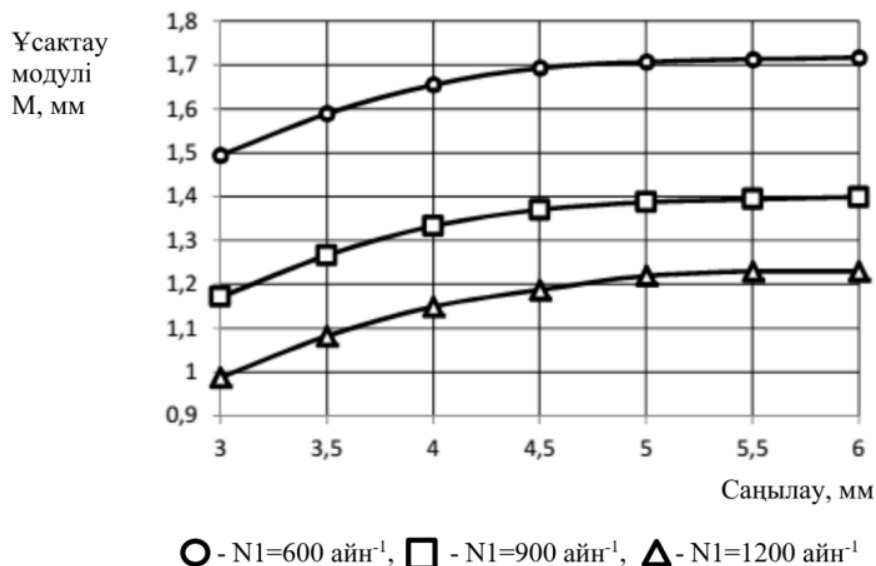
Теориялық және эксперименттік деректерді талдауы көрсеткендей h_n саңылауы мен дөңді дақылдарды ұсақтау модулі арасындағы өзара байланысын практикалық талдау үшін жеткілікті дәлдігімен екінші ретті полином көмегімен сипаттауға болады:

$$M = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 \quad (14)$$

мұндағы M – ұсақтау модулі, мм; h – диск пен ұсақтағыштың барабаны арасындағы саңылау, мм; a_0, a_1, a_2 – ұсақталған материалдың есептік коэффициенттері.

Яғни, регрессивті талдау жүргізу кезінде эксперименттік деректердің нәтижелерімен өрнекке алмастыру арқылы алынған параметрлердің есептік мәндерінің алшақтығы 5,0 %-дан аспады.

В.А. Федоровтың қатысымен эксперименттер нәтижесінде (Федоров В.А., 2000) келесі график алынды (4-сурет).



4-сурет. Ұсақтағыш дискі мен корпус арасындағы саңылауға ұсақтау модулінің тәуелділігі
Ескерту – автор құрастырған

Саңылауды 2 мм-ден аз мөлшерге дейін азайтудың еш мәні жоқ. Ротор мен статордың жазықтықтары арасындағы саңылаудың артуы ұсақтау модулінің ұлғаюына және өнімділіктің жоғарылуына әкеледі, ал жарма жемді дайындаудың энергия сыйымдылығы өз кезегінде төмендегенін байқаймыз.

Бұл заңдылық барлық дәнді дақылдарды ұсақтау кезінде байқалады.

Максималды саңылау кез-келген ұсақталған дақылдың минималды мөлшерінен аз орнатылады, бұл бүтін дәндердің жарма жемге енуіне жол бермейді. 4 суретке сәйкес, өнімнің 1,31 мм ұсақтау дәрежесін алу үшін - диск пен барабан арасындағы ең аз саңылау 3,5-4 мм болуы керек.

Қорытынды. Аталған мәселедегі түрлі тәсілдер мен бағыттарды талдай отырып, бірде-бір теория, энергетикалық, толқындық, жарықтардың пайда болуы мен даму теориясы және т.б. дәннің қирау процесін және энергия шығыны мен сыни жылдамдықтың жеткілікті дәл және қарапайым тәуелділіктерін толық және нақты сипаттай алмайтындығын атап өтуге болады.

Бұл дәннің сызықтық емес ерекшелігі сипатталатын анизотропты түрлері бар биологиялық материал екендігіне байланысты.

Дәннің бұл сипаты әртүрлі факторларға байланысты: дақыл түрі, сұрып, ылғалдылығы, егін жинау орны және т.б.

Демек, мәселені шешу үшін теориялық алғышарттарды эксперименттер кезінде алынған нәтижелермен оңтайлы үйлестіру қажет.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- A.M. Lyons, C.M. Poholsky, L.S. Erb, P.H. Patterson, J.W. Boney (2023). Hammermill screen selection for soybean processing: effects of soybean meal particle size on amino acid digestibility, feed milling efficiency, and D1-42 broiler performance, *Journal of Applied Poultry Research*, Volume 32, Issue 1, 1082-1094. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100325>.
- A.T. Brown, M.J. Alvarenga, M.E. Lemons, C.D. McDaniel, J.S. Moritz, K.G.S. Wamsley (2023). Determining the average particle size consumed (APSC) between two genetic strains (GS) receiving starter diets varying in feed form (FF) and feed quality (FQ), *Journal of Applied Poultry Research*, Volume 32, Issue 2, 2033-2048. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100336>.
- Marx F.O., Massuquetto A., Bassi L.S., Krabbe E.L., Rocha C. Oliveira S.G., Maiorka A. (2021) Different soybean meal particle sizes on growth performance, nutrient ileal digestibility, digestible energy, and carcass yield of broiler chickens. *Livestock Science*, Volume 247, <https://doi.org/10.1016/j.livsci.104467>, 1568-1582
- M.I. Marcondes, F.P. Provazi, T. Silvestre, A.L. Silva, S.C. Valadares Filho, M.M. Campos, F.S. Machado, P.P. Rotta (2023). Protein requirements for pregnant dairy cows, *Journal of Dairy Science*, Volume 106, Issue 12, 8821-8834. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23321>.
- M.G. Erickson, G.I. Zanton, M.A. Wattiaux (2023). Dynamic lactation responses to dietary crude protein oscillation in diets adequate and deficient in metabolizable protein in Holstein cows, *Journal of Dairy Science*, Volume 106, Issue 12, 8774-8786. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23603>.
- M. Naeem, M.R. Bedford, E.J. Burton, M.R. Azhar (2024). Investigating the effect of pelleting on the particle size of commercial poultry feeds: a case study, *Journal of Applied Poultry Research*, Volume 33, Issue 1, 6872-6889 <https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100390>.
- M.S. Seleem, Z.H. Wu, C.Q. Xing, Y. Zhang, M.D. Hanigan, D.P. Bu (2024). Effects of rumen-encapsulated methionine and lysine supplementation and low dietary protein on nitrogen efficiency and lactation performance of dairy cows, *Journal of Dairy Science*, Volume 107, Issue 4, 2087-2099. <https://doi.org/10.3168/jds>.
- Абалихин А.М., Крупин А.В., Боброва Т.С. (2018). Определение геометрических параметров ударных элементов ударноцентробежного измельчителя. *Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 85-летию Ивановской государственной сельскохозяйственной академии имени Д.К. Беляева*, 62-70. DOI 10.35523/2307-5872-2020-31-2-62-70// Abalihin A.M., Krupin A.V., Bobrova T.S. (2018). Opredelenie geometricheskikh parametrov udarnykh jelementov udarnocentrobezhnogo izmel'chitelja. *Agrarnaja nauka v uslovijah modernizacii i innovacionnogo razvitija APK Rossii: materialy Vserossijskoj nauchno-metodicheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 85-letiju Ivanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii imeni D.K. Beljaeva*, 62-70. DOI 10.35523/2307-5872-2020-31-2-62-70
- Воронин, В. В. (2022) Пути развития ударно-центробежных измельчителей зерна. Прикладные вопросы физики (к 120-летию со дня рождения академиком И.В. Курчатова и А.П. Александрова): материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 26-32// Voronin, V. V. (2022) Puti razvitija udarno-centrobezhnyh izmel'chitelej zerna. *Prikladnye voprosy fiziki (k 120-letiju so dnja rozhdenija akademikov I.V. Kurchatova i A.P. Aleksandrova): materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii*. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 26-32.
- Маслюк А.Н. (2023). Нормированное кормление животных при интенсивных технологиях. Учебное пособие для вузов. 2 изд. Стер.-Санкт-петербург: Лань// Masljuk A.N. (2023). Normirovannoe kormlenie zhivotnyh pri intensivnyh tehnologijah. *Uchebnoe posobie dlja vuzov*. 2 izd. Ster.-Sankt-peterburg, 253-262
- Искендеров, Р.Р. (2017) Повышение эффективности процесса измельчения зерновых материалов в горизонтальной роторной дробилке: дисс.канд. техн.наук: 05.20.01- Ставрополь - 190с.// Iskenderov, R.R. (2017) Povyshenie jeffektivnosti processa izmel'chenija zernovykh materialov v gorizonta'lnoj rotornoj drobilke: diss.kand. tehn.nauk: 05.20.01- Stavropol' - 190s.
- Курманов, А.К., Камышева Н.А. (2020) Математическая модель процесса дробления зерна в измельчителе ударно-центробежного типа. *Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева*. № 4, 131-135. – DOI 10.51885/15614212_2020_4_131// Kurmanov, A. K., Kamysheva N.A. (2020) Matematicheskaja model' processa droblenija zerna v izmel'chitele udarno-centrobezhnogo tipa. *Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. D. Serikbaeva*. № 4, 131-135. – DOI 10.51885/15614212_2020_4_131

- Малец А.В. (2023). Нетрадиционные местные корма – альтернатива импортным источникам протеина.. Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса : материалы республиканской научно-практической конференции. Беларусь агроенеркэсіптік апталығы БЕЛАГРО-2023, 112-118// Malec A. V. (2023). Netradicijonnyje mestnyje korma – al'ternativa importnym istochnikam proteina.. Agrarnoe obrazovanie i nauka dlja agropromyshlennogo kompleksa : materialy respublikanskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Belarus' agroenerkəsipтік aptalyғы BELAGRO-2023, 112-118
- Ляпин, В.В. (2007). Измельчитель фуражного зерна ударно-центробежного типа. Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение: Межвузовский сборник науч. тр. – Вып. 3., 95-99// Ljapin, V.V. (2007). Izmel'chitel' furazhnogo zerna udarno-centrobezhnogo tipa. Pripodopol'zovanie: resursy, tehničeskoe obespечenie: Mezhvuzovckij sbornik nauch. tr. – Vyp. 3., 95-99
- Султангалиева Л.С. (2013) Развитие конкурентоспособности отрасли мясного животноводства Республики Казахстан Алматинский технологический университет, Республика Казахстан, г. Алматы, Вестник КазНУ. Серия экономическая №4, 93-100// Sultangalieva L.S. (2013) Razvitie konkurentosposobnosti otrasli mjasnogo zhivotnovodstva Respubliki Kazahstan Almatinskij tehnologičeskij universitet, Respublika Kazahstan, g. Almaty, Vestnik KazNU. Serija jekonomičeskaja №4, 93-100
- Смышляев, А. А. (2022). Исследование ударно-центробежного измельчителя. Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : Материалы международной научно-практической конференции, Том Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 81-86// Smyshljaev, A. A. (2022). Issledovanie udarno-centrobezhnogo izmel'chitelja. Tendencii razvitija tehničeskix sredstv i tehnologij v APK : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Tom Chast' I. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 81-86
- Шатохин, В. М. (2012) Оптимальные траектории движения точки, перемещающейся под действием центробежной силы инерции. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Т. 4, № 7(58), 9-14// Shatohin, V. M. (2012) Optimal'nye traektorii dvizhenija točki, peremeshhajushhejsja pod dejstviem centrobezhnoj sily inercii. Vostočno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. T. 4, № 7(58), 9-14.
- Федоров В.А. (2000). Разработка и обоснование основных параметров центробежного дискового измельчителя фуражного зерна. Автореферат диссертации по процессам и машинам агроинженерных систем – Челябинск, 24 с. // Fedorov V.A. (2000). Razrabotka i obosnovanie osnovnyh parametrov centrobezhnogo diskovogo izmel'chitelja furazhnogo zerna. Avtoreferat dissertacii po processam i mashinam agroinženernyx sistem – Cheljabinsk. – 24 s.

Information about authors

Kamysheva Natalya Alexeevna – Master of Engineering Science, Kostanay engineering and economics university named after M.Dulatov, Kostanay city, The Republic of Kazakhstan, nata00000@mail.ru, +77475126855

Kurmanov Ayap Konlyamzhayevich – Non-profit Joint Stock Company «Costa-nai Regional University named after Akhmet Baitursynuly», Kostanay, Republic of Kazakhstan, kurmanov_ayap@mail.ru, +77773752361

Khassenov U.B. – doktor PhD, Senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering, Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly, Kostanay, Republic of Kazakhstan kstu-tt@mail.ru, +7-700-687-40-74

ЭНЕРГЕТИКА
ЭНЕРГЕТИКА
ENERGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_47
MFTAA 45.03.07

А.А. Кунапьянова¹, Н.В. Прохоренкова², А.А. Сарсенова³, Г.А. Ахмадиева⁴
Д. Серікбаев атындағы атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

¹E-mail: 18aray85@gmail.com*

²E-mail: nadin_kaz@mail.ru

³E-mail: ASarsenova75@mail.ru

⁴E-mail: ahmadievaga-0402@mail.ru

MS EXCEL ЖӘНЕ MULTISIM БАҒДАРЛАМАЛАРЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП КҮРДЕЛІ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНЫХ ОБЕСПЕЧЕНИИ MS EXCEL И MULTISIM

RESEARCH OF COMPLEX ELECTRICAL CIRCUITS USING MS EXCEL AND MULTISIM SOFTWARE

Аңдатпа. Қазіргі таңда компьютерлік технологиялардың дамуы білім беру саласында да маңызды орын алады. Техникалық мамандық даярлайтын жоғары оқу орындарында әдетте тәжірибелік сабақтарда есептеулер қолмен жүргізіліп, оқытушымен тексеріледі. Бұны дәстүрлі оқыту үрдісіне жатқызамыз. Бұл үрдісте адами фактор үлкен роль атқарады. Мәселен, күрделі электр тізбегіне есептеу жүргізу барысында қателер кету ықтималдығы жоғары. Ол қателерді тексеріп, сараптауға да уақыт талап етіледі. Келтірілген мақалада танымал MS EXCEL және MULTISIM бағдарламалық жасақтамасын кешенді түрде оңтайлы қолдана отырып, бұл мәселені «өзін өзі тексеру» бейімінде шешуге мүмкіндік бар екендігі көрсетіледі. Мақалада электр техникасында жиі кездесетін айнымалы ток тізбектері мен өтпелі үрдістерді есептеу қарастырылады. Электр тізбектерін талдау барысында аталмыш бағдарламалардың артықшылығына аса назар аударылады. Нәтижесінде, студент есептің шешімін бір бағдарлама көмегімен есептеп, екінші бағдарлама көмегімен тексеру арқылы өз қатесін анықтай алады. Мұндай оқыту әдісінде оқытушы есептеу үрдісіне толығымен араласпайды, тек бақылаушы ролін атқара отырып, студентті «өзін өзі тексеру» әдісіне бейімдейді.

Түйін сөздер: электртехникасы; электр тізбегі; MS EXCEL; MULTISIM; сызықтық теңдеулер жүйесі.

Аннотация. В настоящее время развитие компьютерных технологий занимает важное место и в сфере образования. В технических высших учебных заведениях обычно на практических занятиях расчеты производятся вручную и проверяются преподавателем. Это относится к традиционному процессу обучения. Большую роль в этом процессе играет человеческий фактор. Например, при проведении расчетов сложных электрических цепей вероятность допущены ошибок очень высока. Так же требуется определенное время на проверку ошибок. В приведенной статье доказывається, что при оптимальном комплексном использовании популярных программных обеспечении таких как MS EXCEL и MULTISIM есть возможность решить эту проблему, получая навык «самопроверки». В статье в качестве примера рассматривается расчет цепей переменного тока и переходных процессов, которые часто рассматриваются в электротехнике. При анализе электрических цепей особое внимание уделяется преимуществам данных программ. В результате студент может рассчитать задачу с помощью одной программы и проверить результаты расчета другой программой. При таком методе обучения преподаватель не полностью вмешивается в процесс расчета, а лишь адаптирует студента к методу «самопроверки», выполняя роль наблюдателя.

Ключевые слова: электротехника; электрическая цепь; MS excel; MULTISIM; система линейных уравнений.

Annotation. Currently, the development of computer technology occupies an important place in the field of education. In technical higher educational institutions, calculations are usually performed manually in practical classes and checked by a teacher. This applies to the traditional learning process. The human factor plays an important role in this process. For example, when calculating complex electrical circuits, the probability of errors is very high. It also takes some time to check for errors. The article proves that with optimal integrated use of popular software such as MS EXCEL and MULTISIM, it is possible to solve this problem by gaining the skill of "self-checking". The article considers as an example the calculation of alternating current circuits and transients, which are often considered in electrical engineering. When analyzing electrical circuits, special attention is paid to the advantages of these programs. As a result, the student can calculate the task using one program and check the calculation results with another program. With this method of teaching, the teacher does not fully interfere in the calculation process, but only adapts the student to the method of "self-checking", acting as an observer.

Keywords: electrical engineering; electrical circuit; MS excel; MULTISIM; system of linear equations.

Kipicne. Жасанды интеллекттің дамуы барысында кез келген ғылыми практикалық есептеулер жүргізу үшін зерделенетін объектінің түп нұсқасы да қажет емес болып қалады. Себебі, инженерлік саланы танудың көптеген нұсқалары белгілі. Оның бірі – модельдеу. Модель дегеніміз нақты объектіні алмастыратын жасанды объект, мысалы виртуалды зертханалар және математикалық моделдеу. Электр техникасында кең қолданыс тапқан модельдеуге Mathcad, Electronics Workbench және Multisim сияқты бағдарламалар жатқызылады (Букреев, 2019). Техникада модельдеу ретінде зерттелетін техникалық қондырғыны немесе үрдісті сәйкесінше виртуалды модельдеумен алмастыруды айтады (Semenov, 2016).

Қазіргі таңда электронды кестелер ғылыми, инженерлік және оқу саласында маңызды білім құралы болып саналады. Мысалы, MS EXCEL электронды кестелері қолданыста қарапайым әрі функционалды, өте кең көлемдегі есептеу мүмкіндігіне ие бағдарлама ретінде танылған (Орлов, 2018). Көптеген заманауи зертханалар да виртуалды нұсқаларына көшірілген. Мысалы, Берклидегі Калифорниялық университетте SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) электронды симуляторы жобаланған, ал MULTISIM электр тізбектерін модельдеу көпке қол жетімді симулятор болып табылады. MULTISIM – National Instruments Inc. компаниясында өндірілетін SPICE негізіндегі симулятор (Баэс-Лопес & Герреро-Кастро, 2022).

Материалдар және зерттеу әдістері. Мақаланың зерттеу объектісі ретінде «Электр энергетикасы» мамандығы бойынша оқитын студенттерге арналған «Электртехникасының теориялық негіздері» пәнінде қарастырылатын есептік графикалық жұмыстан мысал алынады. Яғни, айнымалы үш фазалы электр тізбегі мен күрделі тұрақты ток тізбегінің өтпелі үрдісін қарастырамыз. Электр тізбектерін MS Excel және Multisim көмегімен кешенді зерттеулер жүргізіледі. Нәтижелері есептеу қателіктерін сараптау мақсатында салыстырылады.

Кез келген электр жүйесін немесе электр тізбегін есептеу барысында берілген мәліметтерді өңдеу және сараптау құралы ретінде MS Excel бағдарламасын қолдану тиімді болып табылады. Мысалы, құрамында бірнеше қорек көзі бар және бірнеше контурдан тұратын күрделі тізбектердің негізгі параметрлерін Кирхгоф заңдарын қолдана отырып анықтау үшін көп уақытты талап ететін сызықтық дендеулер жүйесін есептеу қажет болады, дегенмен, қолмен есептеу барысында адами факторларға байланысты көптеген математикалық қателіктер жіберіледі. Айнымалы ток тізбектерін есептеу барысында да параметрлердің активті реактивті құраушыларын қатар алып жүру мақсатында комплекстік сандармен жұмыстар жүргізіледі. Осындай күрделі есептеу мәселелерін MS EXCEL бағдарламасы көмегімен шешуге болады. Яғни теңдеулер жүйесі матрица көмегімен шешіледі. Бұл әдіс есептеу сипатындағы қателіктерді толығымен жояды және уақыт үнемдейді (Калайдо, 2019). Графиктік тұрғыда MS EXCEL көмегімен

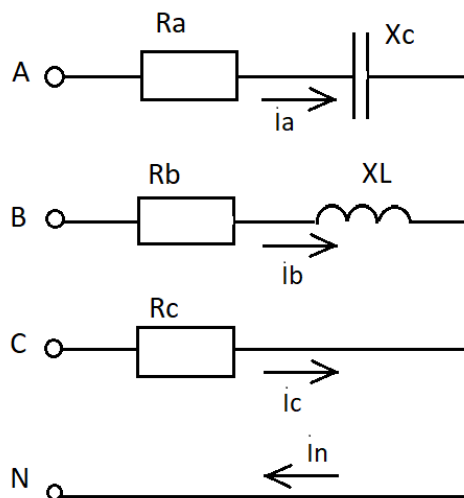
жиілік және вольт амперлік сипаттамаларды тұрғызып, магниттеу қисықтарын және басқа да тәуелділіктерді көрсете аламыз (Мамыров, 2021).

Күрделі электр тізбегін есептеу барысында Кирхгоф заңдары бойынша теңдеулер жүйесі құрылып, әдетте Крамер немесе кері матрица әдістерімен анықталады. Құрылған сызықты алгебралық теңдеулер жүйесі дегеніміз жүйедегі әр теңдеуі бірінші дәрежелі сызықты алгебралық теңдеу болып табылатын жүйе (Баянов, 2021).

Танымал MULTISIM бағдарламасына келетін болсақ, ол мүмкіндіктері өте жоғары әрі қолданыста қарапайым симулятор. Кез келген электр тізбегін модельдеу барысында тізбектің қажетті параметрлерін балама-бақылау өлшеу құралдары көмегімен өлшеуге болады. Айнымалы ток тізбегі үшін бір жазықтықта бір немесе бірнеше тәуелділік графиктерін тұрғызуға мүмкіндіктер бар (Хернитер, 2022; Zia & Rashid, 2021).

MULTISIM бағдарламасының кітапханалық қоры, индикатор, вольтметр, амперметр, ваттметр және мультиметр, осциллографтар, сигнал генераторлары, логикалық түрлендіргіштер сияқты әртүрлі сынақ құралдары бар интерфейс (Li et al., 2020). Сондықтан, бұл бағдарлама электртехникасында ғана емес, басқа да күрделі жүйелерге анализ жасау үшін қолайлы болып табылады. MULTISIM бағдарламасынан алынған нәтижелерді ары қарай сараптау мақсатында MS EXCEL бағдарламасына автоматты түрде көшіруге болатындығы тәуелділік графиктерін тұрғызуға мүмкіндік береді.

Нәтижелері және оларды талқылау. Айнымалы ток тізбегіндегі үш фазалы жүйеге сараптама жүргізілді. Айнымалы ток тізбегінде қарастырылатын параметрлердің актив және реактив құраушылары болғандықтан, есептеу барысында осы екі құраушыны қатар алып жүру мақсатында комплексті сандарды қолдану тиімді болып саналады. Мысалы, комплексті санның нақты бөлігін актив құраушымен, ал жорамал бөлігін реактив құраушымен алмастыра аламыз (Жунусакунова, 2020; Hacker, 2020).



1-сурет. Үш фазалы электр тізбегі

Ескерту – автормен құрастырылған

1-суретте келтірілген үш фазалы электр тізбегі үшін қорек көзінің кернеуі немесе ЭҚК және әртүрлі сипаттағы жүктеме кедергілері беріледі. Бейтарап сым тогы мен жүктеменің фазалық токтарын комплекстік сандар көмегімен анықтау қажет. Есептеу барысы MS EXCEL бағдарламасында өтеді. Шыққан нәтижені MULTISIM электр тізбегін модельдеу симуляторы көмегімен тексеру жүргіземіз.

Берілген есептеуге келетін болсақ, әр фазаның ЭҚК-і 220 В-қа тең. Сәйкесінше, әр фазаның өзара ығысу бұрышы 120°С құрайтынын ескере отырып, ЭҚК мәндерін комплекстік түрде жазып шығамыз:

$$\begin{aligned} \dot{E}_A &= 220e^{j0^\circ} = 220, \text{ В} \\ \dot{E}_B &= 220e^{-j120^\circ} = -110 - 190,53j, \text{ В} \\ \dot{E}_C &= 220e^{j120^\circ} = -110 + 190,53j, \text{ В} \end{aligned}$$

Фаза жүктемелерінің кедергілері комплекстік түрде берілген:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_A &= 75 - 50j \text{ Ом} \\ \underline{Z}_B &= 100 + 50j \text{ Ом} \\ \underline{Z}_C &= 100 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Бейтарап сым мен фаза токтарын анықтау:

$$\dot{I}_\phi = \frac{\dot{U}_\phi}{\underline{Z}_\phi} \tag{1}$$

$$\dot{U}_\phi = \dot{E}_\phi \tag{2}$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \tag{3}$$

MS EXCEL көмегімен барлық параметрлердің комплекстік және әсерлік мәндерін; фазалар арасындағы ығысу бұрыштарын градус немесе радиан өлшем бірліктерінде көрсетуге болады.

Мұндай тізбектің есебі MS Excel бағдарламасының КОМПЛЕКСН, МНИМ.ДЕЛ, МНИМ.СУММ, МНИМ.ABS, МНИМ.AРГУМЕНТ, МНИМ.ПРОИЗВЕД функцияларымен жүргізіледі.

2-суретте берілген үш фазалы сұлбаның негізгі параметрлерін есептеу бойынша MS EXCEL жұмыс парақшасы келтіріледі. Егер есептеу комплекстік түрде жүргізілсе, белгіленген ұяшықтарға бастапқы мәліметтер КОМПЛЕКС функциясының көмегімен комплекстік сандардың нақты және жорамал бөліктерін ескере отырып енгізілуі тиіс. Есептеу барысында қолданылған формулалардың барлығы 3-суретте көрсетілген.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Комплекстік сандар көмегімен электр тізбектерін есептеу														
2															
3	ЭҚК			Жүктеме кедергісі									Нейтраль өткізгіштегі ток		
4															
5	Ea	220	B	Za	75-50j	Ом	Ia	2,03076923076923+1,35384615384615j				A	IN	-0,711230j	A
6	Eв	-110-190,5j	B	Zb	100+50j	Ом	Ib	-1,642-1,084j				A			
7	Eс	-110+190,5j	B	Zc	100	Ом	Ic	-1,1+1,905j				A			
8															
9	Шамалардың нақты мәндері														
10	Ea	220	B	Za	90,13878	Ом	Ia	2,4406809				A	IN	2,288188	A
11	Eв	219,9778398	B	Zb	111,8034	Ом	Ib	1,9675416				A			
12	Eс	219,9778398	B	Zc	100	Ом	Ic	2,1997784				A			
13															
14	Фазалардың ығысуы														
15	генераторлар				жүктемелер			фаза тогы мен кернеуі арасындағы ығысу бұрышы							
16	фа	0	рад		-0,588	рад		0,5880026	рад					1,886859	рад
17	фв	-2,09445326	рад		0,463648	рад		-2,5581009	рад						
18	фс	2,094453265	рад		0	рад		2,0944533	рад						
19															
20															
21	фа	0	°		-33,6901	°		33,690068	°					108,1091	°
22	фв	-120,003332	°		26,56505	°		-146,56838	°						
23	фс	120,0033325	°		0	°		120,00333	°						
24															

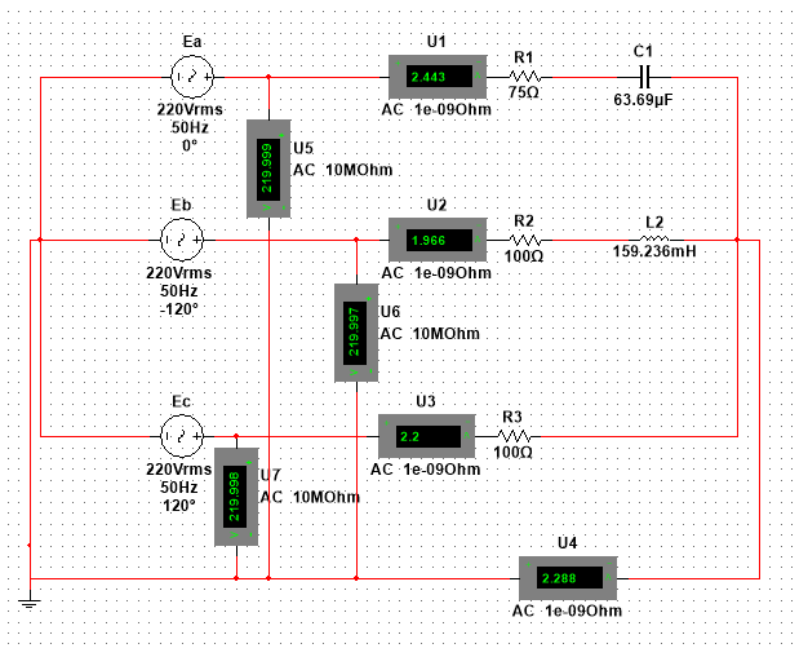
2-сурет. Үш фазалы жүйенің параметрлерін есептеу кезіндегі MS EXCEL парақшасы
Ескерту – автормен құрастырылған

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Комплекстік сандар									
2										
3	ЭҚК									
4				Жүйеге кедергісі						
5	Ea	=КОМПЛЕКСН(220;0;"")	B	Za	=КОМПЛЕКСН(75;5	Om	Ia	=МНИМ.ДЕЛ(B5;E5)		
6	Eb	=КОМПЛЕКСН(-110;190,5;"")	B	Zb	=КОМПЛЕКСН(100;5	Om	Ib	=МНИМ.ДЕЛ(B6;E6)		
7	Ec	=КОМПЛЕКСН(-110;190,5;"")	B	Zc	=КОМПЛЕКСН(100;0	Om	Ic	=МНИМ.ДЕЛ(B7;E7)		
8										
9	Шамалардың нақы									
10	Ea	=МНИМ.АВС(B5)	B	Za	=МНИМ.АВС(E5)	Om	Ia	=МНИМ.АВС(H5)	A	
11	Eb	=МНИМ.АВС(B6)	B	Zb	=МНИМ.АВС(E6)	Om	Ib	=МНИМ.АВС(H6)	A	
12	Ec	=МНИМ.АВС(B7)	B	Zc	=МНИМ.АВС(E7)	Om	Ic	=МНИМ.АВС(H7)	A	
13										
14	Фазалардың ығысуы									
15	генераторлар			жүйемелер			фаза тогы мен керне			
16	фа	=МНИМ.АРГУМЕНТ(B5)	рад					=МНИМ.АРГУМЕНТ(H5)	рад	
17	фв	=МНИМ.АРГУМЕНТ(B6)	рад					=МНИМ.АРГУМЕНТ(H6)	рад	
18	фс	=МНИМ.АРГУМЕНТ(B7)	рад					=МНИМ.АРГУМЕНТ(H7)	рад	
19										

3-сурет. Формула көрсету режиміндегі MS EXCEL парақшасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Шыққан нәтижені MULTISIM электр тізбегін модельдеу симуляторы көмегімен тексереміз. Аталмыш симуляторда электр сұлбаларын құруда бірнеше нұсқасын қолдануға болады. Мысалы, үш фазалы жүйені үш қорек көзінің көмегімен құруға болады немесе үш шығысы бар фазалары өзара үшбұрыштап немесе жұлдызшалап жалғанған бір қорек көзімен тұрғызуға мүмкіндік бар.



4-сурет. Үш фазалы жүйенің MULTISIM бағдарламасындағы кескіні

Ескерту – автормен құрастырылған

Алынған нәтижелер салыстыру мақсатында төмендегі кестеге енгізіледі.

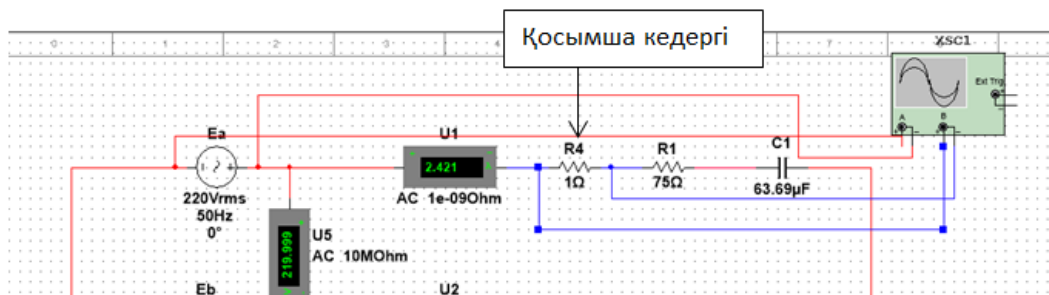
1-кесте. Нәтижелерді салыстыру

	I_a, A	I_b, A	I_c, A	I_N, A
MS EXCEL	2,440680863	1,967541613	2,199778398	2,288188148
MULTISIM	2,443	1,966	2,2	2,228

Ескерту – автормен құрастырылған

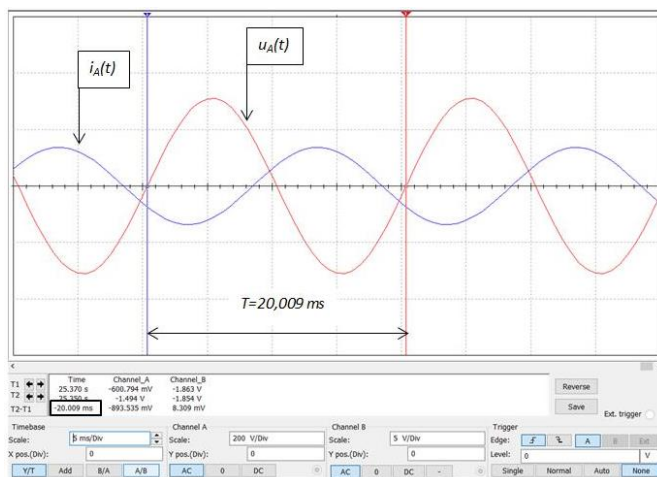
Көріп тұрғанымыздай, MULTISIM бағдарламасында осциллограф көмегімен фазадағы ток пен кернеу арасындағы ығысу бұрышын, амплитудасын, периодын анықтауға болады. Қалыпты жағдайда осциллограф көмегімен тек кернеуді ғана өлшеуге болады. Дегенмен, егер зерттеп отырған тізбекке кедергісі 1 Ом болатын қосымша резисторды тізбектей жалғайтын болсақ, осы элементтің кернеуінің өзгеру заңдылығы тізбектің тогының өзгеру заңдылығымен сай келеді.

Қарастырып отырған сұлбаның А фазасына қосымша кедергі (R4) жалғаймыз. Осциллографтың бір каналын қорек көзіне, екінші каналын қосымша R4 кедергісіне жалғанады. Бағдарламада осциллограф өздігінен жерлестірілген, сондықтан қосымша жерлестірудің қажеті жоқ.



5-сурет. А фазасына осциллографты жалғау

Ескерту – автормен құрастырылған



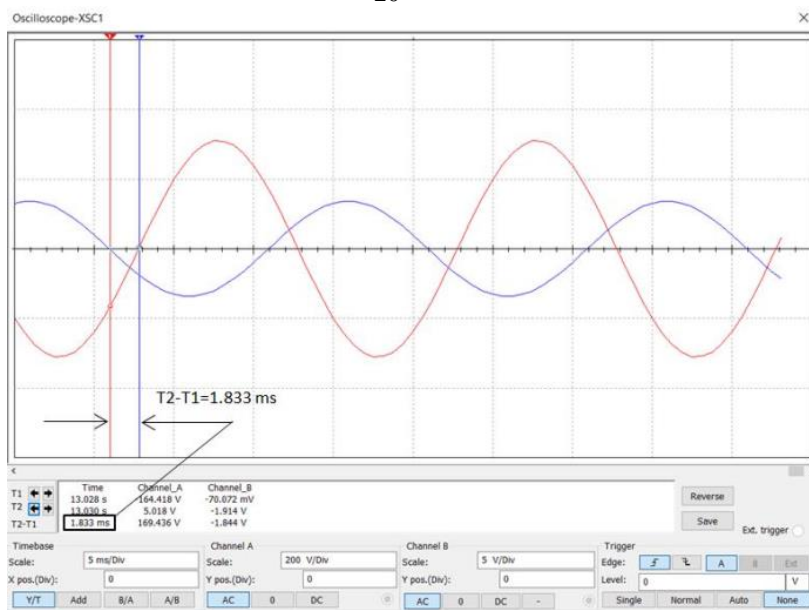
6-сурет. Ток пен кернеудің уақыттан тәуелділік графигі

Ескерту – автормен құрастырылған

6-суретте осциллографтың ақпараттық панелінен T1 мен T2 курсорларын реттей отырып, период шамасын анықтауға болады (T1-T2=20 мс). Жылжымалы курсорлардың көмегімен ток және кернеу тәуелділік қисықтарының өзара ығысу шамасын анықтап $\Delta T = T1 - T2 = 1,833$ (мс), ток пен кернеу арасындағы φ ығысу бұрышын пропорция көмегімен есептеуге болады. Периодтың 360° құрайтыны белгілі.

$$\varphi = \frac{360 \cdot \Delta T}{T} \tag{4}$$

$$\varphi_A = \frac{360 \cdot 1,833}{20} = 32,994^\circ$$

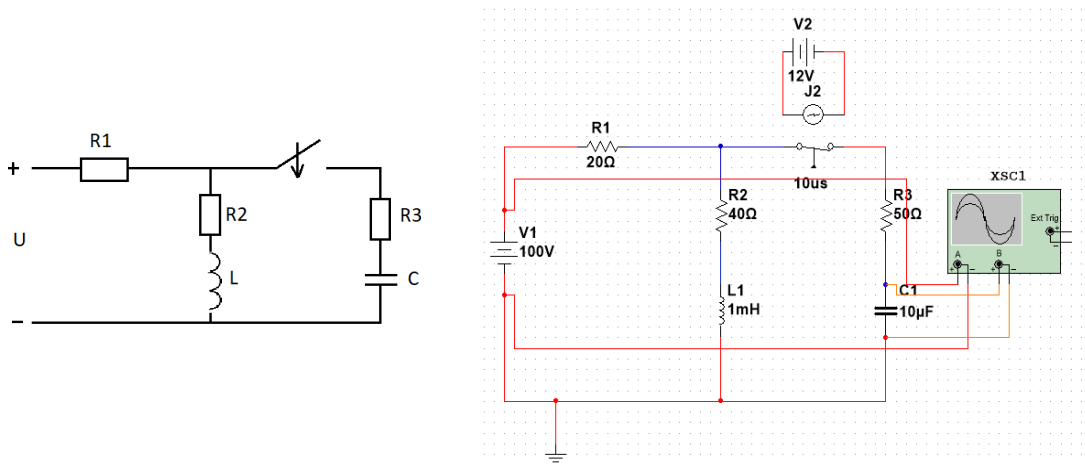


7-сурет. Ток пен кернеу арасындағы φ ығысу бұрышын анықтау

Ескерту – автормен құрастырылған

Анықталған ығысу бұрышы MS EXCEL бағдарламасының нәтижесімен сәйкес келеді. Осылайша, осциллограф көмегімен ток пен кернеудің амплитудалық мәндерін, әсерлік мәндерін график тұрғысында анықтауға болады.

Аталмыш екі компьютерлік бағдарлама көмегімен электр тізбегінде жиі орын алатын өтпелі үрдістерді де сараптауға болады. Екінші мысал ретінде құрамында катушка және конденсаторы бар екінші реттік сұлба алынады. Берілген сұлба үшін коммутациядан кейін кілт тұйықталсын.



8-сурет. Құрамында катушка және конденсаторы бар екінші реттік сұлбаның MULTISIM бағдарламасындағы сұлбасы

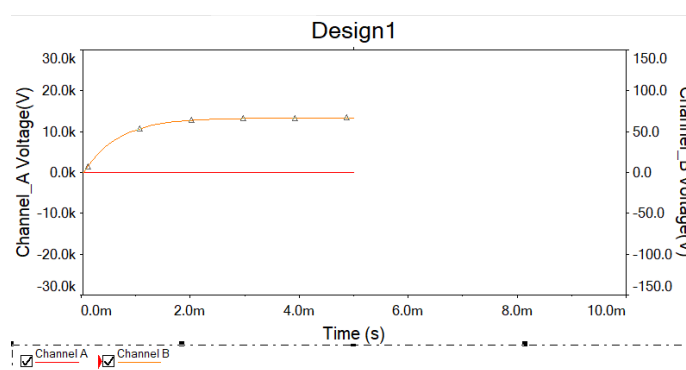
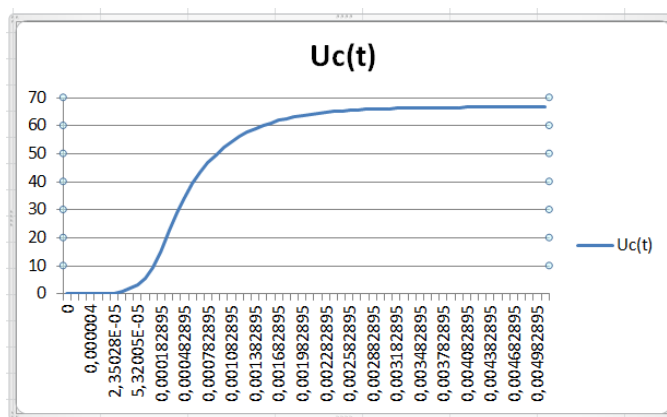
Ескерту – автормен құрастырылған

Турақты ток тізбегіндегі өтпелі үрдісті есептеу			
Есептің шарты		Бастапқы тәуелсіз шарт	
R1, Ом	20	uс(0-), В	0
R2, Ом	40	iL(0-), А	1,666666667
R3, Ом	50		
L, мГн	10	Мәжбүрлік режим	
U, В	100	uсмәж, В	66,66666667
C, мкФ	10	iLмәж, А	1,666666667
t, мкс	5		

9-сурет. MS EXCEL бағдарламасында өтпелі үрдісті сараптау

Ескерту – автормен құрастырылған

Осы сұлба үшін MS EXCEL бағдарламасында бастапқы тәуелсіз шарттар мен мәжбүрлік режимдегі катушкадағы ток пен конденсатордағы кернеуді анықтап аламыз (9-сурет). MULTISIM бағдарламасында сұлбаны құрып, ондағы кез келген элементтегі коммутация кезіндегі өзгеру заңдылықтарды анықтап, мәліметтерді MS EXCEL парақшасына шығаруға болады. График бойынша алынған мәліметтерді есептеу нәтижелерімен салыстыра отырып, қажетті қорытынды жасалады.



10-сурет. MULTISIM бағдарламасында коммутация кезіндегі өзгеру заңдылықтарын MS EXCEL парақшасына шығару

Ескерту – автормен құрастырылған

Қорытынды. Жүргізілген сараптаулар нәтижесінде үш фазалы электр тізбегінің параметрлерін MS EXCEL бағдарламасы көмегімен шешу арқылы және виртуалды электр сұлбаларын құру көмегімен күрделі электр тізбектерін есептеу әдістері әзірленіп, нәтижелері салыстырылды. Қарастырылған компьютерлік бағдарламалар жоғары оқу орындарының студенттері үшін «Электртехникасы» немесе «Электр техникасының теориялық негіздері» пәндері бойынша тәжірибелік сабақтарды оқу барысында есептеудің үлкен көлемін жеделдету және автоматтандыру үшін басты есептеу құралы ретінде қолдануға, есептің нәтижесін өз бетімен тексеруге, сонымен қатар заманауи компьютерлік бағдарламаларды кең көлемде игеруге мүмкіндік береді. Қарастырылған әдісті «Автоматтық басқару» және «Электроника» пәндерінде де қолдануға мүмкіндік бар.

MULTISIM және MS EXCEL екі түрлі бағдарламалық жасақтаманы есептеу үрдісінде және оны тексеру мақсатында кешенді түрде қолдану, MULTISIM электр тізбегін модельдеу симуляторын тек виртуалды зертхана мақсатында ғана емес, тәжірибелік тапсырмаларда студенттің өзіндік жұмыстарын орындау және өзін өзі тексеру әдісі негізінде қолдануға болады.

Сонымен қатар, аталмыш бағдарламалар өндірістік және ғылыми жобаларда электр тізбектерін жан-жақты аса дәлдікпен сараптауға мүмкіндігі береді. Электр сұлбаларын модельдеуде қолданылатын түрлі симуляторлық технологиялар – бұл кез келген деңгейдегі күрделі техникалық есептерді шешуге болатын озық ақпараттық технологиялар дәуіріндегі әмбебап құралы деген қорытынды жасауға болады (Kim et al., 2018; Semenov et al., 2018).

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Hacker V., & Sumereder, C. (2020). Electrical engineering: fundamentals. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Ch K.D., Semenov A.S., & Tatarinov P. S. (2018, October). Characteristic tracer for measurement of family of IV characteristics of bipolar transistors. In 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE) (pp. 77-81). IEEE.
- Semenov A. (2016, May). Reviewing the mathematical models and electrical circuits of deterministic chaos transistor oscillators. In 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) (pp. 1-6). IEEE.
- Semenov A.S., Khubieva V.M., & Kharitonov Y.S. (2018, September). Mathematical modeling of static and dynamic modes DC motors in software package MATLAB. In 2018 international Russian automation conference (RusAutoCon) (pp. 1-5). IEEE.
- Semenov A.S., Egorov A.N., & Fedorov O.V. (2018, October). The analysis of the practice of using of high-voltage frequency converters ACS5000. In 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) (pp. 1-4). IEEE.
- Zia M.Y.I., & Rashid M. (2021, March). A novel laboratory experimental platform using labview and multisim environments. In 2021 National Computing Colleges Conference (NCCC) (pp. 1-6). IEEE.
- Li Z. Li X., Jiang D., Bao X., & He Y. (2020, May). Application of multisim simulation software in teaching of analog electronic technology. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1544, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- Баянов А. (2021). Применение методов структурного программирования для решения систем линейных уравнений методом Крамера / А. Баянов, Д.Р. Багиров, Н.К. Петрова // Modern Science. – 2021. – № 12-2. – С. 341-348. – EDN VISSAW // Bajanov, A. (2021) Primenenie metodov strukturnogo programirovaniya dlja reshenija sistem linejnyh uravnenij metodom Kramera / A. Bajanov, D.R. Bagirov, N.K. Petrova // Modern Science. – 2021. – № 12-2. – С. 341-348. – EDN VISSAW.

- Баэс-Лопес Д., Герреро-Кастро Ф. (2022). Анализ цепей с помощью multisim. – Springer Nature, 2022 // Bajes-Lopes D., Gerrero-Kastro F. (2022). Analiz cepej s pomoshh'ju multisim. – Springer Nature, 2022.
- Букреев Н.В. (2019). Применение математического моделирования для решения задач электроэнергетики и электротехники / Н.В. Букреев, А.А. Шунина, А.Н. Баишев // Материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 26–27 ноября 2019 года. – Воронеж: С. 346-349. – EDN WVTZIP // Bukreev N.V. (2019). Primenenie matematicheskogo modelirovanija dlja reshenija zadach jelektrojenergetiki i jelektrotehniki / N.V. Bukreev, A.A. Shunina, A.N. Baishev // Materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoi konferencii, Voronezh, 26-27 nojabrja 2019 goda. – Voronezh: S. 346-349. – EDN WVTZIP.
- Жунусакунова А. Д. (2020). Возможности программы MS Excel для электротехнических расчетов / А.Д. Жунусакунова // Постулат. – 2020. – № 7(57). – С. 9. – EDN ESJFBE // Zhunusakunova A.D. (2020). Vozmozhnosti programmy MS Excel dlja jelektrotehnicheskikh raschetov / A.D. Zhunusakunova // Postulat. – 2020. – № 7(57). – S. 9. – EDN ESJFBE.
- Калайдо Ю.Н., Бень-Пономаренко Н.В. (2019). Активные методы обучения будущих инженеров электротехнике и основам электроники. – 2019. – 2019 // Kalajdo Ju.N., Ben'-Ponomarenko N.V. (2019). Aktivnye metody obuchenija budushhih inzhenerov jelektrotehnike i osnovam jelektroniki. – 2019. – 2019.
- Мамыров Ж. (2021). Применение MS Excel для решения систем алгебраических уравнений / Ж. Мамыров, А. Б. Байзаков, М. С. Курбанкулова // Вестник Исык-Кульского университета. – 2021. – № 50-1. – С. 155-162. – EDN NOVOKV // Mamyrov, Zh. (2021). Primenenie Ms Excel dlja reshenija sistem algebraicheskikh uravnenij / Zh. Mamyrov, A.B. Bajzakov, M.S. Kurbankulova // Vestnik Issyk-Kul'skogo universiteta. – 2021. – № 50-1. – S. 155-162. – EDN NOVOKV.
- Орлов П. С. (2021). Использование пакетов прикладных программ при моделировании физического эксперимента / П. С. Орлов // Актуальные проблемы образования и общества : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Ярославль, 11 октября, 2018. – С. 174-181. – EDN VSQSCC // Orlov, P. S. (2021). Ispol'zovanie paketov prikladnykh programm pri modelirovanii fizicheskogo jeksperimenta / P.S. Orlov // Aktual'nye problemy obrazovanija i obshhestva: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii, Jaroslavl', 11 oktjabrja, 2018. – S. 174-181. – EDN VSQSCC.
- Хернитер М. (2022). Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. – Litres, 2022 // Herniter M. (2022). Multisim. Sovremennaja sistema komp'juternogo modelirovanija i analiza shem jelektronnykh ustrojstv. – Litres, 2022.

Information about authors

Kunapianova Aray – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: 18aray85@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5240-3256, +7 7055111772

Prokhorenkova Nadezhda – Doctor of PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: nadin_kaz@mail.ru

Sarsenova Aizhan – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: ASarsenova75@mail.ru

Akhmadieva Gulzhian – master of natural sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: ahmadievaga-0402@mail.ru

МАТЕРИАЛТАНУ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
MATERIALS SCIENCE

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_57
MFTAA 81.09.06

Ш.Р. Курбанбеков¹, Е.Е. Табиева², А.С. Қизатов², Н.П. Мұсахан¹, Ю.О. Амангельдиева¹

¹Х.А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан

E-mail: sherzod.kurbanbekov@ayu.edu.kz

E-mail: nurken.mussakhan@ayu.edu.kz

E-mail: yulduz.amangeldieva12345@mail.ru

²Д. Серікбаев атындағы атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

E-mail: etabieva@edu.ektu.kz*

E-mail: akizatov@edu.ektu.kz

ПРАКТИКАЛЫҚ МАҚСАТТА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ФУНКЦИОНАЛДЫ МАТЕРИАЛДАРДЫ ҰШҚЫН ПЛАЗМАЛЫҚ АГЛОМЕРАЦИЯЛАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНА ҚЫСҚАША ШОЛУ

КРАТКИЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРАКТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

A BRIEF OVERVIEW OF THE TECHNOLOGY OF SPARK PLASMA SINTERING OF FUNCTIONAL MATERIALS FOR PRACTICAL PURPOSE

Аңдатпа. Шолу мақаласы функционалдық материалдарды, атап айтқанда интерметалдық қосылыстарды өндіру үшін ұшқын плазмасын агломерациялау технологиясын зерттеуге арналған. Бұл материалдар авиация, ғарыш техникасы, энергетика және басқа да жоғары технологиялық салаларда маңызды рөл атқарады. Ұшқын плазмалық агломерация әдісі жоғары тиімділікпен ерекшеленеді және жоғары тығыздық, беріктік, ыстыққа төзімділік және коррозияға төзімділік сияқты ерекше қасиеттерге ие материалдарды шығаруға мүмкіндік береді. Мақалада агломерация процесінің барлық кезеңдері, ұнтақтарды дайындаудан бастап соңғы өңдеуге дейін, сондай-ақ температура, қысым, ұстау уақыты және импульстардың жиілігі сияқты негізгі технологиялық параметрлер қарастырылады. Бұл параметрлерді мұқият оңтайландыру құрылымның жоғары біркелкілігі мен минималды кеуектілігіне қол жеткізуге мүмкіндік беретіні атап өтіледі, бұл материалдардың пайдалану қасиеттерін едәуір жақсартады және оларды сенімді әрі ұзақ мерзімді етеді. Жылудың локализацияланған бөлінуін қамтамасыз етіп, диффузиялық процестерді жеделдету арқылы өңдеу уақытын қысқартуға және өнімділікті арттыруға ықпал ететін Джоульдік жылу бөлу механизмі сипатталады. Мақалада металдар мен күрделі композицияларды өңдеу үшін ұшқын плазмалық агломерацияны қолданудың сәтті мысалдары бұл әдісті ерекше қасиеттері бар материалдарды жасауға арналған ембебап құрал етеді. Сондай-ақ, технологияны жетілдіруге бағытталған ағымдағы зерттеулер мен әзірлемелер, процестің параметрлерін басқарудың жаңа тәсілдерін қоса алғанда тиімділікті арттыру үшін инновациялық материалдарды пайдалану талқыланады. Ұшқын плазмалық агломерацияның өнеркәсіпте қолданылу перспективалары, жоғары температура мен жүктеме жағдайында жұмыс жасайтын сұранысқа ие жаңа типтегі конструкциялық материалдарды жасау мүмкіндігін қарастырады. Осылайша, шолу мақалада ұшқын плазмалық агломерация саласындағы жүргізілетін зерттеулердің маңыздылығы, қолдану аясын кеңейту мен процестің экономикалық тиімділігін арттырып, отандық материалтану саласының қарқынды дамуына үлес қосуға мүмкіндік беретіні анықталады.

Түйін сөздер: Интерметаллидтер, ұшқын плазмадағы агломерация, материалдар, микро-құрылым, джоуль жылыту, коррозияға төзімділік.

Аннотация. Обзорная статья посвящена изучению технологии искрового плазменного спекания для получения материалов функционального назначения, в частности интерметаллидов. Эти материалы играют важную роль в авиации, космической технике, энергетике и других высокотехнологических отраслях. Метод искрового плазменного спекания отличается высокой эффективностью и позволяет производить материалы с особыми свойствами, такими как высокая

плотность, прочность, термостойкость и коррозионная стойкость. В статье рассматриваются все этапы процесса агломерации, от подготовки порошков до окончательной обработки, а также основные технологические параметры, такие как температура, давление, время выдержки и частота импульсов. Отмечается, что тщательная оптимизация этих параметров позволяет добиться высокой однородности и минимальной пористости структуры, что значительно улучшает эксплуатационные свойства материалов и делает их более надежными и долговечными. Описан механизм Джоулево тепловыделения, который обеспечивает локализованное выделение тепла и способствует сокращению времени обработки и повышению производительности за счет ускорения диффузионных процессов. Удачные примеры применения искрового плазменного спекания для обработки металлов и сложных композиций в статье делают этот метод универсальным инструментом для изготовления материалов с особыми свойствами. Также обсуждаются текущие исследования и разработки, направленные на совершенствование технологии, использование инновационных материалов для повышения эффективности, включая новые подходы к управлению параметрами процесса. Перспективы применения искрового плазменного спекания в промышленности предусматривают возможность создания востребованных конструкционных материалов нового типа, работающих в условиях высокой температуры и нагрузки. Таким образом, в обзорной статье определена значимость проводимых исследований в области искровой плазменной агломерации, что позволит расширить сферу применения и повысить экономическую эффективность процесса, внести вклад в развитие отечественной материаловедческой отрасли.

Ключевые слова: Интерметаллиды, искровое плазменное спекание, материалы, микроструктура, джоулев нагрев, коррозионная стойкость.

Abstract. The review article explores the use of spark plasma sintering technology to produce intermetallics. These materials play an important role in aviation, space engineering, energy, and other high-tech industries. The spark plasma sintering method is characterized by high efficiency and allows you to produce materials with special properties such as high density, strength, heat resistance, and corrosion resistance. The article discusses all stages of the sintering process, from the preparation of powders to the final processing, as well as the main technological parameters, such as temperature, pressure, holding time, and pulse frequency. Careful optimization of these parameters enables the achievement of high uniformity and minimal porosity in the structure, thereby significantly enhancing the operational properties of materials and enhancing their reliability and durability. The Joule heat dissipation mechanism is characterized, which contributes to reducing processing time and increasing productivity by providing localized heat dissipation and accelerating diffusion processes. In the article, successful examples of the use of spark plasma sintering for processing metals and complex compositions make this method a universal tool for creating materials with unique properties. It will also discuss current research and development aimed at improving technology and the use of innovative materials to improve efficiency, including new approaches to managing process parameters. Prospects for the application of spark plasma sintering in industry include the potential to create a new type of construction material that is in demand and can operate in conditions of high temperature and load. In this way, the review article shows how important it is to do research in the area of spark plasma sintering, which helps the fast growth of the domestic materials science industry by expanding the process's uses and making it more cost-effective.

Keywords: Intermetallic compounds, spark plasma sintering, materials, microstructure, Joule heating, corrosion resistance.

Kipicne. Оңтайландырылған микроқұрылымы бар, тығыздығы теориялық мәніне жуық, беріктігі мен эксплуатациялық сипаттамалары жоғары материалға деген қажеттілік материалдарды алудың дәстүрлі әдістерін жетілдіруге немесе жаңа бағыттағы технологиялық шешімдер табуға әкелуде. Осындай қасиетке ие қосылыстардың бірі – қазіргі таңда әлемдік ғылыми кеңістіктің қызығушылығын тудырып, назарын аударып отырған интерметаллидтік қосылыстар. Олардың бірегей физика-химиялық қасиеттері оларды авиация, ғарыштық техника, электроника және энергетика сияқты әртүрлі жоғары технологиялық салаларда қолдану мүмкіндігі үшін құнды етеді. Интерметаллидтік материалдардың негізгі сипаттамаларына жоғары беріктік, жоғары қаттылық, ыстыққа және коррозияға жоғары төзімділік болып табылады (Yartys et al., 2022).

Мұндай қосылыстарды алуға мүмкіндік беретін технологиялардың бірден-бірі ұшқын плазмалық агломерациясы (SPS) болып табылады. Жоғары температура мен қысымға ұшыраған кезде электрлік ынталандырылған агломерациядан тұратын ұшқынды плазмалық

агломерация әдісі, әдетте, дәндердің іріленуін болдырмай, теориялық есептелгенге жақын тығыздық мәндері бар материалдарды алуға мүмкіндік беруімен ерекшеленеді. Осы жұмыстағы сипатталған SPS әдісі металдар, металлидтер, оксидтер және т.б. композиттердің тығыз шоғырланған үлгілерін алуға, соның ішінде интерметаллидтік қосылыстарды алуға бағытталған.

Ұшқын плазмалық агломерация (SPS) – жоғары өнімділік сипаттамалары бар, бірегей функционалдық мақсатта қолданылатын, озық, жаңа материалдар жасау саласындағы актуалды технологиялардың бірі. Оның негізгі тұжырымдамасы ұнтақ металлургиясының дәстүрлі әдістерімен бұрын қол жеткізілмеген ұнтақ материалдарын өңдеудің (консолидация/агломерация) инновациялық механизмдерін жүзеге асырудан тұрады. Технологияның артықшылығы мен ерекшеліктерінің бірі – механикалық жүктеме кезінде электрлік импульстік қыздыру есебінен шектеусіз химиялық және фракциялық құрамдағы дисперсті материалдарды жоғары жылдамдықпен біріктіруінде.

SPS технологиясына іргелі сипаттама жасайтын термофизикалық және электрофизикалық әсерлердің тұтас қабаттасуымен және механикалық әсерлесуге байланысты бүкіл үрдіс бойы жүретін физикалық көрінісінің ерекше күрделілігіне байланысты қазіргі күнге дейін біржақты негіздемесі қалыптасып үлгермеді (Сао et al., 2019; Nisar et al., 2021). Дегенмен, осыған қарамастан SPS үрдісінде пайда болатын физикалық құбылыстардың жиынтығы, мысалы, Джоуль-Ленц жылу генерациясы, электромиграция, электропластика, пондеромоторлық күштер, перколяция эффектісі, «пинч» эффектісі, Пельтье эффектісі, поляризация, корреляциялық әсерлер, фазааралық реакциялар, атомдардың диффузиясы және басқа да әсерлер зерттеушілерге алынған материалдардың құрамы мен құрылымдық архитектурасын өзгертуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, SPS-тің дәстүрлі әдістерге қарағанда технологиялық артықшылығы синтездің салыстырмалы төмен температурасы (орта есеппен 300 °C төмен), жоғары қыздыру (орташа 150-200°C/мин) және салқындату (400°C/мин) жылдамдықтары, термиялық ұстаудың қысқа уақыты (минут), агломерациялау және престеуді бір мезетте жүзеге асыру (бір сатылы), пісіретін қосымша қоспаларды қажет етпеуі және материалдың максималды тығыздығына жету мүмкіндігі (теориялық мәніне 100 % жету мүмкіндігі).

SPS өрісті агломерациялау (FAST/SPS) деп те аталып, қазіргі ұнтақ металлургиясы мен керамикалық технологиядағы материалдарды өңдеудің ең прогрессивті әдістерінің бірі болып отыр (Fu et al., 2019; Cramer et al., 2020; Weston et al., 2019). Бұл әдіс ұнтақты материалдың тез және біркелкі қызуына ықпал ететін, жоғары қарқынды электрлік импульстарды қолдану арқылы агломерация уақытын едәуір қысқартуға және алынған материалдардың сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Шолу. Ұшқын-плазмалық агломерация технологиясы ХХ ғасырдың ортасында белсенді дами бастады, дегенмен бұл әдістеде қолданылатын электр тогымен тікелей қыздыру принциптері ХІХ ғасырда белгілі болды (Munir et al., 2006; Orrù et al., 2009). SPS-ті коммерциялық қолдану Жапония мен Германиядан бастау алып, әдісті қолдану аясын едәуір кеңейтуге мүмкіндік беретін арнайы жабдық жасалды (Grasso et al., 2009). SPS-тің дәстүрлі агломерация әдістерінен басты айырмашылығы – материалды жоғары қыздыру және агломерация жылдамдығын қамтамасыз ететін тікелей джоульдік жылытуды қолдану (Conrad et al., 2009).

Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда SPS әдісінің негізгі артықшылықтарының бірі төмен температурада материалдарды тез тығыздау мүмкіндігі болып табылады. Бұл тығыздығы жоғары, кеуектілігі төмен және механикалық қасиеттері жақсартылған материалдарды алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, SPS қиын балқитын металдар, интерметаллидтер және композиттер сияқты басқа әдістермен агломерациялау қиын материалдармен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Мысалы, SPS қатты қорытпаларды,

соның ішінде биомедициналық қолдану үшін керамикалық материалдарды жасау үшін, сондай-ақ бірегей магниттік және электрлік қасиеттері бар материалдарды алу үшін белсенді қолданылады. Соңғы жылдары функционалдық материалдар мен құрылғылар саласында жаңа перспективаларды ашатын наноқұрылымды материалдар өндірісінде SPS қолдануына да үлкен қызығушылық байқалды.

SPS-тегі қыздыру механизмі материал арқылы электр тогы өткен кезде пайда болатын Джоульдік қыздыру құбылысына негізделген. Ток ұнтақтардың жанасу беттерінен өткенде, ол кедергі мен ток күшінің квадратына пропорционалды жылу шығарады. Пештердегі агломерация сияқты дәстүрлі агломерация әдістерінен айырмашылығы, SPS кезінде қыздыру тікелей материалдың ішінде жүреді, бұл температураның локализацияланған жоғарылауына әкеледі. Бұл тіпті, отқа төзімді материалдардың тез қызуына және агломерациясына ықпал етіп, жылудың біркелкі таралуын қамтамасыз етіп, жылу градиенттерін азайтады. SPS-дегі Джоульдік жылытудың негізгі артықшылықтары: жоғары қыздыру және салқындату жылдамдығы мен локальдік жылыту. Бұл өз кезегінде, дәндердің өсуін азайтып, микроқұрылымды басқаруға мүмкіндік береді.

Диффузиялық процестер ұшқын-плазмалық агломерацияда ұнтақтарды тығыздауда шешуші рөл атқарады. Олар ұнтақтың жеке бөлшектерін біріктіру және қатты матрицаны қалыптастыру үшін қажетті атомдардың қозғалысын қамтамасыз етеді. SPS процесінде диффузияның екі негізгі түрі бар. Біріншісі, микро-бұдырлардың тегістелуі мен агломерацияның бастапқы сатысына ықпал ететін – атомдар бөлшектердің бетімен қозғалатын беттік диффузия. Бұл процесс салыстырмалы түрде төмен температурада жүреді және айтарлықтай тығыздауға ықпал етпейді. Екіншісі, атомдар бөлшектер көлемінен қозғалатын көлемдік диффузия – негізгі тығыздауды және күшті бөлшектер арасындағы байланыстардың түзілуін қамтамасыз ететін диффузия. Көлемдік диффузия температураның жоғарылауымен белсеніп, атомдардың қозғалуына энергетикалық тосқауылдың айтарлықтай төмендеуін көрсетеді. Сонымен қатар, SPS процесі белсенді ақаулардың пайда болуына және диффузиялық процестердің жоғарылауына ықпал ететін плазмалық әсерді қамтуы мүмкін.

Ұшқын-плазмалық агломерация процесі алынған материалдың соңғы құрылымы мен қасиеттеріне байланысты бірқатар параметрлермен сипатталады. Температура диффузиялық процестердің белсендіру деңгейін анықтайды. Жоғары температура материалдың жоғары тығыздығы мен беріктігін қамтамасыз ете отырып, қарқынды көлемдік диффузияға ықпал етеді. Алайда температураның шамадан тыс жоғарылауы дәндердің өсуіне әкелуі мүмкін, бұл механикалық қасиеттерді төмендетеді. Сыртқы қысым бөлшектердің тығыз орналасуына және кеуектіліктің төмендеуіне ықпал етеді. Ол сондай-ақ бөлшектер арасындағы байланысты күшейтеді, Джоуль жылыту тиімділігін арттырады және агломерация уақытын қысқартады. Импульстардың ұзақтығы материалға жылу әсерінің ұзақтығына әсер етеді. Импульстардың ұзақтығы мен жиілігінің оңтайлы үйлесімі микроқұрылымдық бақылаудың минималды жоғалуымен максималды тығыздыққа қол жеткізуге мүмкіндік береді. Импульстік жиілік қыздыру және салқындату процесін басқаруға мүмкіндік береді, бұл температураның престоу көлеміне біркелкі таралуын қамтамасыз етеді. Импульстік жиілікті ұсақ түйіршікті құрылымды сақтай отырып, диффузияны барынша арттыру үшін реттеуге болады.

Зерттеулер көрсеткендей, температура, қысым, импульс ұзақтығы және жиілік сияқты SPS параметрлері материалдардың соңғы қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Мысалы, температура мен қысымның жоғарылауы материалдың тығыздығы мен механикалық қасиеттерін жақсартады, бірақ сонымен бірге жағымсыз фазалық өзгерістерге әкелуі мүмкін. Осы жағынан SPS параметрлерін модельдеу мен оңтайландыру жолындағы жұмыстар соңғы өнімдегі ықтимал ақауларды болдырмау үшін маңызды болып табылады.

Құрылғының жабдықталуы SPS үрдісінде маңызды рөл атқарады, өйткені ол біркелкі қыздыруды қамтамасыз етуі және жоғары температура мен механикалық кернеуге төтеп беруі керек. Ең жиі қолданылатын материал графит болып табылады бұл оның жоғары ыстыққа төзімділігі мен электр өткізгіштігіне байланысты. Дегенмен, белгілі бір жағдайларда жақсартылған өнімділікті ұсына алатын керамика, металл қорытпалары және композиттер сияқты балама материалдар да зерттелуде.

Зерттеудің негізгі бағыттарының бірі ұшқын плазмасын агломерациялаудың температура, қысым және ұстау уақыты сияқты параметрлерінің интерметаллидтердің қасиеттеріне әсерін зерттеу болып табылады (Chen et al., 2019). Иванов және т.б (Иванов., 2023) жұмыстарына сәйкес, агломерациялау параметрлерін дұрыс таңдау жоғары тығыздықтағы және минималды кеуектері бар материалдарды алуға мүмкіндік береді, бұл олардың өнімділік сипаттамаларын айтарлықтай арттырады.

Ұнтақты металлургия және SPS технологиясы саласындағы мамандарды тиімді дайындау осы технологияны табысты енгізу және дамыту үшін өте маңызды. Бүгінгі таңда материалтану саласында ғана емес, сонымен қатар ұшқын плазмасын агломерациялау технологиясы бойынша білімі бар мамандарға аса қажеттілік бар. Соңғы жылдардағы еңбектерде теориялық дайындықты да, материалдарды синтездеудің заманауи әдістері туралы практикалық білімді де қамтитын оқытудың пәнаралық қатынасының маңыздылығы атап өтілді (Smith et al., 2019).

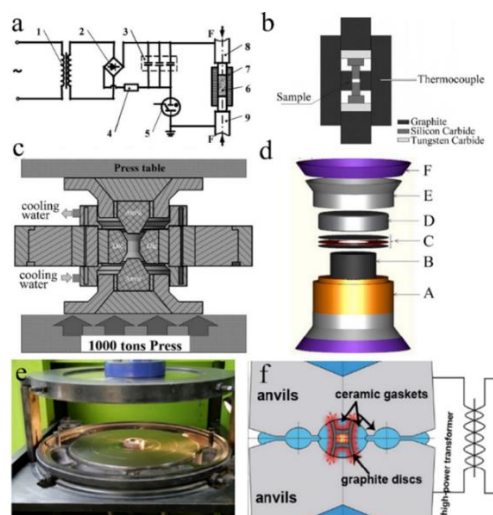
Бұл шолуда осы мәселелерді шешу тәжірибесі жинақталған, сонымен қатар SPS технологиясының табыстылығы үшін құралдарды ұтымды жобалау және пайдалану перспективалары талқыланады.

SPS, сондай-ақ импульстік электр тогымен агломерация (PECS) немесе электр өрісін агломерациялау технологиясы (FAST) ретінде белгілі, ұнтақ металлургиясының әдістері болып табылады. SPS – ұнтақ композицияларды біріктірудің инновациялық технологиясы (Jiang et al., 2006; Ramanujan et al., 1996; Sharma et al., 2000). Бұл үрдіс ұнтақты біріктірудің бірнеше технологиялық кезеңдерін біріктіреді (Hu et al., 2020; Chu et al., 1991). SPS технологиясын жүзеге асырудағы қондырғының жалпы көрінісі (Сур.1а), жоғары қысымды фильердің схемалық көрінісі (1, b-сурет), үлгіні жүктеуге арналған жоғары қысымды пресс (1, с-сурет), қондырғыдағы жоғары қысымды пресстің диаграммасы (Сур.1d), Бриджмен пресінің фотосуреті (Сур.1e) және «HP-SPS-Bridgman» компоненттерінің схемалық сызбасы (Сур.1f) келтірілген.

Бұл техниканың негізгі принциптері 50 жылдан астам уақыт бұрын ұсынылғанына қарамастан, SPS соңғы екі онжылдықта ғана айтарлықтай таралып, мойындалды. Ғалымдар SPS ұнтақтардың беттік күйін, атомдық диффузия тәртібін, фазалық тұрақтылықты және агломерацияланған бөлшектердің өзара әрекеттесуін бақылауға мүмкіндік беретінін, сонымен қатар агломерациялануы қиын материалдардың нығыздалуын тездететінін біртіндеп түсінді. Ұнтақтар мен бір-біріне ұқсамайтын материалдарды біріктіру құралы ретінде SPS әдісінің танымалдылығының артуы соңғы жылдары шығарылған көптеген, әсіресе шетелдік басылымдармен расталады.

Ұзақ мерзімді және жоғары температуралық термиялық өңдеумен сипатталатын қысымсыз агломерация, ыстық пресеу және ыстық изостатикалық пресеу сияқты дәстүрлі ұнтақ металлургия әдістерімен салыстырғанда, SPS технологиясы әлдеқайда жылдамырақ, өйткені жылу тікелей электротермиялық әсер және пеш камерасына емес, тек «пуансон-сынама үлгі» жүйесінде таратылады.

Зерттеушілердің пікірінше, ұнтақ металлургиядағы дәстүрлі біріктіру әдістеріне қарағанда SPS технологиясының негізгі артықшылықтары төмендегідей (Fang et al., 2015; Скаков, 2017).



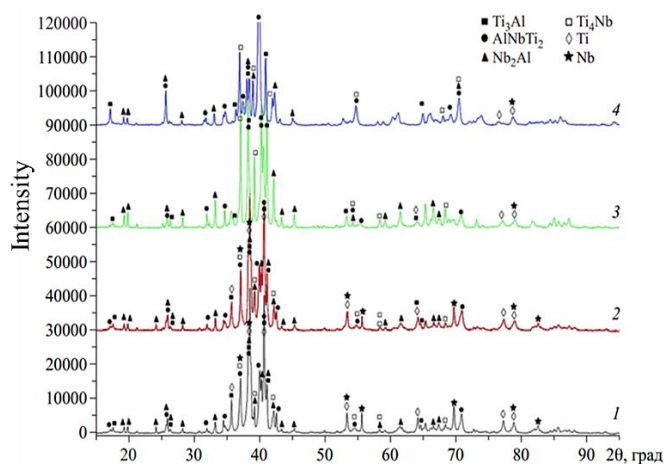
1-сурет. SPS технологиясы сұлбасы және қондырғының жалпы көрінісі
Ескерту – авторлар (Курбанбеков Ш.Р, 2017) мақаласы негізінде құрастырған

Жоғары қыздыру жылдамдығы: қыздыру жылдамдығы тұпнұсқа ұнтақтарына, матрица түрі мен өлшеміне және жабдықтың өнімділігіне байланысты болса да, IPS қондырғыларының көпшілігі 1000 °C/мин температураға дейін жетуге қабілетті (Kurbanbekov et al., 2017). Бұл жоғары қыздыру жылдамдығына байланысты агломерацияның бастапқы кезеңдерінде дән мөлшерін тиімді бақылауға мүмкіндік береді (Karakozov et al., 2018). Зерттеуде салыстырмалы тығыздығы 99,1 % және дәннің орташа диаметрі 50 нм болатын жоғары таза MgO керамика ультра жоғары қыздыру жылдамдығын (1300 °C/мин) пайдалана отырып, 1350 °C температурада дайындалды. Авторлар нығыздау процесінде бөлшектердің іріленуі іс жүзінде болмағанын атап өтті. Осылайша, SPS өзінің жылдамдығы мен процестің қысқа ұзақтығына байланысты ұсақ түйіршікті материалдарды консолидациялау саласындағы зерттеулердің тиімді әдісіне айналады.

Төменгі агломерация температурасы: Қазіргі зерттеулер SPS көмегімен тығыздау процесі радиациялық-кондуктивті қыздыру әдістерімен салыстырғанда күрделірек екенін көрсетеді. SPS-тегі тығыздау дән шекарасының диффузиясы және көлемді диффузия сияқты баяу механизмдерге тәуелсіз болуы мүмкін, бірақ булану-конденсация диффузиясы, беттік диффузия және балқыма диффузиясы сияқты механизмдерге немесе пластикалық деформация сияқты уақытқа тәуелсіз процестерге байланысты болуы мүмкін (Курбанбеков, 2016). Нәтижесінде, SPS процесінде шоғырлану температурасы көптеген дәстүрлі агломерациялық әдістерге қарағанда шамамен 200-300 °C төмен, бұл отқа төзімді және ыстыққа төзімді материалдарды біріктіруге мүмкіндік береді.

Қысқа экспозиция уақыты: Көптеген жағдайларда SPS көмегімен материалдардың қажетті тығыздығына жету үшін бар болғаны 15 минут қажет. Райченко және басқалардың зерттеуі бойынша, біркелкі микроқұрылымы бар Cu-50Ni композиттерін алу үшін бар болғаны 45 секунд қажет, ал дәстүрлі изотермиялық агломерация 1050 °C температурада 4 сағат ұстау уақытын қажет етеді (Каракозов, 2016). Өнімділікті арттыратын және өңдеу шығындарын азайтатын қысқа қыздыру уақыты зиянды реакциялардың немесе фазалық өзгерістердің пайда болуына жол бермейді. Осы тұрғыда SPS әртүрлі материалдарды, соның ішінде қиын агломерацияланатын материалдарды, көміртегі негізіндегі жаңа материалдарды, сусымалы нанокристалды металдарды, функционалды разрядталған материалдар мен күрделі пішінді бұйымдарды өндіруге, сондай-ақ ұқсас емес материалдарды жылдам біріктіруге оңтайлы (Kozhahmetov et al., 2017; Тарасов, 2003; Казанцева, 2006).

Ұшқын плазмалық агломерация арқылы алынған қорытпалар. Титан негізіндегі интерметалдық қосылыстарды кешенді материалтану зерттеулері барысында Ti + 23,5 ат. % Al + 21 ат. % Nb ұнтақ қоспаларын ұшқынды-плазмалық агломерациялау арқылы алынған қорытпалардың фазалық құрамына талдаулар жүргізілді (Каракозов, 2018). Нәтижелер агломерациялық материалдарда α_2 , Nb₂Al, Ti₄Nb интерметалдық қосылыстардың болатынын, сондай-ақ Ti және Nb металдарының қалдық мөлшері мен O-фазасы (2-сурет) түзілгенін көрсетті. Агломерация температурасы 1100-ден 1550 °C-қа дейін жоғарылағанда, қорытпадағы O фазасының мөлшері 25-тен 47-ге (мас. %) дейін артып, ал бос (реакцияланбаған) титан мен ниобий мөлшері 4 масс.% дейін азаяды. Агломерацияланған қорытпалардың микроқұрылымы 1100 және 1200 °C-та біртекті емес сипатқа ие. Металлографиялық талдау көрсеткендей, бұл қорытпалар α_2 фазалық түйіршіктерден, Nb₂Al және дисперсті O фазалық бөлінулерінен, сонымен қатар ниобий мен титанның реакцияға түспеген бөлшектерінен тұрады. Агломерация температурасын 1300 °C-қа дейін арттырғанда, қорытпалар ламельді микроқұрылымға ие болады. Элементтердің таралу карталары агломерация температурасының жоғарылауы қорытпалардың біркелкі микроқұрылымының қалыптасуына ықпал ететінін көрсетеді.



2-сурет. 1100 °C (1), 1200 °C (2), 1300 °C (3), 1550 °C (4) температурада Ti-23.5 ат.%Al-21 ат.%Nb ұнтақ қоспаларын электр ұшқынымен агломерациялау арқылы алынған қорытпаларының дифрактограммалары

Ескерту – авторлар (Каракозов Б.К., 2018) мақаласы негізінде құрастырған

SPS әдісі жоғары өнімді Ti-48Al-2Cr-2Nb қорытпасын (BMP ұнтағы) жасау үшін сфералық алдын ала легірілген ұнтақ (SSP ұнтағы) және шарлы ұнтақтарды нығыздау үшін пайдаланылды. Ван және басқалары (Wang et al., 2019) осы зерттеуде әртүрлі агломерациялық температуралардағы микроқұрылымдағы, тығыздықтағы және механикалық қасиеттердегі айырмашылықтарды зерттеді. SSP және BMP ұнтақтардың екі түрі үшін TiAl₂ және TiAl₃ фазаларын қосу арқылы ұқсас фазалар (α_2 -Ti₃Al, γ -TiAl) алынды. Сонымен қатар, шарикті диірменде ұнтақ ұнтақталған Ti₂Al фазасы анықталды. Авторлар γ -TiAl, TiAl₃ және TiAl₂ 1200 °C-тан 1350 °C-қа дейінгі агломерациялық температурада алды. Осыған ұқсас жұмыста Денг және басқалары (Deng et al., 2019) криомолдинг пен SPS көмегімен Ti-45Al-8Nb қорытпаларын алудың бірегей әдісін көрсетті. Skiba және басқалары (Skiba et al., 2010) FeAl интерметалл қосылыстарының SPS-ге агломерация температурасы мен қыздыру жылдамдығының өзгеруін зерттеді. Олар агломерация температурасы 1100 °C және қыздыру жылдамдығы 400 °C/мин дейін оңтайлы жағдай

деген қорытындыға келді. Kure және басқалары (Appel et al., 2016) алдын ала легіріленген $Ti_{49}Al_{47}Cr_2Nb_2$ және $Ti_{51}Al_{44}Cr_2Nb_2B_1$ ұнтақтарын 1100 °C-тан 1250 °C-қа дейінгі температурада тығыздау үшін SPS әдістерін қолданды. Олар 30 минуттан аспайтын қысқа мерзімде толық нығыздауға қол жеткізді және бөлме температурасында және 700 °C температурада перспективті созылу қасиеттері барын анықтады.

(Shongwe et al., 2015) жұмыстарында SPS әдісімен алынған агломерленген Fe-30 % Ni екілік қорытпасы зерттелді. Микроқұрылымды және механикалық қасиеттерді сипаттағаннан кейін авторлар материал тығыздығының артуы агломерация температурасымен байланысты деген қорытындыға келді (агломерация температурасының жоғарылауы материал тығыздығының жоғарылауына әкелді). Қорытпаның агломерация температурасының жоғарылауымен түйір мөлшерінің ұлғаюы да байқалды. Осылайша, ең жоғары температурада (1230 °C) агломерацияланған қорытпаның орташа түйіршік мөлшері агломерациялаудың ең төменгі температурасында (950 °C) байқалған орташа түйіршік өлшемінен екі есе көп болды. Агломерация температурасы кеуектілікке де қатысты болды және қорытпаның кеуектілігі оның жоғарылауымен төмендейтіні анықталды. Тиісінше, агломерация температурасының жоғарылауымен қорытпаның механикалық қасиеттерінің жақсаруы байқалды. Өз зерттеулерінде Чжан және әріптестері (Zhang et al., 2009) Inconel 625 қорытпасын жасау үшін SPS пайдаланды және SPS арқылы агломерленген Inconel 625 қорытпасының механикалық қасиеттері жақсарғанын атап өтті. Материалдың өлшенген микроқаттылығы шамамен 450-500 HV құрайды, бұл ұсақ түйіршікті құрылымды сақтау арқылы материалдың беріктігі мен қаттылығын растайды. Құрылымдық талдау өңдеуден кейінгі дән мөлшері нанометрлік диапазонда (100-200 нм аралығында) тұрақты болатынын көрсетті, бұл дәстүрлі суперқорытпалармен салыстырғанда механикалық қасиеттерді жақсартады. Никель және никель қорытпаларын өндіру үшін SPS технологиясын қолдану қазіргі заманғы технологияны дамытуда табысты болды. Жоғарыда келтірілген әдебиеттер деректерінен интерметалдық қосылыстарды алу үшін SPS технологиясын қолдану табысты болып шықты және қазіргі заманғы технологияның дамуында маңызды рөл атқарды деп қорытынды жасауға болады.

Қорытынды. Бұл шолу жұмысында осы уақытқа дейін ашық көздерде жарияланған ғылыми әдебиеттердегі SPS технологиясы, оның қолданылуы мен осы технология көмегімен алуға болатын бірегей қасиетке ие интерметаллдік қосылыстар талқыланып, келесідей қорытынды жасалды:

- Бұл әдіс энергия тығыздығын тамаша бақылау арқылы жылдам агломерациялауға мүмкіндік беретіні мен дәстүрлі агломерация тәсілдерімен қол жеткізу қиын, тығыздығы теориялық мәнге жақын біртекті наноқұрылымды, аморфты немесе функционалды материалдарды дайындауға мүмкіндік беретіні көрсетілді;

- Жоғары өнімділігі бар интерметаллдіктерді алудың тиімді әдісі ретінде қызығушылық тудыратын, жаңа шешімдерді, жаңа әдіс-тәсілдерді қажет ететін ұшқын-плазмалық агломерация технологиясы практикалық зерттеулердің қажеттілігі айқындалды;

- SPS-тің дәстүрлі әдістерге қарағанда технологиялық артықшылығы синтездің салыстырмалы төмен температурасы (орта есеппен 300 °C төмен), жоғары қыздыру (орташа 150-200 °C/мин) және салқындату (400 °C/мин) жылдамдықтары, термиялық ұстаудың қысқа уақыты (минут), агломерациялау және престоуді бір мезетте жүзеге асыру (бір сатылы), пісіретін қосымша қоспаларды қажет етпеуі және материалдың максималды тығыздығына жету мүмкіндігі (теориялық мәніне 100 % жету мүмкіндігі) анықталды;

Осы сипаттамалардың арқасында SPS жоғары тығыздықтағы, жақсартылған механикалық беріктігі мен ыстыққа төзімділігі бар материалдарды алуға мүмкіндік береді, бұл оны авиация, ғарыштық инженерия және энергетика сияқты салаларда қолдануға тартымды етеді. Зерттеулер көрсеткендей, материалдардың соңғы қасиеттерін анықтай-

тын негізгі параметрлер температура, қысым және экспозиция уақыты болып табылады. Бұл параметрлерді оңтайландыру минималды кеуектілігі мен жоғары біркелкілігі бар интерметаллидтер өндірісінде жақсы нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді. SPS-тің болашағы одан әрі зерттеулермен және процестерді жетілдірумен байланысты, бұл оның өнеркәсіпте қолданылуын кеңейтуге ықпал етеді. Бұл заманауи технологиялардың дамуын және олардың тиімділігін арттыруды қамтамасыз ете отырып, жоғары технологиялық салаларда сұранысқа ие болатын бірегей сипаттамалары бар жаңа материалдарды құру перспективаларын ашады. Нәтижесінде, SPS тәсілі әртүрлі өнімділігі жоғары өнеркәсіптік қолданбалар үшін перспективалы технология болып көрінеді.

Авторлардың мүдделері: Мақала авторлары авторлық мүдделер қақтығысының жоқтығын хабардар етеді.

Алғыс. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (№ BR24992925 – «Қазақстан Республикасының өңдеу өнеркәсібінің инновациялық дамуы үшін технологиялар мен материалдарды әзірлеу»).

Әдебиеттер тізімі

- Yartys V.A., Lototsky M.V. Laves type intermetallic compounds as hydrogen storage materials: a review // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2022. – Т. 916. – С. 165219.
- Cao G. et al. (ed.). *Spark plasma sintering: current status, new developments and challenges*. – Elsevier, 2019.
- Nisar A. et al. Unconventional materials processing using spark plasma sintering // *Ceramics*. – 2021. – Т. 4. – №. 1. – P. 20-39
- Fu J., Brouwer J.C., Richardson I.M., Hermans M.J.M. Effect of mechanical alloying and spark plasma sintering on the microstructure and mechanical properties of ODS Eurofer Mater. Des., 177 (2019), Article 107849,
- Cramer C.L., McMurray J.W., Lance M.J., Lowden R.A. Reaction-bond composite synthesis of SiC-TiB₂ by spark plasma sintering/field-assisted sintering technology (SPS/FAST) *J. Eur. Ceram. Soc.*, 40 (2020). – Pp. 988-995,
- Weston N.S., Thomas B., Jackson M. Processing metal powders via field assisted sintering technology (FAST): a critical review *Mater. Sci. Technol.*, 35 (2019). – Pp. 1306-1328
- Munir, Z. A., Anselmi-Tamburini, U., & Ohyanagi, M. (2006). The effect of electric field and pressure on the synthesis and consolidation of materials: A review of the spark plasma sintering method. *Journal of Materials Science*, 41(3), 763-777. DOI: 10.1007/s10853-006-6555-2
- Orrù, R., Licheri, R., Locci, A. M., Cincotti, A., & Cao, G. (2009). Consolidation/synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 63(4), 127-287. DOI: 10.1016/j.mser.2008.09.003
- Grasso, S., Sakka, Y., & Maizza, G. (2009). Electric current activated/assisted sintering (ECAS): a review of patents 1906–2008. *Science and Technology of Advanced Materials*, 10(5), 053001.
- Conrad, H., & Johnson, L. (2009). The Spark Plasma Sintering Process: Parameters and the role of current. *Journal of Materials Science*, 44(3), 537-548. DOI: 10.1007/s10853-008-3139-z.
- Chen, H., Liu, S., & Tang, Z. (2019). Influence of sintering parameters on microstructure and properties of intermetallics synthesized by SPS. *Powder Metallurgy*, 62(2), 110-117
- Иванов, И., Петров, А., & Сидоров, В. (2023). Перспективы применения технологии искроплазменного спекания в производстве интерметаллидов. *Вестник материаловедения*, 8(1), 45-50.
- Smith, J., Doe, R., & Brown, L. (2021). Interdisciplinary education in materials science: Integrating SPS technology in curriculum. *Materials Education Journal*, 29(3), 210-220.
- Jiang H., Rong T.S., Hu D., Jones I.P., Voice W., Thermal cycling of Ti46Al8Nb1B // *Intermetallics*. – 2006. – Vol. 14, №12. – P. 1433–1447.
- Ramanujan R.V., Maziasz P.J., Liu C.T. The thermal stability of the microstructure of α -based titanium aluminides // *J. Acta Materialia*. – 1996. – Vol. 44, №7. – P. 2611–2642.
- Sharma G, Ramanujan R.V., Tiwari G.P. Instability mechanisms in lamellar microstructures // *J. Acta Materialia*. – 2000. – Vol. 48, №4. – P. 875–889.
- Hu Z., Zhang Z., Cheng X., Wang F., Zhang Y., Li S. A review of multi-physical fields induced phenomena and effects in spark plasma sintering: Fundamentals and applications. *Materials and Design*. – 2020. – Vol. 191. – P. 108662.
- Chu, W.Y., Thompson, A.W. Effect of hydrogen as a temporary stabilizer on microstructure and brittle fracture behavior in a titanium aluminide // *Metall. Trans. A*. – 1991. – Vol. 22. – P. 71-81.

- Курбанбеков Ш.П., Скаков М.К., Каракозов Б.К., Бахтибаев А.Н. Исследование микроструктуры и свойств абсорбции-десорбции водорода сплавом на основе титана // Вестник КазНАЕН. – 2017. – № 3-4. – С. 68-71.
- Fang L., Lin J.P., Ding X.F., Thermal cycling induced microstructural instability in fully lamellar Ti-45Al-8.5Nb-(W, B, Y) alloys // *Materials Chemistry and Physics*. – 2015. – Vol. 167. – P. 112–118.
- Скаков М.К., Каракозов Б.К., Курбанбеков Ш.П., Бакланов В.В., Коянбаев Е.Т. Патент на изобретение РК № 32018. Способ получения материала геттера на основе титан-алюминий-ниобий; Рег. заявки номер 2015/1270.1; опубл. 28.04.2017, Бюл. №8.
- Kurbanbekov S., Skakov M., Baklanov V., Karakozov B. Effect of spark plasma sintering temperature on structure and phase composition of Ti-Al-Nb-based alloys // *Materialpruefung/Materials Testing*. – 2017. – Vol. 59, №11–12. – P. 1033–1036.
- Karakozov B.K., Skakov M.K., Kurbanbekov S.R., Baklanov V.V., Sitnikov A.A., Dudina D.V., Maly V.I., Yakovlev V.I., Structural and Phase Transformations in Alloys during Spark Plasma Sintering of Ti + 23.5 at % Al + 21 at % Nb Powder Mixtures // *Inorganic Materials*. – 2018. – Vol. 54, №1. – P. 37–41.
- Курбанбеков Ш.П., Каракозов Б.К., Кожакметов, Е.А., Ситников А.А. Технология получения сплава Ti-Al-Nb методом искроплазменного спекания // V Международная научнотехническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике». – Томск: STT, 2016. – С. 104-105.
- Курбанбеков Ш.П., Каракозов Б.К., Ситников А.А., Скаков М.К., Бакланов В.В., Яковлев В.И. Исследование влияния температуры искроплазменного спекания на микроструктуру сплава на основе Ti-Al-Nb // *Журнал Ползуновский Вестник* – 2016 – Т. 2, № 4. – С. 196-201.
- Kozhahmetov E., Karakozov B., Kurbanbekov S. Technology of Ti-Al-Nb obtaining by use of Spark plasma sintering method // *Key Engineering Materials*. – 2017. – Vol. 743. – P. 41-44. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.743.41.
- Тарасов Б.П. Металлогидридные системы обратимого хранения водорода // *Альтернативная энергетика и экология: сб. тезисов второго Международного симпозиума «Безопасность и экономика водородного транспорта»*. – 2003. – С. 38-39.
- Казанцева Н.В., Сазонова В.А., Лыжина Г.А. Исследование влияния температуры отжига на дальний порядок В2-фазы в сплаве Ti-Al-Nb(Zr, Mo) // *Физика металлов и металловедение*. – 2006. – Т. 102. – № 3. – С. 310-315.
- Каракозов Б.К., Скаков М.К., Курбанбеков Ш.П., Бакланов В.В., Ситников А.А., Дудина Д.В., Мали В.И., Яковлев В.И. Особенности сплавообразования при электроискровом спекании порошковых смесей Ti-23.5ат.%Al-21ат.%Nb // *Неорганические материалы*. – 2018. – Том 54 – №1. – С. 40-45
- Wang Z., et al. Effects of powder preparation and sintering temperature on properties of spark plasma sintered Ti-48Al-2Cr-8Nb alloy *Metals*, 9 (8) (2019). – P. 861.
- Deng H., et al. Bulk nanostructured Ti-45Al-8Nb alloy fabricated by cryomilling and spark plasma sintering *J. Alloy. Compd.*, 772 (2019). – Pp. 140-149
- Skiba T., Hau'sild P., Karl'ik M., Vanmeensel K. and J.Vleugels, "Mechanical properties of spark plasma sintered FeAl intermetallics," *Intermetallics*, vol. 18. – No. 7. – Pp. 1410-1414, 2010.
- Shongwe M.B., Diouf S., Durowoju M.O. and Olubambi P.A. "Effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical properties of Fe-30%Ni alloys produced by spark plasma sintering," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 649. – Pp. 824- 832, 2015/11/15/ 2015
- Zhang Z., Han B., Huang J., Han Y., Zhou Y., Kakegawa K. et al., "Mechanical behavior of cryomilled Ni superalloy by spark plasma sintering," *Metallurgical and Materials Transactions A*. – Vol. 40. – Pp. 2023-2029, 2009.

Information about authors

Kurbanbekov Sherzod – doctor PhD, associate professor, Khoja Akhmet Yassawi University, Head of the SRI Natural Sciences, Nanotechnologies and New Materials, Turkestan, Kazakhstan, E-mail: sherzod.kurbanbekov@ayu.edu.kz, +7 702 400 34 88

Tabiyeva Yerkezhan – doctor PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. E-mail: etabieva@edu.ektu.kz, +7 777 328 05 35

Kizatov Aibar Sovetbekuly – doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. E-mail: akizatov@edu.ektu.kz

Nurken Mussakhan – Master of pedagogical sciences (Physics), Khoja Akhmet Yassawi University, SRI Natural Sciences, Nanotechnologies and New Materials, Turkestan, Kazakhstan, E-mail: nurken.mussakhan@ayu.edu.kz, +77786133168

Amangeldiyeva Yulduz – master student, Yasavi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, E-mail: yulduz.amangeldieva12345@mail.ru, +7778 640 4486

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_67
MFTAA 55.57.33

Б.А. Молдаханов¹, В.В. Роговский², А.Б. Бугаев³, Д.С. Елеманов⁴

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

¹E-mail: bek_m78@mail.ru*

²E-mail: gerat1302@mail.ru

³E-mail: andbugaev@mail.ru

⁴E-mail: atonai2009@mail.ru

**ЕГУ ҚАТАРЫ МӘНДЕРІНІҢ ЕНІ ӘРТҮРЛІ ЖӘНЕ ДІРІЛДЕЙТІН
ДИСК АШҚЫШТАРЫ БАР ТҰҚЫМ СЕБУ КЕШЕНІНІҢ МОДЕЛІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК
ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МОДЕЛИ ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА С РАЗЛИЧНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ШИРИНЫ
МЕЖДУРЯДИЙ И ВИБРАЦИОННЫМИ ДИСКОВЫМИ СОШНИКАМИ**

**THE RESULTS OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF A MODEL
OF A SOWING COMPLEX WITH DIFFERENT VALUES OF ROW SPACING AND
VIBRATING DISC COULTERS**

Аңдатпа. Мақала егіс агрегатының дискілі дірілдейтін жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуіне арналған. Топырақты өңдеу кезіндегі тарту кедергісі мен энергия сыйымдылығын төмендету, егіс агрегаттарының жылдамдығы мен өнімділігін арттыру үшін дірілдің топыраққа әсерін сипаттайтын заңдылықтары анықталды. Сонымен бірге егіс агрегатының дірілдейтін дискілі жұмыс органының топырақты кесудің механикалық-математикалық моделі өзірленді. Дискілі жұмыс органының кесу жиегінің топырақпен дірілдейтін әсерлесу параметрлерін анықтау үшін математикалық тәуелділіктер алынды. Процестің тарту кедергісі мен энергия сыйымдылығын төмендету тұрғысынан дірілді кесу процесінің тиімділік шарттары белгіленді. Егіс жабдықтарының дискілі жұмыс органын жобалау және пайдалану кезінде, топырақты дірілдетудің ұтымды параметрлерін таңдау әдістемесі жасалды. Сонымен қатар, зерттеулер барысында алынған теориялық нәтижелерді растайтын және тарту кедергісі мен энергия шығынын азайту үшін, дискілі жұмыс органының топырақты дірілдеп кесуінің тиімділігі мен орындылығын дәлелдейтін діріл жұмыс жабдығының тәжірибелік үлгісін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілді.

Түйін сөздер: себу, сепкіш, ашқыш, кескіш диск, дискілі жұмыс органы, дірілдеткіш жұмыс органдары, діріл, тарту кедергісі, энергия сыйымдылығы.

Аннотация. Статья посвящена взаимодействию дисковых вибрационных рабочих органов посевного агрегата с почвой. Для снижения сил тягового сопротивления и энергоёмкости обработки почвы, повышения скорости и производительности посевных агрегатов выявлены закономерности, характеризующие воздействие вибраций на почву и разработана механико-математическая модель резания почвы вибрационным дисковым рабочим органом посевного агрегата, получены математические зависимости для определения параметров виброударного взаимодействия режущей кромки дискового рабочего органа с почвой и установлены условия эффективности процесса виброрезания с точки зрения снижения тягового сопротивления и энергоёмкости процесса. Разработана методика подбора рациональных параметров виброрезания почвы при проектировании и работе дискового рабочего органа посевного оборудования. Приведены результаты экспериментальных исследований опытного образца вибрационного рабочего оборудования, подтверждающие полученные теоретические результаты и доказывающие эффективность и целесообразность вибрационного резания почвы дисковым рабочим органом для снижения тягового сопротивления и затрат энергии.

Ключевые слова: посев, сеялка, сошник, режущий диск, дисковый рабочий орган, вибрационные рабочие органы, вибрация, тяговое сопротивление, энергоёмкость.

Annotation. The article is devoted to the interaction of the disk vibration working bodies of the sowing unit with the soil. To reduce the forces of traction resistance and energy intensity of tillage, increase the speed and productivity of sowing units, patterns characterizing the effect of vibrations on the soil have been identified and a mechanical and mathematical model of cutting soil with a vibrating disc working body of a sowing unit has been developed, mathematical dependencies have been obtained to determine the parameters of vibro-impact interaction of the cutting edge of a disc working body with the soil and conditions for the effectiveness of the vibration cutting process have been established from the point of view of reducing the traction resistance and energy intensity of the process. A method for selecting rational parameters of soil vibration cutting in the design and operation of a disk working body of sowing equipment has been developed. The results of experimental studies of a prototype of vibrating working equipment are presented, confirming the theoretical results obtained and proving the effectiveness and expediency of vibrating cutting of soil with a disk working body to reduce traction resistance and energy costs.

Keywords: sowing, seeder, coultter, cutting disc, disc working body, vibrating working bodies, vibration, traction resistance, energy intensity.

Кіріспе. Ауылшаруашылық дақылдарын өндірудің тиімділігін арттыру үшін тікелей себу технологиясы қолданылады (Спасин, 2006; Петровец&Горки, 2019). Тікелей себу үшін қолданылатын сепкіштер (Salford 520 (Канада), Берегиня АП-402 (Ресей), СРН-2000F (АҚШ), SD7200 (Қазақстан), John Deere 1590 (АҚШ), Crucianelli Pionera 2717 және т. б.) топырақ қабатын аз ғана жылжыта отырып, өсімдік қалдықтарын кесіп, дақылдарды берілген тереңдікке дәл себуді қамтамасыз етуі қажет.

Топырақты өңдеу кезінде энергия көрсеткіштерін төмендетудің ең перспективалы бағыты – топырақ өңдеу құралдарын қосымша бұзушы күштер мен өрістерді генерациялау құрылғыларымен синтездеу, мысалы, жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуін өзгертетін діріл тербелісі түріндегі импульстік әсерлер (Дудкин et al, 2022; Kim et al, 2022; Aduov et al, 2020; Трофимов, 2018). Топырақ өңдеу жұмыс органдарының қосымша дірілін қолданудың тиімділігі үш негізгі аспектімен байланысты: қарқындылығы жоғары кернеулердің жиынтық өрісін құру; топырақтың сұйылту және акустикалық босату күйіне өтуі; жұмыс органдарына топырақтың үйкеліс коэффициенті мен күштерінің төмендеуі.

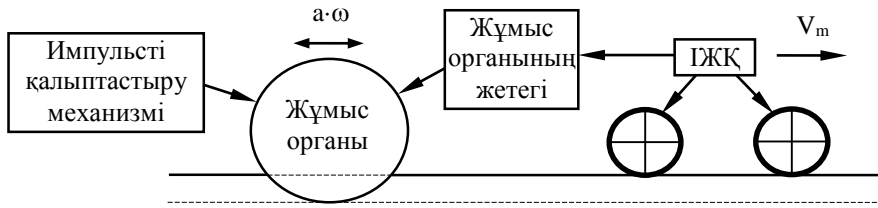
Жұмыстың мақсаты егіс жабдығының дірілдейтін дискілі жұмыс органдарын қолдану арқылы топырақты кесу тиімділігін арттыру, олардың жұмысының нақты параметрлерін анықтау, дірілдейтін жұмыс жабдықтарының параметрлерін инженерлік есептеу және таңдау әдістемесін әзірлеу болып табылады.

Егістік жұмыс жабдықтарының жаңа түрінің негізгі идеясы – белгілі бір тұрақты жылдамдыққа ие негізгі жұмыс қозғалысы бар диск құралына, негізгі қозғалыс бағытына сәйкес, салыстырмалы түрде аз энергиямен бағытталған қосымша бірлік діріл соққыларын қабаттастыру.

Топыраққа қосымша діріл әсері бар машинаның құрылымдық схемасы 1-суретте көрсетілген және жүріс жабдығы мен іштен жану қозғалтқышы бар базалық машинаны, дискілі жұмыс жабдығын, сондай-ақ күш импульстарын (діріл) қалыптастыру механизмін қамтиды.

Топырақты кесуге арналған тербелмелі жабдықтың негізгі параметрлері, құрал тербелістерінің жиілігі (ω (с^{-1})) мен a (м) амплитудасы, базалық машинаның ілгерілемелі қозғалысының V_m (м/с) жылдамдығы және қатар аралықтары енінің әртүрлі мәндері болып табылады.

Бұл жердегі толық шешілмеген маңызды сұрақ – бұл қондырғының жылдамдығы мен діріл жылдамдығының ара қатынасы.



1-сурет. Топыраққа импульстік әсер ететін машинаның құрылымдық схемасы
 Ескерту – автормен құрастырылған

Теориялық зерттеулер. Негізгі машинаның ілгерілемелі қозғалысының жылдамдығын ескере отырып, тербелістердің амплитудасы мен жиілігінің шамаларын таңдау тек сенімді математикалық есептеу әдістерін әзірлеу негізінде мүмкін болады.

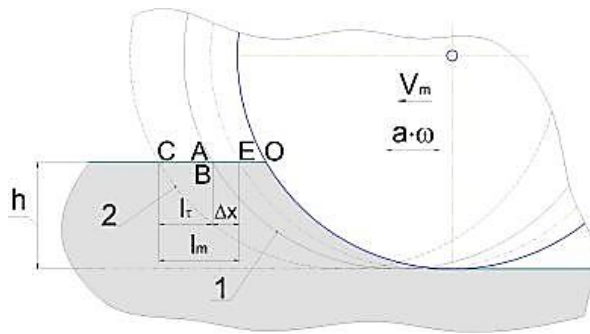
Дірілдеу процесінде диск құралының кескіш жиегі ω (1/c) жиілігі және амплитудасы a (м) тұрақты жылдамдықпен базалық машинаның қозғалысы бағытында V_m (2-сурет, 3-сурет) гармоникалық тербелістер жасасын (эксцентрикалық діріл жетегі үшін, $a=2e$, мұндағы e – эксцентриситет).

Негізгі машинаның қозғалыс бағытында дірілді кесу режиміне арналған $x(t)$ кесу жиегінің қозғалыс процесін диаграммаға сәйкес ұсынуға болады. 2-ші және 3-суретте екі қозғалыстың қосындысы түрінде: $x_m(t) = V_m \cdot t$ базалық машинаның қозғалысы және $x_{po}(t) = e \cdot (1 - \cos \omega t)$ жұмыс органының қосымша тербелістері. Бұл жағдайда жұмыс органының қозғалыс заңы (дискінің кесу жиегінің координатасының ағымдағы мәні) ағымдағы t уақыт координатасына байланысты көрсетілуі мүмкін:

$$x(t) = x_m(t) + x_{po}(t) = e \cdot (1 - \cos \omega t) + V_m \cdot t = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (1 - \cos \omega t) + V_m \cdot t \quad (1)$$

Жұмыс органының қозғалысы T тербеліс кезеңінің ұзақтығына сәйкес жеңілдетілген ара тісті сипатқа ие және, a тербеліс амплитудасымен жүреді делік.

Дискілі жұмыс органының топырақты дірілді кесу процесінің сызбасы 2-суретте көрсетілген. Кескіш жиектің қозғалыс траекториясы 3-суретте көрсетілген.

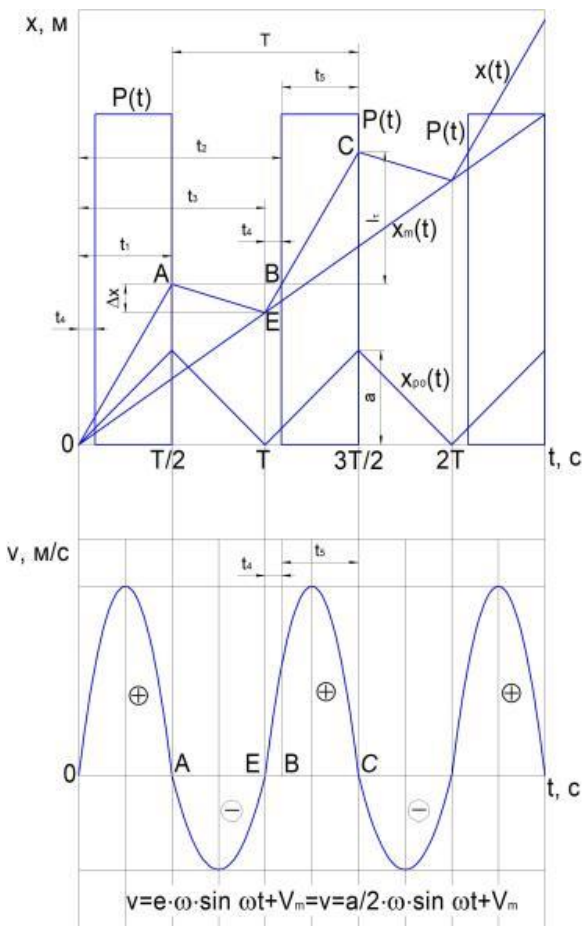


2-сурет. Құралдың көлденең тербелісі бар дірілді кесу процесінің схемасы
 Ескерту – автормен құрастырылған

Жұмыс құралы (диск) бастапқы O нүктесінде топыраққа енгізіледі және негізгі машинаның қозғалыс бағытында қозғалады. A нүктесінде кесу жиегінің қозғалысы максималды мәнге жетеді және мыжылған жер бойынша топырақтың деформациясы 1 аумақта жүреді. A нүктесінде тоқтағаннан кейін, кесу жиегінің кері қозғалысы кезінде оның Δx жолындағы топырақпен жанасудан шығуы A нүктесінен E, B нүктелеріне дейін жүргізіледі. E нүктесі кесу жиегінің топырақпен жанасуынан максималды шығуы, ары

қарай кесу жиегі тоқтайды және оның келесі қозғалысы машинаның қозғалыс бағытында басталады.

В нүктесінде кесу жиегі топырақпен жаңа байланысқа түседі және С нүктесіне дейін қозғалады, онда оның қозғалысы қайтадан максималды мәнге жетеді және мыжылған жер бойынша жаңа топырақ деформациясы 2 аумақта орын алады. Яғни, дірілдеу процесінде кесу жиегі топырақпен жанасады, содан кейін одан шығады.



3-сурет. Дірілді кесу механизмі (кесу жиегінің қозғалыс траекториясы, кесу жиегінің қозғалыс жылдамдығы, кесу күшінің импульстары)
 Ескерту – автормен құрастырылған

Кескіш құралдың ортаға динамикалық әсер ету шарты $t_4 > 0$ уақыты немесе $\Delta x > 0$ шегі болып табылады. Кесу жиегінің топырақпен әрекеттесуі t_5 уақытына созылады.

Кесетін жиектің топырақпен жанасатын қашықтығы - l_7 . OA және BC учаскелерінде P_0 кесу күшінің импульсі әрекет етеді. h тереңдігі себу үшін қажетті ойық тереңдігімен анықталады.

Құралдың қозғалысының максималды $x(t)$ координатасы А нүктесінде қол жеткізіледі, кесу жиегінің қозғалыс жылдамдығы нөлге тең. Кескіш жиектің қозғалысының жалпы жылдамдығы (негізгі машина мен діріл қозғалысының қозғалысы кезінде) мына формуламен сипатталады:

$$\dot{x}(t) = e \cdot \omega \cdot \sin \omega t + V_m \tag{2}$$

Өрнектен А нүктесінің координаты (1):

$$x_A = e \cdot (1 - \cos \omega t_1) + V_m \cdot t_1 = a + V_m \cdot t_1 = a + V_m \cdot \frac{T}{2} = a + V_m \cdot \frac{\pi}{\omega}$$

Е нүктесінің координаты:

$$x_E = e \cdot (1 - \cos \omega t_3) + V_m \cdot t_3 = V_m \cdot T = V_m \cdot \frac{2\pi}{\omega}$$

Жұмыс құралын (дискіні) А нүктесінен Е нүктесіне дейін жылжыту кезінде дискінің кесу жиегінің топырақпен жанасу аймағынан максималды шығуының Δx шамасын $\Delta x = x(t_1) - x(t_3)$ мәнінің өрнегінен табуға болады, мұндағы $x(t_1) = x_A$ және $x(t_3) = x_E$:

$$\Delta x = x(t_1) - x(t_3) = x_A - x_E = (a + V_m \cdot \frac{T}{2}) - V_m \cdot T = a - 0,5 \cdot V_m \cdot T \quad (3)$$

Соққы дірілін кесу механизмінен көрініп тұрғандай, Δx мәні оң мәнге ие болуы керек. Егер өлшем $\Delta x \leq 0$ болса, онда дірілдеу процесінде кесу жиегі жанасу аймағынан шықпайды, демек, бұзылу механизмі статикалық кесуге ұқсас.

Жұмыс ортасының бұзылуы жұмыс органының қоршаған ортамен өзара әрекеттесуінің t_5 уақытындағы жұмыс құралының импульстік күш әсерінің нәтижесі болып табылады (3-сурет). Енді діріл параметрлерінің кесу күшіне байланысы мен әсерін анықтайық.

Дірілді кесуге тән импульстік кесу күші функциясын Фурье қатарына бөлуге болады (Дроздов, 2011; Николаев & Союнов, 2017):

$$P(t) = \frac{t_5}{T} \cdot P_0 + \frac{2}{\pi} \cdot P_0 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \sin(n \frac{\tau}{T} \pi) \cdot \cos(n \omega t) \quad (4)$$

мұндағы n – функцияның Фурье қатарына ыдырау мүшесінің (гармоникасының) нөмірі; T – тербеліс кезеңі; t_5 – күштің импульстік әрекет ету уақыты; ω – жиек-кесу жиегінің тербелістерінің бұрыштық жиілігі, рад/с; P_0 – статикалық кесу күші.

Демек, (4) теңдеуінен күш импульсінің t_5 әсер ету уақытының азаюымен $P(t)$ кесу күшінің орташа мәні төмендейді, яғни дірілді кесу күші айтарлықтай, бірақ уақытына байланысты t_5 жұмыс органының ортамен өзара әрекеттесуіне байланысты (күш импульсінің P әрекет ету уақытында), 3-суретке сәйкес, орташа кесу күші төмендегідей болады:

$$P_{cp} = \frac{T - t_4}{T} \cdot P_0 = (0,5 - \frac{t_4}{T}) \cdot P_0 \quad (5)$$

(5) теңдеуден кесу күшін азайту үшін t_4 уақытын көбейтуге ұмтылу керек екенін көруге болады, ол құралдың негізгі машинаның қозғалыс бағытында қозғала бастағаннан кейін топырақпен байланысқа түсуіне байланысты (Устинов et al, 2022; Федоренко, 2016;

Дудкин et al, 2023). Сонымен қатар, t_4 уақыты t_5 уақытына қарағанда кесу күшін азайту үшін үлкен маңызға ие.

t_4 уақыты тербеліс амплитудасының өсуімен баяу артады. t_4 уақыты теріс мәндерді қабылдай алмайтыны анық ($t_4 \geq 0$), өйткені бұл жағдайда құрал топырақпен жанасудан шықпайды және дірілді кесу режимі қамтамасыз етпейді. Бұл талап орындалады, егер $a \cdot \omega > \pi \cdot V_m$ орындалса.

Жұмыс органының топырақпен өзара әрекеттесуінің t_5 уақытын көрсетейік:

$$t_5 = \frac{T}{2} - t_4 = \frac{\pi}{\omega} \cdot (1 - \frac{a \cdot \omega - \pi \cdot V_m}{a \cdot \omega + \pi \cdot V_m}) = \frac{\pi}{\omega} \cdot (1 - \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}) \quad (6)$$

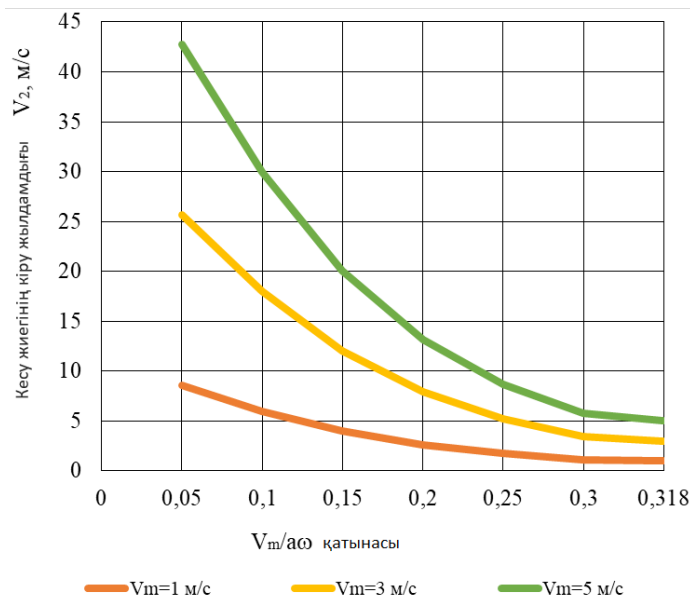
t_2 уақыты дискінің кесу жиегінің (О нүктесі) қозғалысының басынан бастап топыраққа қайта енгізілгенге дейін (В нүктесі), біз оны 3-суреттен табамыз:

$$t_2 = T + t_4 = T + \frac{\pi}{\omega} \cdot \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}} = \frac{\pi}{\omega} \cdot \left(2 + \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}} \right)$$

t_2 уақытын анықтағаннан кейін V_2 анықтауға болады – жұмыс жабдығының кесу жиегін топыраққа енгізудің бастапқы жылдамдығы (В нүктесі, 2-сурет, 3-сурет) құралдың топыраққа әсер етуінің кинетикалық энергиясын сипаттайды:

$$V_2 = e \cdot \omega \cdot \sin \omega t_2 + V_m = \frac{a}{2} \cdot \omega \cdot \sin \left(\pi \cdot \left(2 + \frac{1 - \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}}{1 + \pi \cdot \frac{V_m}{a \cdot \omega}} \right) \right) + V_m$$

V_2 жұмыс органының топыраққа ену жылдамдығы $V_m/(a \cdot \omega)$ өлшемсіз параметрінің жоғарылауымен және $V_m/(a \cdot \omega) = 0,318$; $V_2 = V_m$ (4-сурет), яғни дірілді кесу тоқтайды және процесс қарапайым статикалық түзетуге ұқсас болады (Дудкин et al, 2023; Mikhail Doudkin et al, 2013). Осылайша, V_m базалық машинасының үдемелі қозғалыс жылдамдығын төмендету немесе $a \cdot \omega$ діріл жылдамдығын арттыру, топырақты кесу күшінің айтарлықтай төмендеуін қамтамасыз ете алады.



4-сурет. $V_m/(a \cdot \omega)$ қатынасының кесу жиегін енгізу жылдамдығына әсері
Ескерту – автормен құрастырылған

Дірілді кесу параметрлерін анықтау әдістемесі. Дірілдеу процесінің ұтымды параметрлерін таңдау үшін біз кесу күшінің ең аз мәніне қол жеткізілетін t_5/T уақыттың ең аз мүмкін мәндерінің критерийін, сондай-ақ топырақтың деформациясы үшін жеткілікті құрал пышағын енгізу үшін қажетті I_T тереңдігіне қол жеткізу шартын қолданамыз.

Тербелістердің амплитудасын анықтайық:

$$a \geq \frac{l_{\tau}}{2\pi} \cdot \frac{\omega \cdot a}{V_m} = \frac{l_{\tau}}{2\pi \cdot (0..0,318)} = \frac{0,01}{2\pi \cdot 0,11} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм}$$

Амплитудасын біле отырып және негізгі шассидің қозғалысының V_m жылдамдығының мәнін қабылдай отырып, тербелістің қажетті жиілігін ω анықтауға болады. $V_m/(a \cdot \omega) = 0,11$, $V_m = 3 \text{ м/с}$, $a = 0,014 \text{ м}$, тербеліс жиілігі үшін:

$$\omega = \frac{V_m}{a} \cdot \left(\frac{a \cdot \omega}{V_m} \right) = \frac{V_m}{(0..0,318) \cdot a} = \frac{3}{0,11 \cdot 0,014} = 1948 \text{ с}^{-1} = 18600 \text{ тербеліс/мин.}$$

Ұсынылған әдіс жобалау кезеңінде диск жұмыс органының дірілді кесудің тұрақты режимін қамтамасыз ететін жұмыс жабдықтарының ұтымды параметрлерін алуға мүмкіндік береді.

Эксперименттік зерттеулер. Эксперименттік зерттеулерді жүргізудің мақсаты алынған теориялық ережелерді, ұтымды параметрлерге қол жеткізу шарттарын және дискілі діріл жұмыс органының жұмыс режимдерін тексеру болып табылады.

Эксперименттік зерттеулер жүргізу кезінде инерциялық діріл қоздырғышымен қосымша жабдықталған және арнайы әзірленген зерттеу стендіне орнатылған табиғи дискілі жұмыс органы пайдаланылды (5-сурет).

Кесу тереңдігі 40 мм және 80 мм. тербеліс жиілігі 10 Гц-тен 50 Гц-ке дейін, амплитудасы 1-ден 5 мм-ге дейін өзгерді. Тәжірибе үш рет қайталанады.



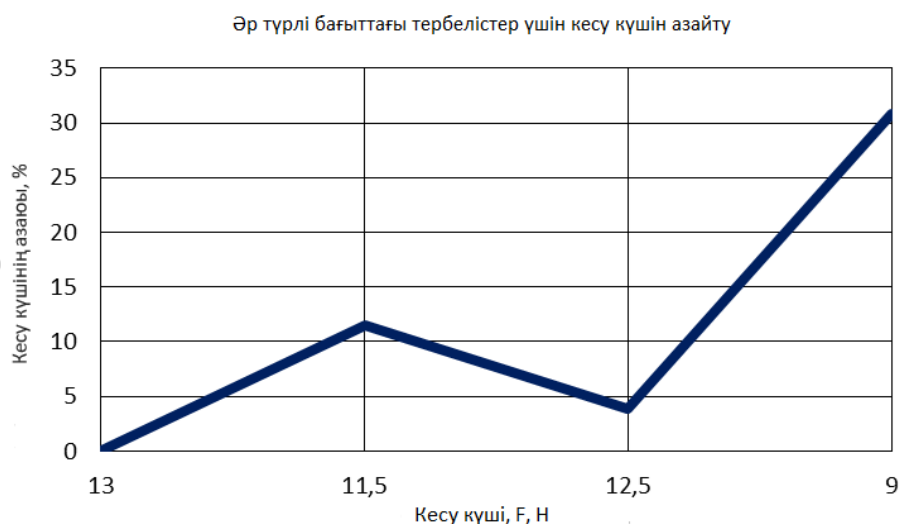
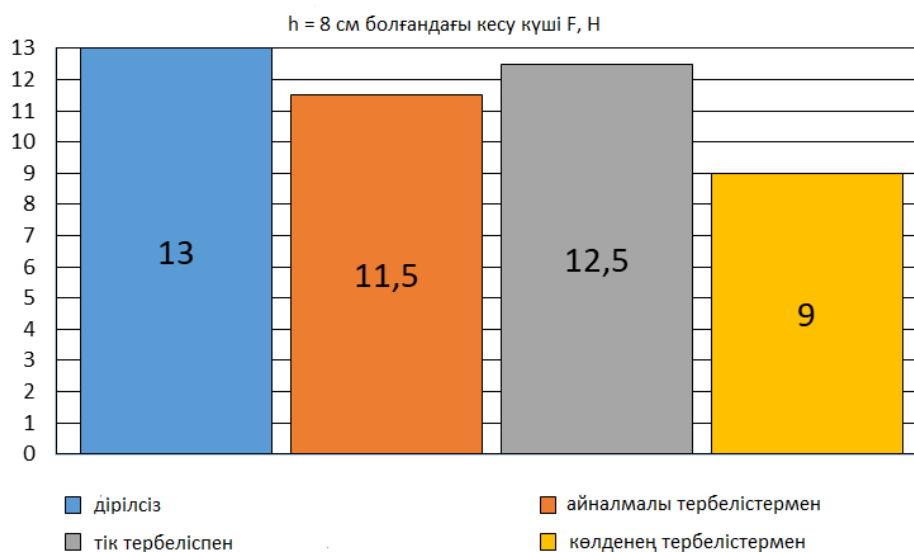
5-сурет. Қатарлар арасындағы ені мәнін ескермей, сепкіштің дірілдейтін дискілі жұмыс органдарын зерттеуге арналған эксперименттік стенд

Ескерту – автормен құрастырылған

Стенд (5-сурет) 1-топырақ науасынан, 2-тартқыш арбадан тұрады, оған 3-заттай дискілі жұмыс органы ілінеді, 5-жылдамдықты көп арналы реттегіші бар 4-тартқыш жүк шығырдан тұрады. Тартқыш шығыр кабелі тартқыш арбаға электронды динамометр 6 арқылы қосылады. Диск жұмыс органының жақтауына инерциялық тербеліс генераторы (вибратор) 7 бекітілген, бұл амплитудасы мен тербеліс жиілігін әр түрлі диапазондарда

өзгертуге мүмкіндік береді, сонымен қатар жылдамдық жиілігінің реттегішіне қосылған. Тербеліс амплитудасы электронды виброметрмен 8 өлшенеді (VT-27 немесе Baltech 1470), оның сенсоры 9 жұмыс органына қосылады.

Эксперименттердің нәтижелері өңделеді және график түрінде ұсынылады (6-сурет).



6-сурет. Тербеліс бағытының кесу күшінің шамасына әсері

Ескерту – автормен құрастырылған

Эксперименттер дискілі жұмыс органының тербеліс бағытынан кесу күшінің шамасының өзгеруін зерттеді. Зерттеулер 50 Гц тербеліс жиілігінде, амплитудасында, $a = 4$ мм және айналмалы бағандар үшін 0,2 м/с негізгі қозғалыс жылдамдығында жүргізілді. Кесетін құралдың қосымша тербелісі төмен кесу жылдамдығымен топырақты кесу бағытына сәйкес келетін бағытта тартылыс күші басқа тербеліс түрлерімен салыстырғанда 30 %-ға төмендейді.

Графиктерден $V_m/(a-\omega) = 0,5$ кезінде дірілдеу кесу күшінің азаюына әкелмейтінін көруге болады. Дегенмен кейбір әсер топырақтың жалған сұйылтылуына байланысты болады, ал $V_m/(a-\omega)=0,16$ кезінде дірілдеу статикалық кесумен салыстырғанда кесу тереңдігі 4 см болғанда кесу күші 31 % төмендесе, ал кесу тереңдігі 8 см болғанда 29 %-ға төмендейді. Бұл $0 < V_m/(a-\omega) \leq 0,318$ теориялық тұрғыдан алынған өлшемсіз қатынасының өзгеру шекараларының дұрыстығын көрсетеді.

Қорытынды және тұжырымдар. Жоғары жылдамдықты сепкіштер үшін кесуге төзімділік күштерін және топырақты өңдеудің энергия сыйымдылығын төмендету өзекті болып табылады. Ол үшін жұмыс органдары діріл тербелістерінің ұтымды режимін таңдаумен бірге, себу ортасына тербеліс әсерін тиімді қолдану.

Теориялық зерттеулердің нәтижесінде дискінің жұмыс органы топырақты дірілдеп кесу процесінің механикалық-математикалық моделі жасалды. $V_m/(a-\omega)=0 \dots 0,318$ өлшемсіз параметрінің мәні дискінің жұмыс органының тұрақты және дірілмен кесілуі арасындағы шекараны және базалық машинасының ілгерілемелі қозғалыс жылдамдығын $V_m < 0,318 \cdot (a-\omega)$ шектеу шартын анықтайды.

Эксперименттік зерттеулер дискілік жұмыс органының топырақты кесу процесіне діріл әсерінің тиімділігін және кесу күшінің төмендеуін растады. Негізгі машинаның ілгерілемелі жылдамдығының бағытына сәйкес тербеліс бағытында топырақты дірілмен кесу дискілік жұмыс органының тарту кедергісін 30 %-ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді. Тиісінше энергия шығындарын азайтуға болады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Нәтижелері осы мақалада келтірілген зерттеулерді ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (АР14869252 «Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік өндірісі жағдайында пайдалану үшін өнімділігі жоғары әмбебап егіс кешенінің конструкциясын әзірлеу» гранты шарт бойынша 217/30-22-24 18.11.2022 ж.).

Әдебиеттер тізімі

- Спасин И.А. Сельскохозяйственная техника и технологии. – М.: Колос, 2006. – 682 с. // Spasina I.A. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika i tekhnologii. – М.: Kolos, 2006. – 682 s.
- Инновационные разработки дисковых сошников для посевных агрегатов / В.Р. Петровец [и др.]. – Горки: БГСХА, 2019. – 316 с.: ил. – ISBN 978-985-467-926-6 // Innovacionnye razrabotki diskovyh soshnikov dlya posevnyh agregatov / V.R. Petrovec [i dr.]. – Gorki: BGSKHA, 2019. – 316 s.: il. – ISBN 978-985-467-926-6.
- Дудкин М.В., Вавилов А.В., Ким А.И., Гурьянов Г.А., Млынчак М. Анализ тенденций развития посевных комплексов, их основных узлов и агрегатов // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, № 4, 2022. – Усть-Каменогорск. – С. 75-85. DOI 10.51885/1561-4212_2022_4_75 // Dudkin M.V., Vavilov A.V., Kim A.I., Gur'yanov G.A., Mlynchak M. Analiz tendencij razvitiya posevnyh kompleksov, ih osnovnyh uzlov i agregatov // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbaeva, № 4, 2022. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 75-85. DOI 10.51885/1561-4212_2022_4_75
- Kim A.I., Doudkin M.V., Rogovsky V.V., Doudkina Ye.L., Mlynchak M. Review and analysis of existing designs of seeding machines // Vestnik VKTU named after D. Serikbayev. – Ust-Kamenogorsk: EKTU, 2022. – № 4. – P. 130-139.
- Aduov M., Nukusheva S., Kaspakov E., Isenov K., Volodya K. and Tulegenov T. Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan // Acta agriculturae scandinavica, Section B: Soil & Plant Science. – 2020. – Vol. 70. – No. 6. – P. 525-531. – <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784994>.
- Трофимов И.В. Обоснование конструктивно-режимных параметров вибрационного культиватора для предпосевной обработки почвы. Автореф. дисс. канд. техн. наук по спец. 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Оренбургский государственный аграрный университет. Оренбург, 2018. 20 с. // Trofimov I.V. Obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov vibracionnogo kul'tivatora dlya predposevnoj obrabotki pochvy. Avtoref. diss. kand. tekhn.

- nauk po spec. 05.20.01 – Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. Orenburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. Orenburg, 2018. – 20 s.
- Дроздов С.Н. Использование вибрации в почвообрабатывающих машинах // Известия ОГАУ. – 2011. – № 4. – С. 94-96 // Drozdov S.N. Ispol'zovanie vibracii v pochvoobrabatyvayushchih mashinah // Izvestiya OGAU. – 2011. – № 4. – S. 94-96.
- Николаев Л.А., Союнов А.С. Применение вибрации в обработке почвы // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – №1(8). – URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1-/35-statya-2017-1/775-00302>. ISSN 2413-4066// Nikolaev L.A., Soyunov A.S. Primenenie vibracii v obrabotke pochvy // Elektronnyj nauchno-metodicheskij zhurnal Omskogo GAU. – 2017. – №1(8). – URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/775-00302>. ISSN 2413-4066
- Применение механических колебаний в сельском хозяйстве: монография / Н.Н. Устинов, С.П. Пирогов, Д.А. Черенцов, А.Ю. Чуба, С.Н. Кокошин. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. – 131 с. – URL: <http://www.tsaa.ru/documents/publications/2022/monografiyaustinov.pdf>. – Текст: электронный// Primenenie mekhanicheskikh kolebanij v sel'skom hozyajstve: monografiya / N.N. Ustinov, S.P. Pirogov, D.A. Cherencov, A.YU. Chuba, S.N. Kokoshin. – Tyumen': GAU Severnogo Zaural'ya, 2022. – 131 s. – URL: <http://www.tsaa.ru/documents/publications/2022/monografiyaustinov.pdf>. – Tekst: elektronnyj.
- Федоренко И.Я. Вибрационные процессы и устройства в АПК: монография. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. – 289 с.// Fedorenko I.YA. Vibracionnye processy i ustrojstva v APK: monografiya. – Barnaul: RIO Altajskogo GAU, 2016. – 289 s.
- Дудкин М.В., Ким А.И., Яковлев В.С., Роговский В.В., Вавилов А.В., Гурьянов Г.А., Курмангалиев Т.Б., Млынчак М. Обоснование конструкции и разработка новой комбинированной посевной секции для работы в условиях агропромышленного комплекса Казахстана // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, № 2, 2023. – Усть-Каменогорск. – С. 60-73. DOI 10.51885/1561-4212_2023_2_60 // Dudkin M.V., Kim A.I., YAKovlev V.S., Rogovskij V.V., Vavilov A.V., Gur'yanov G.A., Kurmangaliev T.B., Mlynchak M. Obosnovanie konstrukcii i razrabotka novoj kombinirovannoj posevnoj sekcii dlya raboty v usloviyah agropromyshlennogo kompleksa Kazahstana // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbaeva, № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 60-73. DOI 10.51885/1561-4212_2023_2_60
- Дудкин М.В., Ким А.И., Яковлев В.С., Роговский В.В., Вавилов А.В., Гурьянов Г.А., Курмангалиев Т.Б. Определение усилий и тягового сопротивления внедрению дисков сошников посевной секции в почву // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, № 3, 2023. – Усть-Каменогорск. – С. 158-175. DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_158// Dudkin M.V., Kim A.I., YAKovlev V.S., Rogovskij V.V., Vavilov A.V., Gur'yanov G.A., Kurmangaliev T.B. Opredelenie usilij i tyagovogo soprotivleniya vnedreniyu diskov soshnikov posevnoj sekcii v pochvu // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbaeva, № 3, 2023. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 158-175. DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_158
- Mikhail Doudkin, Alina Kim, Vladimir Yakovlev, Valery Rogovskiy, Andrey Vavilov, Georgiy Gurianov, Timur Kurmangaliyev, Seeding Section Design Development and Determination of the Forces and Driving Resistance to the Penetration of its Disc Coulters into the Soil // International Review of Mechanical Engineering (I.RE.M.E.), Vol 17, No 4 (2023). – P. 178-189. DOI: <https://doi.org/10.15866-ireme.v17i4.23371>
- Пименов А.В. Выбор сеялки прямого посева // Аграрный консультант. 2013. No 1 (6). - С. 14-16// Pimenov A.V. Vybor seyalki pryamogo poseva // Agrarnyy konsul'tant. 2013. No 1 (6). – S.
- Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 2011. – 342 с. // Vetrov YU.A. Rezaniye gruntov zemleroynymi mashinami. – M.: Mashinostroyeniye, 2011. – 342 с.

Information about authors

Moldakhanov Bekbolat – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: bek_m78@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2977-693X, +7 778 638 9394

Rogovsky Valery Vladimirovich – senior lecturer, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. Email: gerat1302@mail.ru

Bugaev Andrey – doctoral student of D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. E-mail: andbugaev@mail.ru

Yelemanov Daniyar – senior lecturer, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. Email: atonai2009@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3530-9476>

МЕТАЛЛУРГИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ
METALLURGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_77
IRSTI 53.01.77

D.N. Saprykin¹, M.A. Sadenova¹, N.A. Kulenova¹, P.S. Varbanov²

¹D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: saprykin-dmitry@mail.ru*

E-mail: MSadenova@ektu.kz

E-mail: 3007kulenova53@gmail.com

²Széchenyi István University Egyetem, Hungary

E-mail: varbanov.petar.sabev@sze.hu

**RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF INTENSIFICATING THE PROCESS
OF REDUCTION OF ZINC CONCENTRATE IN A FLUIDIZED BED USING MATHEMATICAL
MODELING METHODS**

**МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП
ҚАЙНАҒАН ҚАБАТТА МЫРЫШ КОНЦЕНТРАТЫН КҮЙДІРУ ПРОЦЕСІН
КҮШЕЙТУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ОБЖИГА
ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Аңдатпа. Бұл жұмыста цинк концентратын математикалық модельдеу әдістерін қолдана отырып, сұйық қабаттағы пештерде күйдіру процесін күшейту мүмкіндігі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты мырыш оксидінің шығымдылығын арттыру және энергия шығындарын азайту үшін күйдіру шарттарын оңтайландыру болып табылады. Реакция кинетикасын және масса және жылу алмасу процесстерін сипаттайтын математикалық модельдерді пайдалана отырып, температура, күйдіру уақыты және бастапқы материалдың құрамы сияқты негізгі параметрлер талданады. Аэрацияның және реагенттерді қосудың реакция жылдамдығы мен тиімділігіне әсері қарастырылады. Жұмыстың эксперименттік бөлімі математикалық модельдерді растауға және теориялық болжамдарды растауға мүмкіндік беретін зертханалық сынақтарды қамтиды. Нәтижелер көрсеткендей, ұсынылған интенсификация әдістері қуыру процесінің тиімділігін айтарлықтай жақсартады, шығарындыларды азайтады және тұрақты өндіріске ықпал етеді. Алынған мәліметтер өнеркәсіпке енгізу және мырыш концентраттарын өңдеу саласында жаңа технологиялық шешімдерді әзірлеу үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: Мырыш концентраттарын күйдіру, интенсификациялау, аэрациялау, математикалық модельдеу, сұйық қабат, масса алмасу.

Аннотация. В данной работе исследуется возможность интенсификации процесса обжига цинкового концентрата в печах кипящего слоя с применением методов математического моделирования. Целью исследования является оптимизация условий обжига для повышения выхода оксида цинка и снижения энергетических затрат. Используя математические модели, описывающие кинетику реакций и процессы переноса массы и тепла, анализируются ключевые параметры, такие как температура, время обжига и состав исходного материала. Рассматривается влияние аэрации и добавления реагентов на скорость и эффективность реакции. Экспериментальная часть работы включает лабораторные испытания, которые позволяют валидировать математические модели и подтвердить теоретические прогнозы. Результаты показывают, что предложенные методы интенсификации значительно улучшают эффективность процесса обжига, уменьшают выбросы и способствуют более устойчивому производству. Полученные данные могут быть полезны для внедрения в промышленность и разработки новых технологических решений в области переработки цинковых концентратов.

Ключевые слова: Обжиг цинковых концентратов, интенсификация, аэрация, математическое моделирование, кипящий слой, массовый обмен.

Abstract. This paper examines the possibility of intensifying the process of roasting zinc concentrate in fluidized bed furnaces using mathematical modeling methods. The purpose of the study is to optimize firing conditions to increase the yield of zinc oxide and reduce energy costs. Using mathematical models describing reaction kinetics and mass and heat transfer processes, key parameters such as temperature, firing time and composition of the starting material are analyzed. The effect of aeration and the addition of reagents on the speed and efficiency of the reaction is considered. The experimental part of the work includes laboratory tests that allow us to validate mathematical models and confirm theoretical predictions. The results show that the proposed intensification methods significantly improve the efficiency of the roasting process, reduce emissions and contribute to more sustainable production. The data obtained can be useful for implementation in industry and the development of new technological solutions in the field of processing zinc concentrates.

Keywords: Roasting of zinc concentrates, intensification, aeration, mathematical modeling, fluidized bed, mass exchange.

Introduction. In the modern world, metallurgy plays an important role in the development of economy and industry. One of the key processes in metallurgical production is the fluidised bed roasting of zinc concentrate. This process is of great importance for obtaining quality zinc product.

The operation of the fluidised bed furnace is based on the circulation of gas, which is fed from below through a bed of loose particles. The gas creates a lifting force, lifting and agitating the particles, which ensures a uniform distribution of temperature and reactant concentration. The pipework ensures reliable movement of both gas and solids, maintaining stable process conditions.

Ensuring the efficient operation of fluidised bed furnace pipework is important to ensure the safety and efficiency of the production process. One of the ways to improve the efficiency of pipework is stabilisation and uniform mixing of the air mixture. This raises the need to investigate the possibilities of intensification of the firing process using mathematical modelling methods (Alkatsev et al., 2022).

Mathematical modelling allows to analyse and predict the behaviour of the system, identify patterns and optimise its operation (Alkatsev et al., 2020). In this case, mathematical modelling of the process of oxygen-air mixture supply for zinc concentrate roasting in the fluidised bed will help to determine the optimal process parameters, such as temperature, air flow rate and others, to achieve maximum productivity and product quality.

Object and methods of research. The object of the study was pipework designed to mix oxygen with air in certain proportions. A fluidised bed furnace pipeline is a system of pipes designed to transport gases and/or particles (e.g. bulk materials) during fluidised bed firing (Krashennikov and Savchenko, 2013). The main characteristics of the pipeline are:

1. **Materials:** The pipework can be made of various materials such as steel, stainless steel or special alloys resistant to corrosion and high temperatures.

2. **Diameter:** The diameter of the pipework is determined according to the flow volume and material characteristics. Generally large diameter pipes are used to ensure efficient movement of gaseous mixtures.

3. **Design:** The pipework is available in a variety of configurations including straight sections, elbows and connections, allowing for optimum system organisation depending on the project requirements.

4. **Insulation:** In some cases, pipework may be insulated to reduce heat loss or prevent condensation.

5. **Monitoring systems:** Pipelines can be equipped with pressure, temperature and flow sensors to monitor process status.

The basic schemes (existing today) of mixing of two gas streams of oxygen and air for blower machines are shown in Figure 1. Blower #1 with oxygen supply in the centre of the pipeline (Figure 1a) and Blower #2 with oxygen supply near the sector elbow (Figure 1b).

Since mixing of air and oxygen is usually carried out in a short period of time on a path of relatively small dimensions, the resulting oxygen-air mixture entering the blowers will be inhomogeneous and local formation of zones with higher oxygen content (more than 40%) is possible. From the material presented in (Safety Instructions for Production and Consumption of Air Separation Products [Electronic Resource]) it follows that blower fans can safely operate in a gas environment with an oxygen concentration of less than 40%.

In order to achieve a more uniform mixing of oxygen and air flows, we modelled the reconstruction of the pipeline by installing a conical confuser nozzle. A confuser nozzle (confuser) is a part of a technical device, which is a channel that smoothly tapers into a smaller diameter pipe. Confusers are used to accelerate the flow of gas or liquid by reducing the cross-sectional area of the channel, thus increasing the flow velocity and pressure. Depending on the application, confuser nozzles can have different shapes and sizes. They are widely used in various technical devices and systems such as:

- internal combustion engines;
- jet engines;
- gas turbines;
- wind tunnels;
- ventilation and air conditioning systems;
- pumps and compressors.

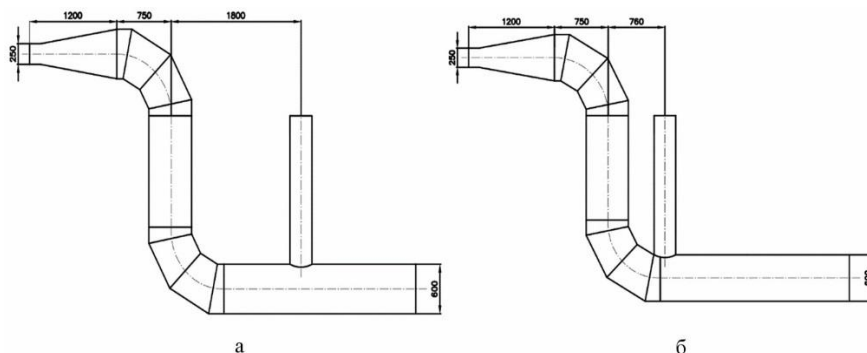


Figure 1. Basic schemes (existing today) for mixing the two gas streams oxygen and air for blower machines: a – blower No.1 with oxygen supply in the centre of the pipeline; b – blower No.2 with oxygen supply near the sector elbow

Note – compiled by the authors

The principle of operation of the confuser is based on the law of conservation of energy, according to which the flow velocity increases as the cross-sectional area decreases. At the same time, the potential energy of pressure is converted into kinetic energy of motion. The use of confusers allows optimising the operation of various systems and devices, ensuring more efficient use of energy and increased productivity.

Peculiarities of pipelines operation in conditions of mixing of two gas flows of oxygen and air can be determined by the method of computational modelling (Borodin, 2008). The possibility of inhomogeneous oxygen-air mixture formation at different initial parameters (temperature, flow rate and pressure) was assessed using the developed mathematical model in Ansys software and calculation complex. Ansys is a powerful tool for solving complex engineering problems and helps to improve the efficiency and reliability of designs. Ansys is designed for numerical modelling of various physical processes, which allows solving problems in deformable solid mechanics, hydrodynamics, heat transfer and other areas of physics (Krivtsov and Shabliy, 2013).

Numerical modelling methods have an advantage over experimental studies, as they can be used to obtain more complete information about the process under study. (Minkov and Moiseeva, 2017). In contrast to experiment, practically the whole area under study is available for calculation. It is very difficult when conducting experiments to measure the distribution of all variables affecting the process in the entire study area. (Salich, 2017).

Therefore, obtaining images of the processes occurring in the pipelines at mixing of two gas streams, obtained as a result of numerical modelling, allows to promptly identify design deficiencies and develop ways to eliminate them in further design (Mukhametdzhanova et al., 2021).

Results and their discussion. The process of formation of a homogeneous gas mixture when mixing two gas streams with different thermodynamic parameters is of great importance. (Ivakina et al., 2021). When mixing air and oxygen streams, it is possible to form air-oxygen mixture streams with increased oxygen concentration, which is a highly undesirable phenomenon because it can lead to negative consequences. (Xu et al., 2023).

Oxygen is known to be an active oxidising agent and many substances as well as materials in oxygen or oxygen-rich air environments form systems with increased fire and explosion hazards. (Liu et al., 2021; Harris, 2020). Therefore, the issues of ensuring trouble-free operation of pipelines under different oxygen and air streams are very important. Since the oxygen content in the oxygen stream supplied for mixing varies up to 96%, a nomogram was constructed (Figure 2) showing the dependence of air flow rate on the flow rate and oxygen content in it under normal conditions.

At oxygen supply with concentration equal to 96%, no exceeding of critical values of oxygen concentration in the mixture is observed. Optimum values can be seen at air supply of 16000-33000 Nm³/h and oxygen supply of 4000-5000 Nm³/h respectively. The oxygen concentration in the mixture may exceed the critical values at air and oxygen supply readings between 16000-19000 Nm³/h and 5500-6000 Nm³/h respectively. It follows from the data obtained that the oxygen content in the mixture depends on the flow rate of the mixed streams and the oxygen content in the supplied oxygen stream and may approach or exceed the critical value.

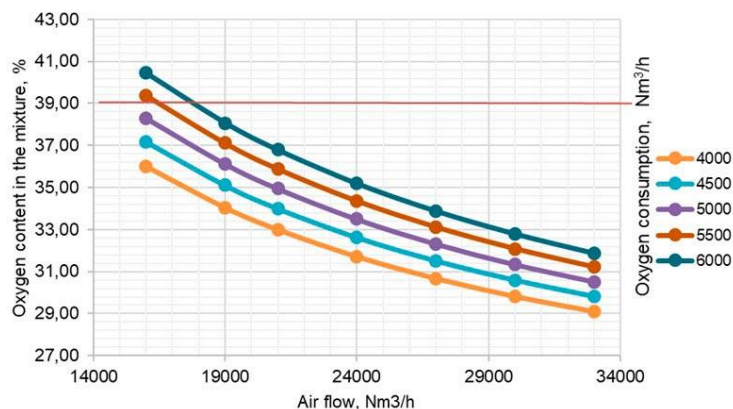


Figure 2. Dependence of oxygen content in air-oxygen mixture on air and oxygen flow rates under normal conditions (96% oxygen concentration)

Note – compiled by the authors

Mathematical modelling has been performed and results of the process of mixing of oxygen and air streams for blowers No.1 and No.2 have been obtained at average oxygen concentration in the stream – 96% and air and oxygen flow rates of 20000 and 5000 Nm³/h. Figure 3 shows the mathematical model of the field of oxygen concentration distribution within the cross-

section of the calculation area at the existing method of mixing of air and oxygen streams at the following parameters: volume flow rate of oxygen stream 5000 Nm³/h and air 20000 Nm³/h; initial temperature of oxygen 20°C, air 25°C.

In the investigated mixing units for blowers #1 and #2, the merging of two streams (air and oxygen) at 90° angle provides a rectangular tee that introduces very strong perturbations, and an uneven distribution of oxygen concentration can be seen.

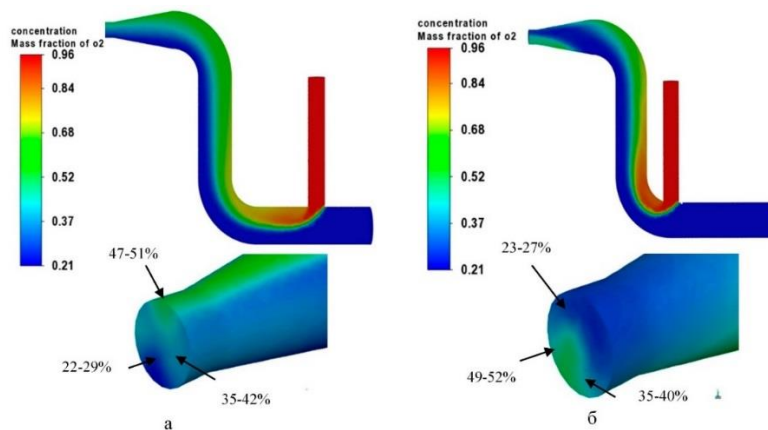


Figure 3. Oxygen concentration distribution field within the cross-section of the design area under the existing method of mixing air and oxygen flows:
a – for blower machine No.1; b – for blower machine No.2

Note – compiled by the authors

One way of eliminating the non-uniform distribution of oxygen concentration fields when mixing two gas streams of air and oxygen is to make design changes to the mixing units themselves, and the other is to act on the non-uniformity that already exists. This can lead to changes in the resistance in the system. (Peng et al., 2020; Berdiyarov, Kim, & Nasyrov, R. 2021). In this case, the main objective is that the resistance does not change, and if it does, it does not change to a very large extent.

We propose to install a conical confuser nozzle in the duct cross-section in the area of connection with the oxygen pipeline. Figure 4 shows the geometric and calculation models of the proposed two-flow mixing unit for blower No. 2. Figure 5 shows the mathematical model of the field of oxygen concentration distribution within the cross-section of the design area at mixing of air and oxygen streams at installation of a conical confuser nozzle in the duct cross-section in the area of oxygen pipeline connection for blower machines No.1 and No.2 at the following parameters: volume flow rate of oxygen stream 5000 Nm³/h and air 20000 Nm³/h; initial temperature of oxygen 20°C, air 25°C.

One way of eliminating the non-uniform distribution of oxygen concentration fields when mixing two gas streams of air and oxygen is to make design changes to the mixing units themselves, and the other is to act on the non-uniformity that already exists. This can lead to changes in the resistance in the system. (Peng et al., 2020; Berdiyarov, Kim, & Nasyrov, R. 2021). In this case, the main objective is that the resistance does not change, and if it does, it does not change to a very large extent.

We propose to install a conical confuser nozzle in the duct cross-section in the area of connection with the oxygen pipeline. Figure 4 shows the geometric and calculation models of the proposed two-flow mixing unit for blower No. 2. Figure 5 shows the mathematical model of the field of oxygen concentration distribution within the cross-section of the design area at

mixing of air and oxygen streams at installation of a conical confuser nozzle in the duct cross-section in the area of oxygen pipeline connection for blower machines No.1 and No.2 at the following parameters: volume flow rate of oxygen stream 5000 Nm³ /h and air 20000 Nm³ /h; initial temperature of oxygen 20°C, air 25°C.

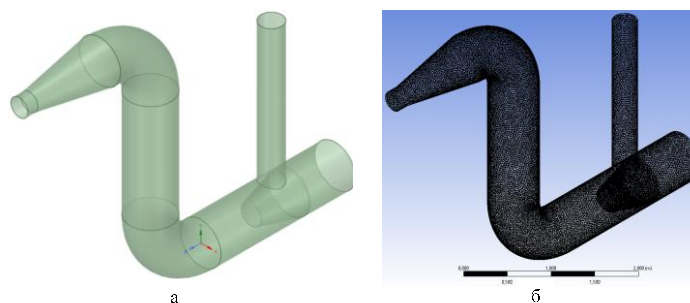


Figure 4. Three-dimensional model of the oxygen and air flow mixing unit when a conical confuser nozzle is installed in the duct cross-section in the area of connection with the oxygen pipeline for blower #1: a – geometric model; b – mesh model

Note – compiled by the authors

The computational modelling of the process of mixing of two streams, presented in Figure 4, showed that the introduction of a conical confuser nozzle into the flowing part of the duct initially eliminates direct contact of the oxygen stream with the air stream.

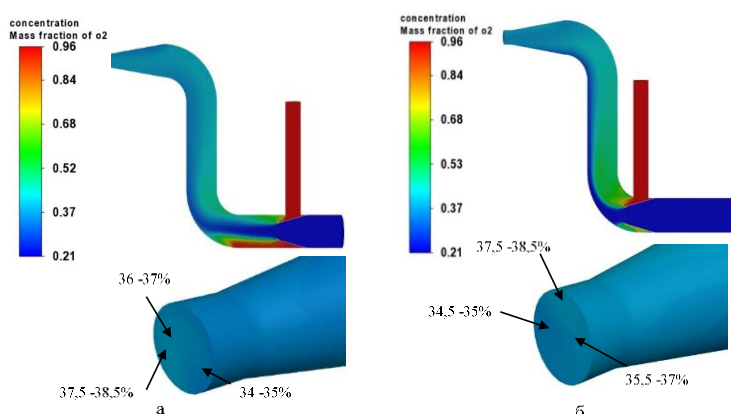


Figure 5. Oxygen concentration distribution field within the cross-section of the calculation area at mixing of air and oxygen flows when a conical confuser nozzle is installed in the duct cross-section in the area of oxygen pipework connection: a – for blower machine No.1; b – for blower machine No.2

Note – compiled by the authors

This leads to the fact that the oxygen flow, meeting on its way resistance in the form of a conical confuser nozzle, makes a 90° turn and presses against the walls of the duct, which is clearly seen in Figure 5 a, b, showing the distribution fields of oxygen concentrations within the cross-section of the calculation area at mixing of air and oxygen flows for blowers No. 1 and No. 2.

Conclusion. According to the results of the conducted research it was established that due to geometrical features of mixing units for blower machines No.1 and No.2, the resulting high-speed flow of oxygen-air mixture is characterised by a complex structure including swirl areas characterised by different pressure, velocity, temperature and oxygen concentration.

The installation of a conical confuser nozzle leads to the separation of the flow of streams and further their mixing at the same velocity direction, as a result of which the total volume of the gas mixture increases. As the nozzle presses on the direct air flow, there is a noticeable ejection effect, which favours the suction of oxygen from the side channel.

The main advantage of such organisation of mixing of two streams is to ensure uniform distribution of oxygen concentration at the outlet of the confuser, not exceeding 39%, at air flow rate of 20000 Nm³/h and oxygen flow rate of 5000 Nm³/h.3.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- Alkatsev, V.M., Ivanov, A.N., & Petrov, K.V. (2022). Mathematical modelling of the roasting process in a fluidised bed. *Journal of Metallurgical Processes*, 12(3), 89-97.
- Alkatsev V.M. M. M., Rutkovsky A.L., Makoeva A.K. Mathematical modelling of zinc concentrate roasting in a fluidised bed. *iPolytech Journal*. 2022;26(4):669-676. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-669-676>.
- Krashennnikov S.V., Savchenko O.V. Modelling of mixing in a swirling flow in the Ansys program // *Bulletin of Samara State Aerospace University named after S.P. Korolev*. – 2013. – № 3 (41). – С. 128-131.
- Instruction on safety in the production and consumption of air separation products [Electronic resource] // URL:<https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=6860705>
- Borodin A.I. Lectures on technical thermodynamics. Textbook // TGASU. – Tomsk, 2008. – 160 c.
- Krivtsov, A.V.; Shablil, L.S. Study of the influence of the mesh quality and turbulence models on the results of CFD-calculation in Ansys Fluent: Elnetronny resursus / Samara State Aerospace University named after S.P. Korolev. S.P. Korolev. , Samara, 2013. 47 c.
- Minkov L.L., Moiseeva K.M. Numerical solution of hydrodynamics problems using the Ansys Fluent computational package: tutorial. – Tomsk: SSTT, 2017. – 122 c.
- Salich, V.L. Numerical modelling of mixing and combustion in the chamber of an oxygen-hydrogen rocket engine of 100 N thrust in the process of design / *South Ural State University. – CAD/CAM/CAE Observer*. – № 3 (87), 2017. – С. 82-88.
- Mukhametdzhanova, S. A., Ivanova, T. M., & Borisov, D. K. (2021). K. (2021). Use of oxygen enrichment to increase productivity during roasting of zinc concentrates. *Metallurgical Review*, 15(2), 110-118.
- Ivakina, S.A., Munts, V.A., & Belov, P.E. (2021). Automation of the roasting process in fluidised bed furnaces. *Engineering Science*, 8(4), 65-73.
- Xu, H., Li, M., & Zhao, P. (2023). Leaching of roasted zinc concentrates: A review. *Hydrometallurgical Processes*, 18(2), 60-71.
- Liu, W., Zhang, M., & Chen, Y. (2021). Optimization of temperature regimes in zinc concentrate roasting. *Journal of Pyrometallurgy*, 23(1), 44-52.
- Harris, J. N. (2020). Methods of process intensification in metallurgy. *Metallurgical Process Advances*, 10(1), 88-95.
- Peng, B., Huang, X., & Li, Z. (2020). Effect of batch composition on roasting quality of zinc concentrates. *Journal of Non-Ferrous Metallurgy*, 9(3), 76-84.
- Berdiyarov, B., Kim, A., & Nasyrov, R. (2021). Impact of moisture content on the performance of zinc concentrate roasting. *Journal of Industrial Chemistry*, 7(2), 111-120.

Information about authors

Saprykin Dmitry Nikolaevich – master's student, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: saprykin-dmitry@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3796-057X>, +7 705 901 92 23

Sadenova Marzhan Anuarbekovna – Candidate of Chemical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: MSadenova@ektu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2870-6668>

Kulnova Natalya Anatolyevna – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: 3007kulnova53@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7063-4899>

Petar Sabev Varbanov – senior researcher, Széchenyi István University, Hungary, E-mail: varbanov.petar.sabev@sze.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5261-1645>

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАШИНАЛАР МЕН ЖАБДЫҚТАР
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
TECHNOLOGICAL MACHINES AND EQUIPMENT

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_84
MFTAA 30.17.53

Ж. Серікұлы¹, С.А. Кумисбеков², Н.Б. Муталов³, М.Н. Заурбеков⁴, Қ.Н. Рысалы⁵
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент қ., Қазақстан

¹E-mail: 6D072400@gmail.com*

²E-mail: serik_argin@mail.ru

³E-mail: ecocopr@gmail.com

⁴E-mail: muca-84@mail.ru

⁵E-mail: kerowee@mail.ru

**ТҰРАҚТЫ ҚҰРЫЛЫМЫ БАР ЭНЕРГИЯ ТҮРЛЕНДІРГІШ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ С РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ
ENERGY CONVERTERS WITH A REGULAR STRUCTURE**

Аңдатпа. Тұрақты дамудың жаһандық мақсаттарына қол жеткізуде баламалы көздердің энергетикасы маңызды рөл атқарады. Жел және діріл энергиясы көздерін пайдалана отырып, электр энергиясын өндіруді зерттеудің өзекті бағыты. Осыған байланысты ілеспе газдарды электр энергиясына айналдыру мақсатында тұрақты құрылымы бар энергия түрлендіргіші қолдану мүмкіндігін негіздеу үшін зерттеулер жүргізілді.

Мақалада ауа ағыны тудыратын дірілді электр энергиясына айналдыру механизмі қарастырылады. Түрлендіргіштерді қондырғының жұмыс аймағында тиімді орналастыру шарттары, тік және көлденең бағыттардағы құйындылардың пайда болу заңдылықтарына сүйене отырып, қондырғының конструктивті және пайдалану параметрлерін сақтай отырып, тік және көлденең бағыттардағы қадам анықталды. Түрлендіргіштер қозғалған кезде діріл жиілігі мен тербеліс амплитудасы зерттеледі, режимдік параметрлерін өзгертету, яғни ауа ағынының жылдамдығын өзгерту мен конструктивтік параметрлерін өзгерту, яғни түрлендіргіштің қадамын тік және көлденең бағытта өзгерту. Салыстыру үшін зерттелетін көрсеткіштердің зертханалық және есептік деректері келтірілген. Тік және көлденең бағыттардағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициент теңдеулері көрсетілген.

Зерттеулер нәтижесінде құйындардың пайда болу заңдылықтарын ескере отырып, түрлендіргіштердің тік және көлденең бағытта орналасу қадамдары анықталды, түрлендіргіштердің орналасуына байланысты діріл жиілігі мен тербеліс амплитудасы зерттелді. Электр энергиясын өндіру процесінде бір мезгілде құйындардың пайда болу заңдылықтарын қолдану баламалы көздердің энергетикасын дамытудың перспективалық бағыты болып табылады.

Түйін сөздер: жел энергиясы; діріл энергиясы; түрлендіргіш; тұрақты құрылым; діріл жиілігі; тербеліс амплитудасы.

Аннотация. В достижении глобальных целей устойчивого развития энергетика альтернативных источников занимает важную роль. Актуальным направлением исследований выработки электроэнергии с использованием источников энергии ветра и вибрации. В этой связи проведены исследования для обоснования возможности применения преобразователя энергии с регулярной структурой с целью преобразования попутных газов в электрическую энергию.

В статье рассмотрен механизм преобразования вибрации, создаваемой воздушным потоком, в электрическую энергию. Определены условия эффективного размещения преобразователей в рабочей зоне установки, шаг в вертикальном и горизонтальном направлениях с соблюдением конструктивных и эксплуатационных параметров установки, исходя из закономерностей образования вихрей в вертикальном и горизонтальном направлениях. При движении преобразователей исследуются частота вибрации и амплитуда колебаний, изменяя режимные параметры, т. е. изменяя скорость воздушного потока и изменяя конструктивные параметры, изменяя шаг преобразователя в вертикальном и горизонтальном направлении. Для сравнения

представлены лабораторные и расчетные данные исследуемых показателей. Показаны уравнения коэффициентов, характеризующие взаимодействие вихрей в вертикальном и горизонтальном направлениях.

В результате исследований определены шаги расположения преобразователей в вертикальном и горизонтальном направлениях с учетом закономерностей образования вихрей, исследовались частота вибрации и амплитуда колебаний в зависимости от расположения преобразователей. Применение режимов одновременного вихреобразования в процессе генерации электроэнергии является перспективным направлением в развитии альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: энергия ветра; энергия вибрации; преобразователь; регулярная структура; частота вибрации; амплитуда вибрации.

Abstract. Alternative energy sources play an important role in achieving global sustainable development goals. A current area of research is the generation of electricity using wind and vibration energy sources. In this regard, research has been carried out to substantiate the possibility of using an energy converter with a regular structure to convert associated gases into electrical energy.

The article discusses the mechanism for converting vibration created by air flow into electrical energy. The conditions for the effective placement of converters in the working area of the installation, the step in the vertical and horizontal directions, in compliance with the design and operational parameters of the installation, are determined, based on the patterns of vortex formation in the vertical and horizontal directions. When the transducers move, the vibration frequency and amplitude of oscillations are studied, changing the operating parameters, i.e., changing the air flow speed and changing the design parameters, changing the pitch of the transducer in the vertical and horizontal direction. For comparison, laboratory and calculated data of the studied indicators are presented. The coefficient equations characterizing the interaction of vortices in the vertical and horizontal directions are shown.

As a result of the research, the steps of location of the transducers in the vertical and horizontal directions were determined, taking into account the patterns of vortex formation. The vibration frequency and amplitude of oscillations were studied depending on the location of the transducers. The use of simultaneous vortex formation modes in the process of generating electricity is a promising direction in the development of alternative energy sources

Keywords: wind energy; vibration energy; converter; regular structure; vibration frequency; vibration amplitude.

Қысқашы. Қазіргі уақытта жаңартылатын энергия көздеріне көшу, кейбір елдерде жалпы энергия тұтынудың жаңартылатын көздерден алынатын үлесі 50 %-дан асатыны, глобалдық энергетикалық саясат пен тәжірибедегі түбегейлі өзгерісті білдіреді. Бұл өзгеріс тек климаттың өзгеруіне және қазба отын қорларының таусылуына шұғыл жауап ретінде ғана емес, сонымен қатар жаңартылатын энергия секторларындағы инновациялар мен технологиялық жетістіктерді де көрсетеді. Әсіресе, жел энергетикасы бұл көшуге маңызды рөл атқарады, көмірқышқыл газы шығарындыларын азайту әлеуетімен қазба отынға тұрақты балама ұсынады.

Жел энергетикасының болашақ дамуы глобалдық тұрақты даму мақсаттарына жетуде өте маңызды (Watson S. et al., 2019). Дегенмен, оның бәсекеге қабілеттілігін және тиімділігін арттыру үшін шешілуі тиіс бірқатар мәселелер тұр. Негізгі мәселелердің бірі – құнының бәсекеге қабілеттілігі. Жел энергиясы дәстүрлі қазба отындарымен және басқа да жаңартылатын көздермен, әсіресе шығындарын айтарлықтай төмендетіп, тиімділігін арттырған күн фотоэлектрикасымен салыстырғанда экономикалық тұрғыдан өміршең болуы тиіс. Бұл мәселені шешу үшін жел энергетикасы саласында тиімділігін арттыру және жел турбиналарының құнын төмендетуге бағытталған жылдам технологиялық прогресс байқалады.

Жел энергетикасының дамуымен қатар, қоршаған ортаның вибрациясынан энергия жинау немесе виброэнергетикаға деген қызығушылық артуда. Бұл инновациялық тәсіл жер сілкіністерінен, жел немесе теңіз толқындарының қысымынан, сондай-ақ ұшақтардың немесе көліктердің қозғалысынан туындайтын қоршаған ортаның барлық жерде кездесетін вибрацияларын пайдалану арқылы электр энергиясын өндіруді қарастырады.

Қоршаған ортаның вибрациялары дәстүрлі жаңартылатын энергия жүйелерін толықтыра алатын перспективалы және пайдаланылмаған орта энергия көздерінің сыныбын құрайды (Marano G.C. et al., 2019; Hu J. et al., 2018; Joos M. & Staffell I., 2018; Benedek J., Sebestyén T-T. & Bartók B., 2018; Verzijlbergh R.A. et al., 2017; Peter D. Saundry., 2019).

Мақалада ауа ағыны арқылы пайда болатын вибрацияны электр энергиясына айналдыру механизмі талқыланады. Бұл механизм құйындардың өзара әрекеттесуі мен қалыптасу принциптеріне негізделген, реттелген құрылымды түрлендіргіштерді қолдана отырып жүзеге асырылады (Балабеков О.С. & Петин В.Ф., 2000; Балабеков О.С. et al., 2004). Бір уақытта құйындар пайда болу құбылысын нақты мәндерсіз 2000 жылы АҚШ зерттеушілері (Andreopoulos Y. & Honkan A., 2001; Shah N., Sanket S. & Dhruvesh P., 2017) жұмысында келтіреді. Жұмыстарында құйындардың бірігу кезінде көлемі жағынан 4 есеге артатыны, ал ауа ағынының кинетикалық энергиясы 10 есе артатынын зерттеулерінде дәлелдеді. Бұл принциптер жылу және массаалмасу процестерінде өз тиімділігін дәлелдеген (Serikuly Zh., Volnenko A.A. & Kumisbekov S.A., 2014; Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015; Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017; Serikuly Zh., Volnenko A.A. & Kumisbekov S.A., 2018; Zhumadullayev D. et al., 2017), энергия жинау технологиялары үшін перспективалы бағыт ретінде ұсынылады.

Мұндай технологиялардың дамуы тек жаңартылатын энергия көздерінің қолданыс аясын кеңейтіп қана қоймай, сонымен қатар бұрын ескерілмеген қоршаған ортаның энергия көздерін пайдалану жаңа мүмкіндіктерін ашады. Қоршаған ортаның вибрацияларының күшін, жел мен басқа да жаңартылатын энергия көздерімен бірге пайдалана отырып, қазба отынға тәуелділікті азайтып, көмірқышқыл газы шығарындыларын қысқарта отырып, тұрақты энергетикалық болашаққа жақындай аламыз. Бұл көп салалы тәсіл, жел энергетикасындағы жетістіктермен қатар виброэнергетика инновацияларын біріктіре отырып, жаңартылатын энергия секторының динамикалық және дамып келе жатқан сипатын көрсетеді, тұрақты және энергия тиімділігі жоғары әлемге деген үмітті арттырады.

Тақырыпты әзірлеу негізі жүйелі құрылымы бар аппараттарды құру және оларды синфазалы-құйынды режимде энергияны түрлендіру үшін қолдану мәселелерінің іргелі шешімдерінің болмауы болып табылады.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі болып жүйелі құрылымымен жел энергетикалық қондырғылардың зерттеу нәтижелерінің болмауы.

Тақырыптың өзектілігі. Жел ресурстарына аса бай аумағы бар Қазақстан үшін ЖЭҚ әлеуетті барынша тез ұлғайту қажет. Жабдықтың материал сыйымдылығын төмендету маңызды фактор болып табылады. Бұл ретте күрделі және эксплуатациялық шығындар айтарлықтай азаяды, бұл инновациялық технологиялардың техникалық-экономикалық негізі болып табылады. Осыған байланысты, ауа ағынының синфазалы-құйынды әрекеттесуі негізінде инновациялық энергия генерациялайтын жабдықты құру өзекті болып табылады.

Жұмыстың мақсаты-жаңартылатын энергия көздерінен электр энергиясын қосалқы көзі ретінде пайдалану үшін инновациялық энергия генерациялайтын қондырғының діріл жиілігін және бос ұштарындағы тербеліс амплитудасын анықтау.

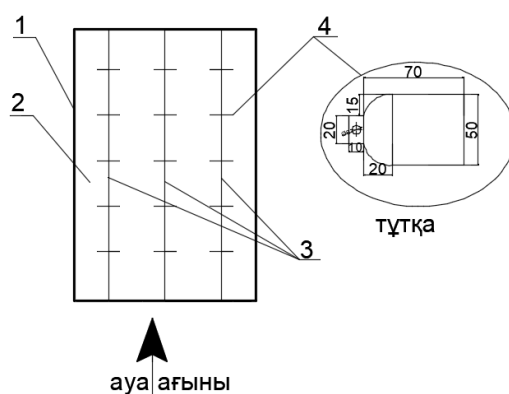
Жұмыс кезеңінің міндеттері:

- қондырғының діріл жиілігін түрлендіргіштердің орналасуына тәуелділігін зерттеу;
- қондырғының тербеліс амплитудасын түрлендіргіштердің орналасуына тәуелділігін зерттеу;
- тік және көлденең бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициенттерді анықтау;
- зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтерді есептік мәліметтермен салыстыру.

Материалдар мен әдістер. Қондырғының сипаттамасы. Эксперименттік жұмыстарды жүргізу үшін 400×400×600 мм өлшемде Әуезов университетінің академик О.С. Балабеков атындағы зертханада қондырғы құрастырылды. Эксперименталды қондырғы сұлбасы 1-суретте келтірілген. Жұмыс арнасында құбырларға орнатылған түрлендіргіш (70×50 мм) бар. Ауа ағыны жылдамдығының 1 м/с – 6 м/с аралықта өзгерді. Бұл аралықты таңдау себебі Бафорт шкаласы бойынша 2 (1,6-3,3 м/с) және 3 (3,4-5,4 м/с) балға тең, сондай-ақ қала аумағында да қолжетімді жел боп саналады.

Қондырғыда өтетін процесті көзбен көру мақсатында жан жағынан жабық органикалық шынымен 2 металл қаңқадан 1 тұрады. Бірінші қондырғының ішінде ұзына бойы диаметрі 10 мм бос металл құбырлар орнатылған 3, қондырғының үстінен және төменгі жағынан бекітілген.

Құбырларды қолдану себебі энергияны генерациялау кезінде электр сымдарын құбырлардың ішінде өткізу үшін. Құбырлар мен шыбықтардың бойында тік бағытта белгілі бір кадаммен түрлендіргіштер орнатылған 4.

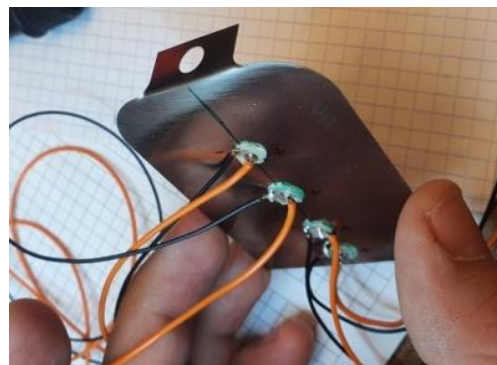
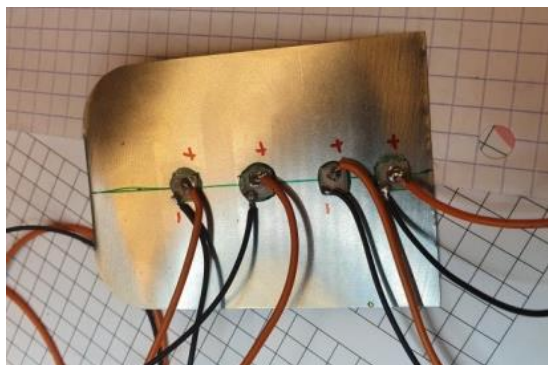


1-сурет. Эксперименталды қондырғының сұлбасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Түрлендіргіштердің орналасуын зерттеу мақсатында екі түрлі зерттеу әдісі қолданылды. Олар: стробоскопиялық және осциллографиялық. Зерттелетін түрлендіргішті қозғалысының сапалық және сандық параметрлерін стробоскопиялық тахометр Testo 477 көмегімен анықталды. Стробоскопиялық зерттеу әдісі контактсіз, яғни зерттелетін объектілерге әсер етпестен өлшеулерді жүргізуге мүмкіндік береді. Қондырғының жұмыс аймағында құбырларда бекітілген түрлендіргіштер ауа ағынының әсерінен қозғалыстар жасайды. Қозғалысты бақылау және қажетті өлшеу Testo 477 көмегімен жүзеге асырылды. Тахометрдің көмегімен дірілдейтін түрлендіргіштерді бақылай отырып, стробоскопиялық әсердің арқасында оларды қозғалыссыз немесе баяу қозғалыс жағдайында қарауға болады. Мұндай бақылаулар зерттелетін объектінің қозғалыс жылдамдығын анықтауға, сондай-ақ оның қозғалысы мен жұмысының ерекшеліктері туралы мәліметтерді алуға мүмкіндік береді. Тахометрдің өлшеу шектері 30-300.000 FPM, тахометрдің негізгі қателігі 0,02 % (± 1 белгі). Зерттелетін түрлендіргіштің пішіні 2-суретте көрсетілген.

Осциллограф Agilent InfiniiVision 2000 X-Series Oscilloscopes көмегімен түрлендіргіштерді діріл жиілігі мен амплитудасын бақылауға болады. Сол себептен түрлендіргіштердің бетіне пезодатчик желімденіп үстіне сымдар дәнекерленіп (2-сурет) осциллографқа жалғанды.



2-сурет. Түрлендіргіш бейнесі

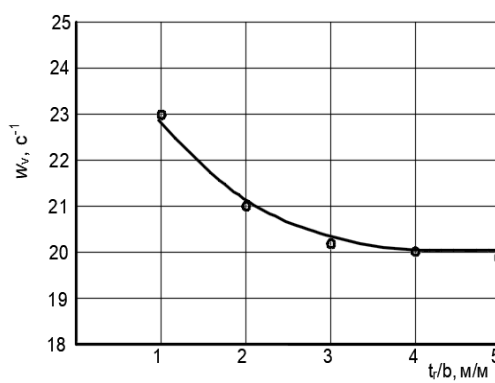
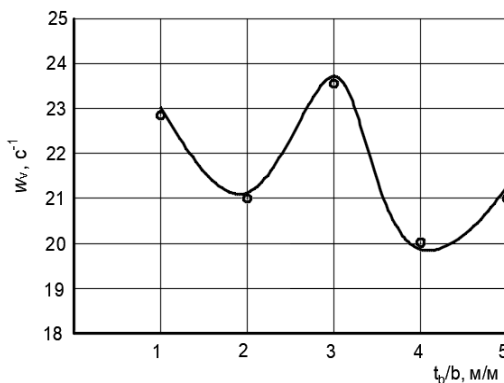
Ескерту – автормен құрастырылған

Жел жылдамдығы «mini air I» анемометрімен өлшенген. Анемометр жартылай автоматты. Қалақтары бар түтікшесі ауа ағыны бағытында салынады. Анемометрдің қателігі (0,3 + 0,05 V) м/с көп емес.

Нәтижелері және оларды талқылау. Түйіспелі элементтердің қозғалыс параметрлеріне жүргізілген зерттеулерге байланысты ауа ағынының жылдамдығы көбеюмен діріл жиілігінің және бос ұштарындағы тербеліс амплитудасының өсуі байқалады. Жоғарыда аталған көрсеткіштердің өсуі, түрлендіргіштердің бос ұштарының ауданына тиімді әсер ететін ауаның динамикалық ағынның артуына байланысты екені мәлім.

Келесі кезекте түрлендіргіштердің құрылымдық параметрлерінің онтайлы шамаларын анықтау жоспарланды. Бұған қол жеткізу үшін түрлендіргіштердің тік және көлденең бағытта орналасуы кезінде зерттелетін шамаларға әсерін бағалау қажет.

Жоғарыда айтылғандай қолданып отырған түрлендіргіштердің пішініне қарай және құйындардың пайда болу заңдылығына сүйене отырып бірауқытта құйындардың пайда болу режиміне екі рет қол жеткізуге болады.



$$t_r/b = 2; t_b/b = 2; W_g = 4 \text{ м/с}$$

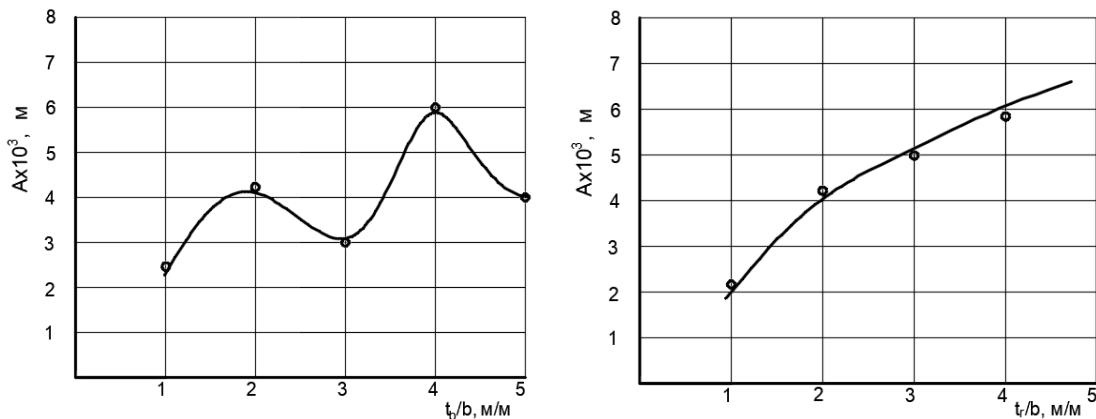
Қисық-есептеу; нүкте-эксперимент

3-сурет. Діріл жиілігінің тік және көлденең қадамға тәуелділігі

Ескерту – автормен құрастырылған

Синфазалық режим бұзылған жағдайда қондырғының тиімділігі жұмысшы аймақ көлемінде пайда болған құйындардың санының азаю есебінен төмендейді. Бұл ағын бойында жоғары орналасқан денелердің артынан қалыптасу циклін аяқтамаған, төменгі денелердің ағынынан үзілген құйындардың мәжбүрлі түрде үзілуі нәтижесінде орын алады.

Алайда, бұл кезде тербеліс амплитудасы біршама артады, өйткені құйын құраушы күш түрлендіргіштердің бос ұштарының қозғалысын түзетуге әсер етеді (3-сурет).



$$tr/b = 2; tb/b = 2; Wg = 4 \text{ м/с}$$

Қисық-есептеу; нүкте-эксперимент

4-сурет. Тербеліс амплитудасының тік және көлденең қадамға тәуелділігі

Ескерту – автормен құрастырылған

Ендеше тік бағытта дискретті орналасқан денелерді үзілу-ағылу кезіндегі пайда болатын құйындардың өзара әрекеттесу заңдылығы бұзылған кезде амплитуданың төмендеуін байқауға болады. Бұл құбылысты талдай отырып және де түрлендіргіштердің бетінде электр энергиясын генерациялайтын пьезоэлементтердің орналасуын ескеріп тік қадамдағы қадамды екіге тең деп қабылданды. Бұндай шешім қабылдаудың себебі пьезоэлементтердің неғұрлым көп болғаны қондырғының соғұрлым өнімділігі артады.

Көлденең бағытқа келер болсақ дискретті денелер жүйесі арқылы ауа ағынының ағысы кезінде параллель қозғалатын құйынды ағыстардың қалыптасу заңдылықтары әсер ететіні байқауға болады (4-сурет). Бұл жағдайды былай түсінуге болады. Көлденең бағыттағы түрлендіргіштердің мәні 2 ден кіші болғанда құйынның пайда болуына түрлендіргіштердің арасындағы саңылау әсер етсе, 2 не одан жоғары болған жағдайда түрлендіргіштердің ені себепші болады.

Бұл құбылысты талдай отырып көлденең бағыттағы түрлендіргіштердің қадамы екіге тең деп қабылданды. Тік бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесу дәрежесін анықтау үшін олардың пайда болу сәтіндегі жылжу шамасы қолданылады, ол Θ_b коэффициенті ретінде белгіленеді (Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017). Бұл шаманың физикалық мағынасы Т периодында дәйекті орналасқан денелердің тізбектерімен түзілетін жалпы саннан толық қалыптасқан құйындардың бөлігін анықтау болып табылады. Кезінде $\Theta_b = 1$ іске асырылуда режимдерін бір мезгілде құйындар пайда болу (синфазды режимі). Түрлендіргіш үшін Θ_b өзгеру шамасы 0,7 – 1,0. $\Theta_b = 1$ кезінде бір мезгілде құйындар қалыптасу режимі жүреді (синфазды режимі).

Тік бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициент Θ_b (Балабеков О.С. & Петин В.Ф., 2000):

$$\theta_b = 0,85 + 0,15 \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{4t_b \cdot Sl}{m_k} + 1 \right) \right]. \quad (1)$$

мұндағы Sl – Струхаль саны: пластиналы элементтер үшін $Sl = 0,15$; m_k – параметр, құйынды түзуді, ағылатын элементтердің пішінін және құйындардың жылдамдығының төмендеуін ескеретін параметр: пластиналы элементтер үшін, $m_k < 1$.

Әдебиеттерде m_k шамасына көптеген мәліметтер келтірілген, келесідей (Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017) $m_k = -0,74-0,78$, (Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015) $m_k = 0,86$ және т.б. Бұл шамалар тұрақты болып қабылданған.

Зерттеу көрсеткендей, түйіспелі денелердің тізбегіндегі құйынның қозғалыс жылдамдығының өзгеруі олардың арасындағы қашықтыққа байланысты. Ара қашықтық артқан сайын құйындардың өсу жылдамдығы экспоненциальді заңға сәйкес келеді, жалғыз ағылатын денеден туындайтын құйын жылдамдығына жақындап. Гидродинамикалық параметрлерді зерттеу нәтижелерін өңдеу және жұмыстарда келтірілген (Балабеков О.С. & Петин В.Ф., 2000; Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015; Кумисбеков С.А., Волненко А.А. & Серікұлы Ж., 2017) мәліметтерді талдау нәтижесінде m_k анықтау үшін төмендегі теңдеу алынды:

$$m_k = 0.329(1 - \exp(-t_b)) \quad (2)$$

Струхаль сандарын көрсетіп θ_6 шамасын (1) теңдеумен есептеу нәтижелері, алынған қисықтардың экстремумдары жұмыста ұсынылған қадамдарда бір мезгілде құйын пайда болу режимдеріне сәйкес келетінін көрсетеді: пластина үшін $t_b = 2b$ және $4b$ (Балабеков О.С. & Волненко А.А., 2015).

Көлденең бағытта құйындардың өзара әрекеттесу дәрежесін сипаттайтын және құйын пайда болу жиілігінің өзгеруін ескеретін коэффициент θ_r келесі формула бойынша анықталуы мүмкін:

$$\theta_r = \frac{t_r - \lambda}{t_r - b}. \quad (3)$$

Бір қатарда орналасқан ағынға перпендикуляр, көлемді құйынды қалыптастыруға ықпал ететін λ масштабымен импульсті элементтер. Ағынға перпендикуляр бір қатарда дискретті орналасқан денелер үшін екі жағдай бар: $t_r > 2b = b$; және $t_r < 2b = t_r - b$.

Бір қатарда орналасқан ағынға перпендикуляр, көлемді құйынды қалыптастыруға ықпал ететін λ масштабымен импульсті элементтер. Ағынға перпендикуляр бір қатарда дискретті орналасқан денелер үшін екі жағдай бар: $t_r > 2b = b$; және $t_r < 2b = t_r - b$.

Қорытынды. Құйындардың пайда болу заңдылықтарын негізге ала отырып, түрлендіргіштердің құйын пайда болу, қосылу шарттарының негізі болып табылатын шама ол тік және көлденең бағыттағы қадам екендігін айқындауға болады. Діріл жиілігінің және тербеліс амплитудасының түрлендіргіштердің тік және көлденең қадамдарға тәуелділігі анықталды. Тік қадамда екі түрлі біртегізді құйын пайда болу шарттары бар екендігі дәлелденді, олар 2 және 4 тең. Көлденең бағытта ол шама 2 тең. Тік және көлденең бағыттағы құйындардың өзара әрекеттесуін сипаттайтын коэффициенттер сипатталды. Ендеше бұл құбылыстың сандық және сапалық көрсеткіштерін анықтай отырып электр энергиясын генерациялау процесіне қолданудың үлкен маңыздылығы анық.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Бұл жұмыс грант AP14972723 Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қаржыландырылды.

Әдебиеттер тізімі

- Watson S., Moro A., Reis V., et al. (2019). Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 113, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109270>
- Marano G.C., Quaranta G., Trentadue F., He L., Acciani G. (2019). Optimal design of energy harvesting from vibration subject to stochastic colored Gaussian process. *Journal of Physics Communications*, n. 3, 1-11. <https://doi.org/10.1088/2399-6528/aad494>
- Hu J., Harmsen R., Crijns-Graus W., Worrell E., van den Broek M. (2018). Identifying barriers to large-scale integration of variable renewable electricity into the electricity market: A literature review of market design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, 2181-2195. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.028>

- Joos M., Staffell I. (2018). Short-term integration costs of variable renewable energy: Wind curtailment and balancing in Britain and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 86, 45-65. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.009>
- Benedek J., Sebestyén T-T., Bartók B. (2018). Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, 516-535.
- Verzijlbergh R.A., De Vries L.J., Dijkema G.P.J., Herder P.M. (2017). Institutional challenges caused by the integration of renewable energy sources in the European electricity sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 660-667. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.039>
- Peter D. Saundry. (2019). Review of the United States energy system in transition. *Energy, Sustainability and Society*, vol. 9, art. 4, 1-32.
- Балабеков О.С., Петин В.Ф. (2000). Закономерность взаимодействия вихрей, возникающих при отрывном обтекании потоком газа или жидкости дискретно расположенных вдоль него тел. Свидетельство о научном открытии №144. М.: Международная ассоциация авторов научных открытий. / Balabekov O.S., Petin V.F. (2000). Zakonomernost' vzaimodejstvija vihrej, vznikajushih pri otrivnom obtekanii potokom gaza ili zhidkosti diskretno raspolozhennyh vdol' nego tel. Svidetel'stvo o nauchnom otkrytii №144. М.: Mezhdunarodnaja asociacija avtorov nauchnyh otkrytij.
- Балабеков О.С., Волненко А.А., Пралиев С., Корганбаев Б.Н., Балабекова М.О., Викторов С.В. (2004). Закономерность формирования параллельно движущихся вихревых струй при течении потока газа или жидкости через систему поперек к нему расположенных дискретных источников. Свидетельство о научном открытии. – № 269. – М.: Международная ассоциация авторов научных открытий. / Balabekov O.S., Volnenko A.A., Praliev S., Korganbaev B.N., Balabekova M.O., Viktorov S.V. (2004). Zakonomernost' formirovaniya parallel'no dvizhushihhsja vihrevyh struj pri techenii potoka gaza ili zhidkosti cherez sistemu poperek k nemu raspolozhennyh diskretnyh istochnikov. Svidetel'stvo o nauchnom otkrytii №269. М.: Mezhdunarodnaja asociacija avtorov nauchnyh otkrytij.
- Andreopoulos Y., Honkan A. (2001). An Experimental Study of the Dissipative and Vortical Motion in Turbulent Boundary Layers. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 439, pp. 131-163. <https://doi.org/10.1017/S0022112001004475>
- Shah N., Sanket S., Dhruvesh P. (2017). Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy. *IJARIE*, vol. 3, n. 2, 917-921.
- Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. (2014). Mass transfer in the apparatuses with preformed packing bodies. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, vol. 8, n. 4, 779-784.
- Балабеков О.С., Волненко А.А. (2015). Расчет и конструирование теплообменников и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой. Монография. Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауезова / Balabekov O.S., Volnenko A.A. (2015). Raschet i konstruirovaniye teplomassoobmennyyh i pylaulavlivajushihh apparatov s podvizhnoj i reguljarnoj nasadkoj. Monografija. Shymkent: JuKGU im. M.Auezova
- Кумисбеков С.А., Волненко А.А., Серікұлы Ж. (2017). Аппарат с регулярной пластинчатой вибрирующей насадкой. Разработка и расчет. Монография. Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауезова. / Kumisbekov S.A., Volnenko A.A., Serikuly Zh. (2017). Apparat s reguljarnoj plastinchatoj vibrirujushhej nasadkoj. Razrabotka i raschet. Monografija. Shymkent: JuKGU im. M.Auezova.
- Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. (2018). Development and calculation of the heat and mass transfer apparatus with a mobile packing considering a large-scale effect. Monograph. Shymkent: M. Auevov SKSU.
- Zhumadullayev D., Volnenko A.A., Balabekov O.S., Serikuly Z., Kumisbekov S.A., Ramatullayeva L.I. (2017). Heat carrier vortex motion influence on the hydrodynamics and heat exchange in the pipes with transverse collars and flow core energizers. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, Praise Worthy Prize, vol. 11, n. 2, 127-131. <https://doi.org/10.15866/ireme.v11i2.11026>

Information about authors

Serikuly Zhandos – PhD, associate professor, M. Auevov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: 6d072400@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6321-4407, +7 7011022422

Kumisbekov Serik Arginbaevich – PhD, associate professor, M. Auevov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: serik_argin@mail.ru

Mutalov Nurjigit Batyruly – Master of Engineering Sciences, M. Auevov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: ecocopr@gmail.com

Zaurbekov Musabek Nasyrovich – Master of Engineering Sciences, M. Auevov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: muca-84@mail.ru

Rysaly Kuanys Nurlanuly – Master of Engineering Sciences, M. Auevov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: kerowee@mail.ru

ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ИНЖЕНЕРИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ
GEOLOGICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_92
MPHTI 38.01.75

Н.Е. Цоберг¹, Е.А. Одноконнова², Н.А. Зимановская¹, А.Ж. Амренова¹

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

E-mail: yara_cat@mail.ru

E-mail: nata_zim@mail.ru

E-mail: amrenovaarailym@mail.ru

²ТОО «Геопроект Восток», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: eodnokonnova@mail.ru

ИНТЕГРАЦИЯ КАЗАХСТАНСКОГО КОДЕКСА ПУБЛИЧНОЙ ОТЧЕТНОСТИ KAZRC ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АККАРГИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

АҚҚАРҒЫН КЕН АЛҚАБЫНЫҢ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУ ҮШІН KAZRC ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ЕСЕПТІК ЖАРИЯЛАНЫМДАРЫНЫҢ КОДЕКСІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

INTEGRATION OF THE KAZAKHSTAN PUBLIC REPORTING CODE KAZRC FOR ASSESSING THE RESOURCES OF GOLD DEPOSITS OF THE AKKARGINSKY ORE FIELD

Аннотация. Представленная статья освещает вопросы перехода геологической отчетности от стандартов ГКЗ к международным стандартам KAZRC, применительно к золоторудным запасам месторождений Аккаргинского рудного поля. Рассмотрены принципиальные различия при подсчете запасов по старой и по новой системе, внедряемой с 2024 года. При осуществлении исследования была рассмотрена краткая характеристика месторождения, методика проведенных геологоразведочных работ, технология добычи и переработки руд для оперативного и наглядного анализа данных. Дана классификация запасов руд по системе ГКЗ и по системе KAZRC. Детально разобраны и описаны критерии международной классификации ресурсов и критерии классификации запасов (ГКЗ). Разница этих систем показана при подсчете запасов и оценке минеральных ресурсов месторождений Аккаргинского рудного поля. Результаты подсчета показали существенное отличие количества руды и металла в зависимости от применяемого метода. Также описаны новые методы в заверке данных, процедуры, которые обеспечивают качество, точность, достоверность и прозрачность аналитической информации, представлены новые подходы к визуализации и интерпретации полученных результатов контроля качества геологоразведочных работ. Рассмотрены модифицирующие факторы, включающие горнотехнические, технологические, металлургические, инфраструктурные, экономические, маркетинговые, экологические, социальные и административно-управленческие аспекты Аккаргинского месторождения, применяемые в международных стандартах KAZRC при классификации и оценке минеральных ресурсов. Они показали свою эффективность при оценке рисков для недропользователя. Все это в целом дает представление и понимание о различиях применяемых подходов в оценке минеральных запасов и ресурсов.

Ключевые слова: золото, подсчет запасов, минеральные ресурсы, публичная отчетность KAZRC, Аккаргинское месторождение.

Аңдатпа. Ұсынылған мақалада геологиялық есептіліктің МҚК стандарттарынан KAZRC халықаралық стандарттарына, Аққарғын кен алқабы кен орындарының алтын кен қорларына қатысты ауысу мәселелері баяндалады. 2024 жылдан бастап енгізілген ескі және жаңа жүйе бойынша қорларды есептеу кезіндегі түбегейлі айырмашылықтар қарастырылды. Зерттеуді жүргізу кезінде кен орнының қысқаша сипаттамасы, геологиялық барлау жұмыстарының әдістемесі, деректерді жылдам және көрнекі талдау үшін кендерді өндіру және өңдеу технологиясы қарастырылды. Бұрын пайдаланылған МҚК жүйесі бойынша және жаңа KAZRC жүйесі бойынша кендер қорларының жіктелімі берілді. Ресурстардың халықаралық жіктелуі

критерийлері және қорларды жіктеу критерийлері (МҚК) егжей-тегжейлі талданып, сипатталған. Осы екі жүйенің айырмашылығын көрсету үшін Аққарғын кен орнының кен орындарының қорларын есептеу және минералды ресурстарын бағалау жүзеге асырылды. Қорларды есептеу нәтижелері қолданылған әдіске байланысты кен мен металл мөлшері айтарлықтай ерекшеленетінін көрсетті. Деректерді растаудың жаңа әдістері де сипатталған. Аналитикалық ақпараттың сапасын, дәлдігін, сенімділігі мен ашықтығын қамтамасыз ететін процедуралар сипатталған. Геологиялық барлау жұмыстарының сапасын бақылаудың алынған нәтижелерін визуализациялау мен түсіндірудің жаңа тәсілдері ұсынылған. KAZRC халықаралық стандарттарында, минералдық ресурстарды жіктеу және бағалау кезінде қолданылатын тау-кен техникалық, технологиялық, металлургиялық, инфрақұрылымдық, экономикалық, маркетингтік, экологиялық, өлеуметтік және әкімшілік-басқару аспектілерін қамтитын түрлендіруші факторлар қаралды. Олар жер қойнауын пайдаланушы үшін тәуекелдерді бағалау кезінде өз тиімділігін көрсетті. Осының барлығы бізге пайдалы қазбалардың қорлары мен ресурстарын бағалауда қолданылатын тәсілдердің айырмашылықтары туралы түсінік береді.

Түйін сөздер: Алтын, қорларды есептеу, минералдық ресурстар, KAZRC жария есептілігі, Аққарғын кен орны.

Abstract. The presented article covers the issues of transition of geological reporting from GKZ standards to international KAZRC standards, in relation to gold reserves of deposits of the Akkarga ore field. The fundamental differences in calculating reserves using the old and new systems, introduced from 2024, are considered. When carrying out the study, a brief description of the deposit, the methodology of the geological exploration work, and the technology of mining and processing of ores for rapid and visual data analysis were considered. A classification of ore reserves was given according to the previously used GKZ system and the new KAZRC system. The criteria for the international classification of resources and the criteria for the classification of reserves (GKZ) are analyzed and described in detail. In order to show the difference between these two systems, reserves were calculated and the mineral resources of the Akkarga ore field deposits were assessed. The results of calculating reserves showed that depending on the method used, the amount of ore and metal differs significantly. New methods for data verification are also described. Procedures are described that ensure the quality, accuracy, reliability and transparency of analytical information. New approaches to visualization and interpretation of the obtained results of quality control of geological exploration are also presented. Modifying factors are considered, including mining, technological, metallurgical, infrastructural, economic, marketing, environmental, social and administrative aspects of the Akkarginiskoye deposit, used in international KAZRC standards, in the classification and assessment of mineral resources. They have shown their effectiveness in assessing risks for subsoil users. All this as a whole gives us an idea and understanding of the differences in the approaches used in assessing mineral reserves and resources.

Keywords: gold, reserve calculation, mineral resources, KAZRC public reporting, Akkarginiskoye deposit

Введение. До настоящего времени в Казахстане действовала только система ГКЗ (Государственный Комитет по запасам). Но система ГКЗ, которая надежно обслуживала геологоразведочную отрасль при советском государственном планировании, в новых рыночных условиях безнадежно устарела [Фрейман, Уразаева, Еньшин, 2023]. Процесс внедрения международных стандартов геологической отчетности KAZRC начался в 2016 году с момента вступления Казахстана в международный комитет CRIRSCO. В январе 2024 года завершился переходный период внедрения стандарта KAZRC, по которому отчитываются недропользователи новых месторождений. Все недропользователи, действующих месторождений отчитываются по выбору: либо ГКЗ, либо KAZRC.

Система ГКЗ не предоставляет прозрачности и достоверности данных и контроля качества работ. Например, ни сотрудники ГКЗ, ни независимые эксперты никогда не проверяли ни координаты, ни скважины, ни пробы, которые участвуют в подсчете запасов, при этом часть данных вообще может быть засекречена. Поэтому в применяемой системе ГКЗ могут быть допущены любые отклонения (вплоть до фальсификаций). Об этом очень хорошо знают инвесторы, и поэтому зарубежные компании вполне обоснованно не доверяют ее результатам.

Основные цели полного перехода на KAZRC:

I – прозрачность и достоверность сведений о состоянии минерально-сырьевой базы Казахстана, имеющие колоссальное значение для развития экономики страны;

II – повышение конкурентоспособности геологической и горнодобывающей отраслей Казахстана;

III – привлечение иностранных и развитие отечественных геологоразведочных компаний.

Одна из актуальных задач при этом заключается в подготовке отечественных высококвалифицированных специалистов в геологической отрасли.

Цель данного исследования – провести сравнение двух методов подсчета запасов и оценки минеральных ресурсов на примере золоторудных месторождений Аккаргинского рудного поля.

Исследуемая территория, под общим названием Аккаргинское рудное поле, расположена в Житикаринском районе Костанайской области в 110 км от г. Житикара. В структурном плане площадь Аккаргинского рудного поля расположена в зоне Джетыгаринского разлома. Основные рудоконтролирующие факторы – зоны разрывных нарушений субмеридиональной ориентировки и узлы их сопряжения с разломами северо-восточного и северо-западного направления.

Известные рудные зоны (участки золотодобычи Южно-Леонидовское и Южно-Аккаргинское) тяготеют к тектоническим зонам экзоконтактов гипербазитов. По аналогии с известными рудными зонами месторождения выделен комплекс линейных спектрометрических (СП) аномалий. Золотое оруденение развивается в приконтактных частях вмещающих пород с магматическими массивами основного и ультраосновного состава. Рудные тела в пределах метаморфизованных зон залегают в виде цепочки линз. Золотосульфидная минерализация встречается в окварцованных зонах дробления. Кварцевые жилы, редко содержащие золотое оруденение, развиваются в основном во вмещающих породах, но иногда секут и дайки, и зону лиственитизации.

По вещественному составу руды месторождений относятся преимущественно к прожилково-малосульфидному типу. Южно-Аккаргинское месторождение развито в основном в графитизированных серицит-хлоритовых сланцах протерозоя, в зонах разломов и метасамотитов, приурочено к зоне восточной ветви Джетыгаринского глубинного разлома. Разделяется в плане на 16 рудных зон. Рудные тела имеют сложную морфологию с раздувами до 19 м и пережимами до 0,24 м, прослеживаются на расстояние более 17 км. Нередко рудные тела осложнены апофизами различных размеров.

Южно-Леонидовское месторождение и другие рудные зоны приурочены в основном к вулканогенным породам силура (Sw₂-ld). Приурочено к зоне западной ветви Джетыгаринского глубинного разлома. Разделяется в плане на 6 рудных зон. Рудные тела сложной морфологии с извилистыми контактами и многочисленными апофизами. Прослеживаются на расстояние более 14 км.

Материалы и методы исследования. Пликативная тектоника представлена антиклинальной структурой, образованной сланцевой толщей верхнего протерозоя, а в центральной части – синклиальной складкой с терригенно-карбонатными и углефицированными отложениями верхнего девона, разделяющей Центральный и Восточно-Аккаргинский массивы. Синклиальная складка также имеет меридиональное простирание с крутым падением крыльев, которые осложнены тектоническими нарушениями.

Первые сведения о золотоносности площади относятся к 1915-16 гг., когда было открыто месторождение «Аккарга золотая», расположенное в центральной части площади. Месторождение эксплуатировалось в 1922-40 гг. По сведениям отчетных данных за этот период добыто 11800 т. руды и 115,5 кг золота. В последующие годы

здесь проводились геологическая и глубинная литогеохимическая съемка 1:50000 масштаба и поисковые работы на золото: в 1929-30 гг. под руководством Д.С. Штейнберга, в 1958-60 гг. М.И. Русиним и И.В. Гачкевича, в 1961-63 гг. В.Ф. Митрофанского, в 1977-86 гг. геохимической партией Затобольской ГРЭ (Баубекова, Коваль, 2022; Протокол заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, 2016).

По результатам всех этих работ в 2016 г. разработано ТЭО промышленных кондиций на окисленные золотосодержащие руды месторождений Аккаргинского рудного поля и составлен отчет (Пятков, 2016), который утвержден ГКЗ РК (Протокол заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, 2016). Опытнo-промышленная эксплуатация месторождений была начата с двух карьеров, расположенных на Южно-Леонидовском месторождении и 4 зоне Южно-Аккаргинского месторождения. Переработка осуществлялась методом кучного выщелачивания. В результате проведенных геологоразведочных работ были доизучены известные и выявлены новые минерализованные зоны с промышленными содержаниями золота.

На основе повариантного подсчета запасов окисленных золотосодержащих руд для открытой отработки месторождений Аккаргинского рудного поля разработаны и утверждены протоколом ГКЗ РК (Протокол заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, 2020) оценочные кондиции со следующими параметрами:

- бортовое содержание золота в пробе, включаемой в подсчет запасов при оконтуривании балансовых руд, – 0,5 г/т;

- минимальная мощность рудного тела, включаемого в контуры подсчета запасов, – 2,0 м (при меньшей мощности, но высоком содержании золота руководствоваться соответствующим метрограммом – 1,0 г/т*м);

- максимальная допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов, – 3,0 м;

- к забалансовым отнести запасы окисленных руд, оконтуренных по бортовому содержанию золота 0,3 г/т и расположенных как в пределах, так и за пределами проектного карьера.

На основании новых данных доразведки, эксплоразведки и отработки согласно новой форме геологической отчетности, недропользователю необходимо было выполнить оценку запасов и ресурсов руд Аккаргинского рудного поля по стандарту KAZRC для открытой отработки.

Используя все материалы ранее выполненных исследований и данные, полученные за период с 2018 по 2023 годы, была выполнена оценка минеральных запасов и ресурсов месторождений Аккаргинского рудного поля в соответствии с кодексом KAZRC и параллельно по системе ГКЗ.

Результаты геологоразведочных работ, выполненных на протяжении всего периода изучения месторождений Аккаргинского рудного поля, свидетельствуют о том, что месторождения имеют очень сложное геологическое строение, основная часть запасов характеризуется резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, невыдержанным качеством полезного ископаемого с очень неравномерным распределением золота. Согласно инструкции (Инструкция по применению Классификации запасов к месторождениям благородных металлов, 2005), месторождения такого типа относятся к третьей группе сложности.

Для выполнения поставленной цели исследования – сравнить два метода подсчета запасов и оценки ресурсов применительно к месторождениям Аккаргинского рудного поля, были использованы результаты исторических исследований, а также результаты геологоразведочных работ в период с 2013 по 2023 годы (табл. 1).

Таблица 1. Накопленная база данных по месторождениям Аккаргинского рудного поля

Виды работ	Ед. измерения	Итого 2008-2015	Итого 2016-2019	Итого 2020-2022
Колонковое бурение	кол-во скв./проб	318/25 128	76/4 366	37/4 646
КГК бурение	кол-во скв./проб	1 081/32 874	1 341/23 180	-
РС-бурение	кол-во скв./проб	72/4 888	665/17 680	423/18 987
Канавы	кол-во/проб	50/2 014	320/8 020	198/6 437
Борозды	кол-во/проб	389/ 12 229	1 821/35 069	2 191/60 673
<i>Примечание – составлено автором</i>				

Для решения поставленных задач был использован следующий комплекс геологоразведочных работ: топографо-геодезические работы (Rakhymberdinaetal, 2022); разведочное бурение; опробование; инженерно-геологические исследования; лабораторные и технологические исследования.

После анализа данных результатов проведенных на месторождении геологоразведочных работ встречается первое различие в исследуемых подходах подсчета запасов и оценки ресурсов. Это различие в категоризации запасов золотосодержащих руд.

По стандартам ГКЗ все запасы делятся на категории С₁, С₂ и забалансовые.

Согласно инструкции, применительно к золоторудным месторождениям 3-й группы сложности для разведки по категории С₁ рекомендуется применять разведочную сеть плотностью 40-60×40-60 м, для категории С₂ – сеть плотностью 80-120×80-120 м. Фактически сложившаяся по состоянию на 01.01.2020 г. разведочная сеть по категории С₁ близка или несколько гуще по сравнению с рекомендуемой. То же самое можно сказать и о плотности сети, принятой для классификации запасов по категории С₂.

Существующая разведочная сеть позволяет выделять в основных рудных телах блоки категории С₁. Запасы мелких единичных линз месторождения и на флангах основных рудных тел отнесены к категории С₂.

Согласно кодексу KAZRC минеральные ресурсы делятся на категории Выявленные и Предполагаемые:

– к категории Выявленные отнесены окисленные минеральные ресурсы по бортовому содержанию золота 0,3 г/т на участках, где есть современное бороздовое опробование полотна карьера плотностью 10х10 м, с экстраполяцией их на глубину 20 метров;

– к категории Предполагаемые отнесены:

1) все оставшиеся окисленные минеральные ресурсы, так как оценка этих ресурсов выполнена на основании геологоразведочных данных недостаточного уровня достоверности;

2) все первичные и смешанные ресурсы, независимо от сети разведочных работ, так как эти руды ещё не добывались и не перерабатывались.

Минеральные запасы Кодекс KAZRC определяет в порядке возрастания уверенности в модифицирующих факторах: вероятные и доказанные запасы.

Вероятные Минеральные Запасы – это рентабельная для отработки часть Выявленных Минеральных Ресурсов и, при некоторых обстоятельствах, Измеренных Минеральных Ресурсов. Модифицирующие факторы, применяемые при оценке Вероятных Минеральных Запасов, имеют более низкий уровень достоверности, чем таковые для Доказанных Минеральных Запасов.

Доказанные Минеральные Запасы – это экономически извлекаемая часть Измеренных минеральных ресурсов. Доказанные Минеральные Запасы предполагают наиболее высокую степень уверенности в Модифицирующих факторах.

Минеральные запасы должны включать поправку на разубоживание и потери (Казахстанский кодекс публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, минеральных ресурсах и минеральных запасах KAZRC, 2017).

Таким образом, условиями перевода минеральных ресурсов в запасы являются:

- 1) наличие ресурсов категорий Выявленные и Измеренные;
- 2) наличие правоустанавливающих документов (лицензия, горный и земельный отвод, протоколы ГКЗ и др.);
- 3) желание и возможность недропользователя отрабатывать запасы (внутренний план компании, команда и др.).

За основу классификации минеральных запасов Южно-Аккаргинского рудного поля были приняты следующие модифицирующие факторы:

- 1) метод добычи - открытым способом, по углубочной системе разработки,
- 2) средняя глубина проектного карьера от поверхности – 28-30 м,
- 3) коэффициент вскрыши – 10,1-11,7 м³/т,
- 4) принятые параметры потерь – 4,1-3,33 % и разубоживания – 11,19-10,5 %,
- 5) гидрогеологические условия – простые, не требуется предварительного осушения,
- 6) устойчивость бортов карьера – средней сложности,
- 7) метод переработки – кучное выщелачивания после предварительной агломерации с добавлением цемента,

8) цены на золото – за одну тройскую унцию 1700 долларов США или за 1 грамм золота 54,66 долларов США.

В стандартах KAZRC особое внимание уделяется процедурам контроля качества и достоверности QA/QC, которые должны выполняться неукоснительно – рекомендуемый общий минимальный процент контрольных проб составляет 18-20 %.

В данном исследовании установлено, что указанный контроль проводился в соответствии с рекомендациями (Приложения P007-22 к методическим рекомендациям по подготовке Отчетов о результатах геологоразведочных работ, 2022). Для итоговой оценки был использован достаточный объем контрольных проб.

Использовался только указанный период, так как на исследуемом месторождении процедуры контроля качества QA/QC при ведении геологоразведочных работ начали применяться только с 2020 года. Именно поэтому стало возможно оценить минеральные ресурсы и запасы в соответствии с новыми правилами публичной отчетности.

Обработка, интерпретация и визуализация результатов контроля качества выполнялись в виде графиков рассеяния, графиков Шухарта, HARD и квантиль-квантиль (рис. 1).

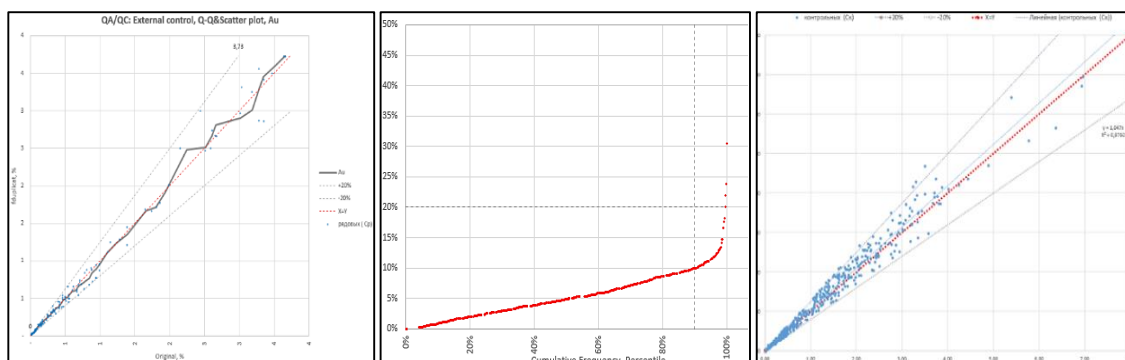


Рисунок 1. Обработка результатов контроля качества в виде графика HARD, графика рассеяния и квантиль-квантиль

Примечание – составлено автором

Результаты и их обсуждение. Результатом настоящей работы в первом случае является подсчет запасов окисленных руд месторождений Аккаргинского рудного поля для открытой отработки по стандарту ГКЗ РК на основании полученных и проанализированных данных проведенных геологоразведочных работ. Подсчет запасов выполнен с использованием программы «Micromine» методом Кригинга с учетом данных, полученных за период 01.01.2020 – 01.01.2023 гг., по утвержденным кондициям для открытой отработки окисленных руд в 2020 г.

Использованная исходная база данных содержит данные опробования с вычисленными координатами каждого интервала опробования на основе первичных данных по координатам устьев скважин, начала борозд, инклинометрии. Основная проверка базы данных проводилась в программе «Micromine» на предмет совместимости полученных файлов друг с другом.

Особенности геологического строения месторождений данной группы дали возможность отнесения запасов к категориям C_1 и C_2 :

– к категории C_1 отнесены окисленные руды, разведанные по сети 40-60×40-60 м и гуще;

– к категории C_2 отнесены запасы мелких единичных линз месторождений.

К категории Забаланс отнесены запасы согласно кондициям, утвержденным в ГКЗ РК, и все окисленные руды за пределами проектных карьеров, оконтуренные по бортовому содержанию золота 0,3 г/т.

Так как добыча на месторождениях ведется на основании Контракта № 5394-ТПИ и Лицензии на добычу, соответственно и баланс месторождений ведется раздельно, согласно двум документам. Дальнейшие расчеты выполнены с территориальным разделением запасов: в границах горного отвода; в границах лицензии; в границах геологического отвода (за пределами горного отвода и лицензии).

В результате подсчета по состоянию на 02.01.2023 г. балансовые запасы месторождений Аккаргинского рудного поля по категории C_1+C_2 составили:

- Южно-Аккаргинское месторождение: руды – 966,95 тыс.т., золота – 1 384,60 кг.

- Южно-Леонидовское месторождение: руды – 1 086,52 тыс.т., золота – 1 375,51 кг.

Экономический анализ результатов выполненной оценки запасов, подсчитанных по системе ГКЗ, показывает, что отработка золотосодержащих руд открытым способом с переработкой руды по утвержденной технологической схеме является прибыльной и экономически эффективной. Внутренняя норма прибыли (IRR) по рассчитанным запасам по бортовому содержанию золота 0,5 г/т. составляет 21,8 % при сроке окупаемости проекта 3,4 года. Чистая прибыль за весь период составляет 4, 952 млн.\$.

Результатом настоящей работы во втором случае является оценка минеральных ресурсов и запасов золотосодержащих руд месторождений Аккаргинского рудного поля в соответствии с Кодексом KAZRC.

Принципиальное отличие данной классификации в том, что минеральные ресурсы – это то, что находится в недрах, а минеральные запасы – то, что будет извлечено для дальнейшего использования.

Для оценки минеральных ресурсов была создана модель минерализации, состоящая из следующих этапов:

1. Составление базы данных для хранения информации по данным геологической разведки;

2. Статистический анализ первичных геологических данных, исправление ошибок, группировка данных, заверка базы данных, выявление закономерностей оруденения;

3. Построение скважин в пространстве 3D-визуализации модели, группировка по профилям;

4. Выделение и оконтуривание рудных и нерудных интервалов, расчёт композитных интервалов, уточнение интервалов по значениям бортового содержания или природного борта (интерпретация геологических данных);

5. Уточнение границ пространственного размещения руд, пород, литологических разностей, зоны окисления и переходной зоны;

6. Каркасное моделирование месторождения (выделение зон минерализации, рудных тел и пород, поверхностей и др.);

7. Создание пустых блочных моделей на основе параметров минерализованных зон и др.;

8. Геостатистический анализ данных разведки, вариография, определение законов пространственной изменчивости геологических характеристик компонентов;

9. Интерполяция содержаний компонентов в пустую блочную модель методами обратных расстояний, Кригинга и др.;

10. Категоризация полученных данных, составление отчётов по ресурсам и запасам.

Оценка ресурсов окисленных золотосодержащих руд на месторождениях Аккаргинского рудного поля была выполнена по бортовому содержанию золота 0,3 г/т.

Использованная исходная база данных содержит данные опробования с вычисленными координатами каждого интервала опробования на основе первичных данных по координатам устьев скважин, начала борозд, инклинометрии, а также данных химических анализов по золоту, никелю, кобальту и железу. Подсчет запасов выполнен в программе «Micromine» методом Кригинга.

Использованная база данных и метод подсчета аналогичны первому методу. Для оценки разумных перспектив возможной рентабельной добычи открытым способом была выполнена оптимизация карьеров. Параметры, которые были заложены в оптимизатор:

- Производительность по руде – 500 тыс. т/год,

- Переработка (извлечение золота) – 72,33 %,

- Себестоимость добычи руды, выемки вскрыши, переработки – 3,15, 3,15, 6,69 \$/т соответственно,

- Роялти (НДПИ) – 7,5 %, 4,8 \$/т,

- Стоимость золота – 2000 \$/тр. унц., 64,3 \$/г,

- Чистая прибыль на тонну руды – 1,9 \$/т.

Оптимизация проводилась с использованием специализированного программного обеспечения «Micromine», блок «Pit optimizer», по алгоритму Lerchs-Grossman.

Показатели эксплуатационных затрат были приняты по фактически достигнутому данным, полученным у недропользователя. Оптимизация карьера проводилась при прогнозной стоимости золота по оптимистичному сценарию на краткосрочную перспективу.

Согласно прогнозу Кристофера Льюиса (<https://www.zolotoy-zapas.ru/>), сейчас золоту приходится иметь дело со множеством перекрёстных течений. По данным Bloomberg, с начала 2024 года рост цен на золото превысил 23 % на фоне усиления ожиданий того, что ФРС США вскоре начнет цикл сокращения ставок. Кроме того, росту цены способствовало повышение спроса на активы-убежища из-за конфликтов на Ближнем Востоке и в Восточной Европе. Ралли в золоте также помогли активные покупки драгоценного металла со стороны центральных банков и устойчивый спрос на внебиржевом рынке. Для рынка золота начало цикла снижения процентных ставок, вероятно, добавит поддержки. Более низкие ставки, как правило, позитивно сказываются на цене золота.

Ожидаемое снижение ставки в США придаст новый импульс ценам на золото и приведет их к новым максимумам. Геополитика останется одним из ключевых факторов, определяющих цены на золото. Конфликты в Восточной Европе и на Ближнем Востоке, а также напряженность между США и Китаем предполагают, что спрос на безопасные активы продолжит поддерживать цены на золото в краткосрочной и среднесрочной перспективе. Кроме того, ожидается, что центральные банки продолжат увеличивать свои активы, что также должно оказать поддержку. Эксперты ING пересмотрели прогноз по ценам на драгоценный металл в сторону повышения и теперь ожидают, что в 2025 году средняя цена золота составит \$2700 за унцию.

Исходя из этого прогноза для оптимизации карьера принята стоимость золота 2000 \$ за 1 тройскую унцию (оптимистичный сценарий на краткосрочную перспективу).

Ресурсы для рентабельной добычи открытым способом, по бортовому содержанию золота 0,3 г/т, посчитанные по состоянию на 01.01.2023 г., составили:

- Южно-Аккаргинское месторождение. Окисленные руды: Выявленные – 708 876 тонн руды, 692 кг золота, Предполагаемые – 2 482 953 тонн руды, 2 164 кг золота. Смешанные руды: Предполагаемые – 811 039 тонн руды, 775 кг золота, Первичные руды: Предполагаемые – 2 099 310 тонн руды, 2 225 кг золота;

- Южно-Леонидовское месторождение. Окисленные руды: Выявленные – 371 769 тонн руды, 436 кг золота, Предполагаемые – 1 165 655 тонн руды, 1 026 кг золота, Смешанные руды: Предполагаемые – 294 230 тонн руды, 279 кг золота, Первичные руды: Предполагаемые – 3 877 236 тонн руды, 3 468 кг золота.

В категорию Вероятные Минеральные Запасы переведены соответственно окисленные Выявленные ресурсы с учетом модифицирующих факторов.

По состоянию на 02.01.2023 г. Вероятные Минеральные Запасы составили: Южно-Аккаргинское месторождение – 765 470 тонн руды, 664 кг золота. Южно-Леонидовское месторождение – 401 550 тонн руды, 422 кг золота.

Далее был проведен анализ экономической эффективности разработки месторождений Аккаргинского рудного поля.

Применяя методы оценки эффективности долгосрочных проектов по чистой прибыли, по окупаемости, по внутренней норме прибыли и чистой текущей стоимости можно сделать следующий вывод: на сегодняшний день для недропользователя ТОО «Брендт» отработка минеральных запасов окисленных руд открытым способом по существующей технологии переработки методом кучного выщелачивания и на существующих мощностях предприятия является экономически эффективной, при ставке дисконтирования @ = 10 % NPV достигает 417 тыс. долл. США, при внутренней норме прибыли (IRR) 16,5 % чистая прибыль составляет 1 343 тыс.\$ при сроке окупаемости 2,8 года.

Вовлечение в отработку посчитанных предполагаемых ресурсов с учетом потерь и разубоживания позволит увеличить количество извлекаемого металла и повысить экономическую эффективность отработки месторождения.

Заключение. В результате проведенного исследования двух методов можно с уверенностью говорить, что между ними есть большая доля сходства. Такие параметры, как: общая геология, геология самого месторождения, методы разведки, технология извлечения, гидрогеологические и инженерно-геологические особенности, экологические и социальные факторы, юридические аспекты, методы моделирования и методы оценки содержаний и объемной массы вещества являются абсолютно аналогичными.

Главные различия методов:

- Процедуры по обеспечению качества информации, получаемой в процессе разведки (QA/QC);

- Понимание реалистичных перспектив освоения месторождения и понимание влияния модифицирующих факторов;
- Методы классификации Минеральных ресурсов и Запасов;
- Оценка рисков;
- Ответственность (KAZRC - Компетентное Лицо, ГКЗ – авторы отчета, эксперты, комитет по запасам).

В итоге мы можем видеть разницу в количестве полезного ископаемого на месторождениях Аккаргинского рудного поля:

- при подсчете по стандартам ГКЗ запасы забалансовых руд составляют: 5 518 тыс. тонн руды и 3 711,98 кг золота,

- при подсчете по KAZRC количество минеральных ресурсов, Выявленных и Предполагаемых, составляет 5 834,52 тыс. тонн руды, 5 372 кг золота.

Количество запасов, которые недропользователь на сегодняшний день уже может добывать и перерабатывать, различается существенно:

- ГКЗ – 2 053,47 тыс. т. руды, 2 760 кг золота,

- KAZRC – 1 167,02 тыс. т. руды, 1 085 кг золота.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за поддержку и консультации генеральному директору ТОО «Брендт» Б.Ш. Еркееву, главному геологу ТОО «Брендт» Т. Абдину.

Статья составлена на основе материалов исследований по теме AP23484205, финансируемой МНВО РК (договор № 239/ ГФ24-26 от 09.09.2024 г.)

Список литературы

- Rakhymberdina, M.Y., Grokhotov, E.V., Assylkhanova, Z.A., Toguzova, M.M. Using space survey materials for modeling hydrodynamic accidents at mining enterprises in Kazakhstan. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, 2022, 46(5/W1-2022). – P. 193-198.
- Баубекова Г.К., Коваль В.В. География месторождений золота и рудопроявления в Костанайской области. Естественно-научные исследования. 2022. – С. 80-82 // Baubekova G.K., Koval' V.V. Geografiya mestorozhdenij zolota i rudoprojavleniya v Kostanajskoj oblasti. Estestvennonauchnye issledovaniya, 2022. – S. 80-82.
- Беспаяев Х.А., Глоба В.А., Абишев В.М., Гуляева Н.Я. Месторождения золота Казахстана: Справочник. Алматы, Информационно-аналитический центр геологии, экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. 2017. – 232 с // Bespaev H.A., Globa V.A., Abishev V.M., Gulyaeva N.YA. Mestorozhdeniya zolota: Kazahstana Spravochnik. Almaty, Informacionno-analiticheskij centr geologii, ekologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan. – 2017. – 232 s.
- Гачкевич И.В., Белых М.П. Поисково-оценочные работы на золото на Южно-Аккаргинском участке и на флангах Южно-Леонидовского и Аккаргинского участков: Отчет о результатах работ, проведенных в 1990-1996 гг. СКТУО и ИН, Джетыгаринская ГРЭ, 1996 // Gachkevich I.V., Belyh M.P. Poiskovo-ocenochnye raboty na zoloto na YUzhno-Akkargin'skom uchastke i na flangah YUzhno-Leonidovskogo i Akkargin'skogo uchastkov: Otchet o rezul'tatah rabot, provedennyh v 1990-1996gg. SKTUO i IN, Dzhetygarinskaya GRE, 1996.
- Глоба В.А., Абишев В.М. Перспективы открытия новых и нетрадиционных типов месторождений золотых в Казахстане: Сб. «Геология, минералогия и геохимия новых и нетрадиционных типов золотой минерализации». Алматы, 1991. – С. 4-16 // Globa V.A., Abishev V.M. Perspektivy otkrytiya novyh i netradicionnyh tipov mestorozhdenij zolotyh v Kazahstane: Sb. «Geologiya, mineralogiya i geohimiya novyh i netradicionnyh tipov zolotoj mineralizacii». – Almaty, 1991. – S. 4-16.
- Даукеев С.Ж. Ресурсы золота Казахстана. Минерально-сырьевые ресурсы Казахстана, 1-я редакция, 1994. – С. 15-20 // Daukeev S.ZH. Resursy zolota Kazahstana. Mineral'no-syr'evye resursy Kazahstana, 1-ya redakciya, 1994. – S. 15-20.
- Джафаров Н.Н., Джафаров Ф.Н. Полезные ископаемые Джетыгаринского рудного района (Костанайское Зауралье). – Алматы: «Алеем», 2002. – 244 с // Dzhafarov N.N., Dzhafarov F.N. Poleznye iskopaemye Dzhetygarinskogo rudnogo rajona (Kostanajskoe Zaural'e). – Almaty: «Aleem», 2002. – 244 s.

- Инструкция по применению Классификации запасов к месторождениям благородных металлов (золото, серебро, платина), утверждена приказом Министра энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, Кокшетау, 2005 // Instruksiya po primeneniyu Klassifikacii zapasov k mestorozhdeniyam blagorodnyh metallov (zoloto, srebro, platina), utverzhdena prikazom Ministra energetiki i mineral'nyh resursov Respubliki Kazahstan, Kokshetau, 2005.
- Интернет ресурс <https://www.zolotoy-zapas.ru/> // Internet resurs <https://www.zolotoy-zapas.ru/>
- Казахстанский кодекс публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, минеральных ресурсах и минеральных запасах KAZ RC, подробно главы 31-39 // Kazahstanskij kodeks publichnoj otchetnosti o rezul'tatah geologorazvedochnyh rabot, mineral'nyh resursah i mineral'nyh zapasah KAZ RC, podrobno glavy 31-39.
- Приложения P007-22 к методическим рекомендациям по подготовке Отчетов о результатах геологоразведочных работ, Минеральных Ресурсах и Минеральных Запасах в соответствии с Кодексом в редакции 2022 года // Prilozheniya R007-22 k metodicheskim rekomendaciyam po podgotovke Otchetov o rezul'tatah geologorazvedochnyh rabot, Mineral'nyh Resursah i Mineral'nyh Zapasah v sootvetstvii s Kodeksom v redakcii 2022 goda.
- Протокол заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых от 20 июля 2016 года, № 1690-16К // Protokol zasedaniya Gosudarstvennoj komissii po zapasam poleznyh iskopaemyh ot 20 iyulya 2016 goda, № 1690-16K
- Протокол заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых от 15 сентября 2020 года, № 2209-20-У // Protokol zasedaniya Gosudarstvennoj komissii po zapasam poleznyh iskopaemyh ot 15 sentyabrya 2020 goda, № 2209-20-U
- Пятков А.В. и др. Подсчет запасов окисленных золотосодержащих руд месторождений Южно-Аккаргинское и Южно-Леонидовское Аккаргинского рудного поля по состоянию на 01.01.2016 г., Костанайская область. Фонды ТОО «Брендт» // Pyatkov A.V. i dr. Podschet zapasov okislennyh zolotosoderzhashchih rud mestorozhdenij YUzhno-Akkarginskoe i YUzhno-Leonidovskoe Akkarginskogo rudnogo polya po sostoyaniyu na 01.01.2016 g., Kostanajskaya oblast'. Fondy ТОО «Brendt».
- Фрейман Г.Г., Уразаева С.Б., Еньшин Н.В. Переход на стандарты KAZRC – ожидания и риски: Доклад, озвученный на 13-ом горно-геологическом форуме МАЙНЕКС Казахстан 2023, Астана // Frejman G.G., Urazaeva S.B., En'shin N.V. Perekhod na standarty KAZRC – ozhidaniya i riski: Doklad, ozvuchennyj na 13-om gorno-geologicheskom forume MAJNEKS Kazahstan 2023, Astana
- Черепанов В.С. Геологический отчет о результатах детальных поисковых работ на золото, проведенных на Леонидовском участке Кустанайской области Джетыгаринского района (1982-1986гг.). СКПГО, Затобольская ГРЭ, 1986 // Cherepanov V.S. Geologicheskij otchet o rezul'tatah detal'nyh poiskovyh rabot na zoloto, provedennyh na Leonidovskom uchastke Kustanajskoj oblasti Dzhetygarinskogo rajona (1982-1986gg.). SKPGO, Zatobol'skaya GRE, 1986.

Information about authors

Tsoberg Nadezhda – undergraduate student of group 23-MGR-2t, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: yara_cat@mail.ru, +7 705 228 65 33

Odnokonnova Elena – general director of Geoproject Vostok LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: eodnokonnova@mail.ru +7 777 673 8120

Zimanovskaya Natalya – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: nata_zim@mail.ru, ORCID 0000-0002-9881-690X, +7 705 417 54 09

Amrenova Arailym – doctoral student of group 23-GR-3z, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: amrenovaarailym@mail.ru, ORCID 0009-0004-8251-937, +7 771 615 1488



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

АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_103
MFTAA 01.50.85

А.Ж. Алимханова¹, С.В. Григорьева², А.Б. Болатова³

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

¹E-mail: aslima_alimhanova@mail.ru

²E-mail: sgrigorieva@ektu.edu.kz

³E-mail: bolatova.anar@mail.ru*

ДЕРЕКТЕРДІ КӨРІНЕТІН ЖАРЫҚ АРҚЫЛЫ БЕРУГЕ БОЛАТЫН МОДУЛЯЦИЯ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ВИДИМОМУ СВЕТУ

RESEARCH OF MODULATION METHODS FOR DATA TRANSMISSION VIA VISIBLE LIGHT

Аңдатпа. Байланыс саласындағы оптикалық диапазонға негізделген жаңа бағыттардың пайда болуы қазіргі заманғы сымсыз инфрақұрылымды ұйымдастырудағы бар проблемалармен түсіндіріледі. Қазіргі уақытта деректерді беру үшін кеңінен қолданылатын радиожиілік жолағы шамадан тыс жүктелген және жылдам өсіп келе жатқан трафикті және сымсыз деректер қызметтеріне сұранысты қанағаттандыра алмайды. Оптикалық диапазонды пайдалануға негізделген сымсыз жүйелерді қосымша енгізу бар мәселелерді шешуге көмектеседі. Көрінетін жарық байланысы оптикалық сымсыз байланыстың құрамдас бөлігі ретінде желідегі деректерді беру жылдамдығына қойылатын талаптарды жүзеге асыруға және қолданыстағы сымсыз желілердің өткізу қабілетіне жүктемені азайтуға мүмкіндік береді. Мақалада сымсыз оптикалық байланыс желісіндегі модуляция әдістері талқыланады. Жүйе өнімділігі үшін маңызды модуляция сипаттамалары зерттеледі. Импульстік модуляция түрлері үшін берілген сигнал-шуыл қатынасы бар уақыттық толқын пішіндерін алу үшін қуат спектрінің тығыздығы есептеледі және зерттеледі. Қосымша ақ гаусс шуы болған кезде ООС-NRZ үшін идеалды жіберу және қабылдау жүйесінің моделі құрастырылған, ол ішкі көрінетін жарықты деректерді беру жүйелеріне жарамды. Сигналдардың пішіндері және аспаптық және сыртқы шудың әсері зерттелді. Эксперименттік деректер негізінде бит қателік ықтималдығының есептелген мәндері берілген. Ұсынылған имитациялық модель жарық беру жүйесіндегі нақты қабылдағыш құрылғыларды жобалауда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: модуляция әдісі; оптикалық арна; көрінетін жарық байланысы; деректерді беру; сымсыз жүйе; симуляциялық модель.

Аннотация. Появление новых направлений на основе оптического диапазона в сфере связи объясняется существующими проблемами в организации современной беспроводной инфраструктуры. В настоящее время полоса радиочастот, широко используемая для передачи данных, перегружена и не может удовлетворить быстро растущий трафик и спрос на услуги беспроводной передачи данных. Дополнительное внедрение беспроводных систем, основанных на использовании оптического диапазона, может помочь в решении существующих проблем. Связь по видимому свету, как неотъемлемая часть оптической беспроводной связи, способна

реализовать требования к скорости передачи данных в сети, и снизить нагрузку на пропускную способность уже существующих беспроводных сетей. В статье рассмотрены методы модуляции в беспроводной оптической сети связи. Изучены модуляционные характеристики имеющие важное значение для производительности системы. Для типов импульсной модуляции рассчитана и исследована спектральная плотность мощности для получения временных форм сигнала с заданным отношением сигнал/шум. Построена модель идеальной системы приема-передачи для ООК-NRZ в присутствии аддитивного белого гауссовского шума, которая подходит для систем передачи данных по видимому свету внутри помещений. Исследованы формы сигналов и влияние инструментальных и внешних шумов. Приведены расчетные значения вероятности битовой ошибки по экспериментальным данным. Предлагаемая имитационная модель может быть использована при проектировании реальных приемопередающих устройств в системе связи по видимому свету.

Ключевые слова: метод модуляции; оптический канал; связь по видимому свету; передача данных; беспроводная система; имитационная модель.

Abstract. The emergence of new directions based on the optical range in the field of communications is explained by existing problems in organizing modern wireless infrastructure. Currently, the radio frequency band widely used for data transmission is overloaded and cannot meet the rapidly growing traffic and demand for wireless data services. Additional implementation of wireless systems based on the use of optical range can help solve existing problems. Visible light communication, as an integral part of optical wireless communication, can realize the requirements for data transmission speed in the network, and reduce the load on the bandwidth of existing wireless networks. The article discusses modulation methods in a wireless optical communication network. Modulation characteristics that are important for system performance are studied. For types of pulse modulation, the power spectral density is calculated and studied to obtain time waveforms with a given signal-to-noise ratio. A model of an ideal transmission and reception system for OOC-NRZ in the presence of additive white Gaussian noise is constructed, which is suitable for indoor visible light data transmission systems. Signal shapes and the influence of instrumental and external noise were studied. Calculated values of the bit error probability based on experimental data are given. The proposed simulation model can be used in the design of real transmitting and receiving devices for a visible light communication system.

Keywords: modulation method; optical channel; visible light communication; data transfer; wireless system; simulation model.

Кіріспе. Соңғы бірнеше жылда көрінетін жарық коммуникациялары мен жарықтандыру үшін де, деректерді беру үшін де жарық диодтарын пайдалану идеясын зерттеудің өсуі байқалды. Бұл технология Visible Light Communication (VLC) деп аталады. Бұл технологияның негізгі драйверлері қатты күйдегі жарықтандырудың танымалдылығы, дәстүрлі жасанды жарық көздерімен салыстырғанда жоғары жарықтығы бар жарықдиодты шамдардың қызмет ету мерзімі, жоғары деректерді өткізу жылдамдығы, деректер қауіпсіздігі, денсаулыққа қауіпті және энергияны аз тұтыну. VLC ұсынатын қосарлы функционалдылық (яғни, жарықтандыру және бірдей жарық диодты шамдар арқылы деректерді беру) бірқатар қызықты қолданбаларды, соның ішінде үй желісін, кеңселердегі жарықтандыру инфрақұрылымы арқылы жоғары жылдамдықты деректерді беруді, көліктен көлікке байланыс орнатуды қамтамасыз етті. Ұшақ кабиналары, пойыздардағы деректер байланысы, бағдаршамды басқару және көлік коммуникациялары, бірнеше атауға болады. Бүгінгі күні жарықдиодты шамдар ұсынатын энергия тиімділігі мен сенімділік деңгейі жарықтандыру үшін қолданылатын дәстүрлі қыздыру шамдарынан әлдеқайда асып түседі. VLC-дегі соңғы зерттеулер кеңседегі және үйдегі қысқа қосылымдар арқылы 500 Мбит/с асатын деректерді беру жылдамдығын сәтті көрсетті. Әрі қарайғы зерттеулер мен әзірлемелер заманауи инфрақызыл, радио-микротолқынды байланыс жүйелерімен және жарықтандыру технологияларымен байланысты кейбір мәселелерді ішінара шешуге жаңа мүмкіндіктер ашады.

Бұл жұмыс процесті басқару жүйелерінде көрінетін жарыққа негізделген сымсыз оптикалық байланыс технологиясын пайдалану мүмкіндігін қарастырады. Бұл саладағы

зерттеулерге жеткіліксіз көңіл бөлінді жоғары жылдамдықты қамтамасыз ете отырып, әртүрлі форматтағы және үлкен көлемдегі деректерді беру үшін.

Кез келген байланыс жүйесін жобалау кезінде модуляция әдісін таңдау принципті болып табылады. Талдау жүргізілетін және модуляция әдістері бағаланатын критерийлерді анықтау қажет. Оптикалық сымсыз арна үшін біз ең маңызды критерийлерді анықтадық – энергия тиімділігі, өткізу қабілеттілігінің тиімділігі және тасымалдау сенімділігі (Ahmad R., Srivastava A., Selmy H, 2018; Yu T.-C., Huang W.-T., Lee W.-B., Chow C.-W., Chang S.-W., Kuo H.-C., 2018; Yu T.-C., Huang W.-T., Lee W.-B., Chow C.-W., Chang S.-W., Kuo H., 2021; Vappangi, S., Venkata Mani, V., & Sellathurai, M., 2021).

1) Энергия тиімділігі. Көз қауіпсіздігі стандарттарына сәйкес оптикалық сымсыз таратқыш шығаратын орташа оптикалық қуат шектеулі. Сонымен қатар, аккумулятормен жұмыс істейтін портативті жабдықта қуат тұтынуды минималды деңгейде ұстаған жөн, бұл оптикалық тарату қуатына да шектеулер қояды. Сондықтан ішкі оптикалық сымсыз байланыс жүйелері үшін қолайлы модуляция әдістерін бағалаудың ең маңызды критерийі энергия тиімділігі болып табылады. Әрбір модуляция схемасы белгілі бір орташа оптикалық қуатты ұсынады. Сондықтан олар әдетте қалаған бит қателік жылдамдығына (BER) және сигнал-шуыл қатынасына (SNR) қол жеткізу үшін қажетті орташа оптикалық қуат тұрғысынан салыстырылады.

2) Өткізу қабілетінің тиімділігі. Теориялық тұрғыдан оптикалық тасымалдаушыны «шексіз өткізу қабілеттілігі» бар деп санауға болады. Дегенмен, фотодетектор аймағы және арна сыйымдылығы сияқты жүйе құрамдастары байланыс жүйесіне іс жүзінде қол жетімді өткізу қабілетінің көлемін бұрмалаусыз шектейді. Оптикалық сигналдың диффузиялық арнада (атмосфералық ауа) және көрінбейтін (NLOS) кейінгі көп жолды таралуы да қолжетімді арна өткізу қабілеттілігін шектейді.

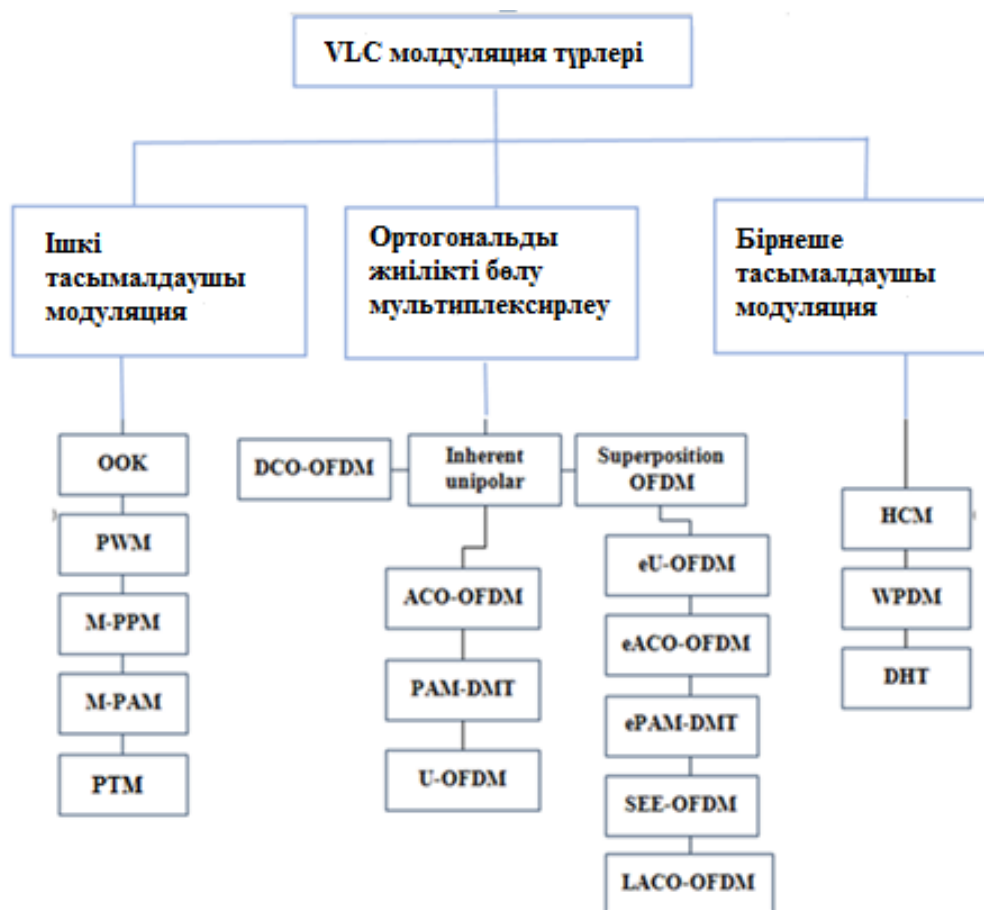
Өткізу қабілетінің тиімділігі бит жылдамдығының таратқыштың өткізу қабілетіне қатынасы ретінде анықталады.

Түсірілім шуы басым шуыл көзі болған кезде, нәтижесінде сигнал-шу арасындағы қатынас фотодетектордың бетінің ауданына пропорционал болады. Демек, бір элементті қабылдағыштар үлкен аумақты фотодетекторларды пайдалануды жөн көреді. Дегенмен, үлкен аумақты фотодетекторлармен байланысты жоғары сыйымдылық қабылдағыштың өткізу қабілетін шектейді. Бұған қоса, көп бағытты көру сызығы және диффузиялық арна конфигурациялары үшін арна өткізу қабілеті көп жолды таратумен шектеледі. Демек, үлкен өткізу қабілеттілігін қажет ететін модуляция схемалары таңба аралық кедергіге (ISI) көбірек сезімтал, сондықтан қуаттың жоғары жоғалуына әкеледі. Осылайша, модуляция әдістерін бағалаудың екінші маңызды критерийі өткізу қабілеттілігінің тиімділігі болып табылады.

3) Беріліс сенімділігі. Модуляция әдісі қолайсыз жағдайларда ең аз рұқсат етілген қателік жылдамдығын қамтамасыз етуі керек және сонымен қатар деректер сигналының тұрақты құрамдас бөлігінің көпжолды таралуынан және вариациялардан туындаған таңбааралық кедергілерге төзімді болуы керек. 0-ден 1-ге өтудің ұзақ уақыт болмауы қиындық тудыруы мүмкін, себебі сандық фазалық құлыпталған цикл арқылы тактілік жиілікті қалпына келтіру ықтималдылығы болмауы мүмкін. Сонымен қатар, жоғары деңгейлі бірнеше ретті импульстерден аулақ болу керек, себебі алынған сигнал қабылдағыштағы жоғары жиілікті сүзгі арқылы бұрмаланады. Сонымен қатар, модуляция әдісі сигнал қуатының өзгеруіне байланысты тактілік сигналдың жалған фазалық модуляциясы, диффузиялық құрамдастың үлкен уақыт тұрақтысы есебінен импульстің ұзаруы және сигналға байланысты импульстің бұрмалануы сияқты бірқатар факторларға төзімді болуы керек.

Оптикалық арна радиожілік арналарынан айтарлықтай ерекшеленеді. Зерттеудің мақсаты басқару жүйелері үшін көрінетін жарық арқылы сымсыз арналарда модуляция әдісін таңдау болып табылады. Біз атап өткен критерийлер бойынша ең танымал болып табылатын бірнеше модуляция әдістерін қарастырайық: энергия тиімділігі, өткізу қабілеттілігі тиімділігі және сенімділік.

Әдебиеттерге шолу: VLC жүйелеріндегі модуляция схемалары оптикалық арналардың модуляция схемаларынан ерекшеленеді. 1-сурет VLC технологиясына қолданылатын модуляция әдістерін көрсетеді (<http://tadviser.com/index.php>)



1-сурет. VLC технологиясының модуляция әдістерінің классификациясы

Ескерту – автормен құрастырылған

Басқару жүйелерінде деректерді беру үшін жарық диодтарын пайдалануды ұсынамыз. Сондықтан таңдалған модуляция әдісі іске асыру үшін жеткілікті қарапайым болуы қажет. Жоғары қуат пен өткізу қабілеттілігінің тиімділігіне қол жеткізудің мағынасы жоқ, егер дизайн іске асыру соншалықты күрделі болса, оны жүзеге асыру мүмкін емес. Модуляция әдісін таңдауды бағалаудың тағы бір факторы – жасанды сыртқы жарық көздерінің кедергілерін басу мүмкіндігі. Сыртқы жарықтың қуат деңгейін төмендетудің ең қарапайым жолы – электрлік жоғары жиілікті сүзгілеу.

Сондай-ақ дизайн көп жолды таралу нәтижесінде пайда болатын таңбааралық кедергіге (ISI) төзімді болуы қажет (Chowdhury M., Hossain M., Islam A., Jang Y, 2018;

Olanrewaju H.G., Thompson J. Popoola W, 2018). Қарқынды модуляцияны тікелей анықтайтын ішкі оптикалық сымсыз арна үшін қолайлы модуляция әдістерін үш негізгі топқа топтастыруға болады: ішкі тасымалдаушы модуляция (SCM), ортогональды жиілікті бөлу мультиплексирлеу (OFDM), мультитасымалдаушы модуляция (MCM)[7, 8].OFDM модуляциясы деректерді жарық ағыны бойымен тасымалдау үшін жақсы өнімділікке ие, бірақ оны жүзеге асыру қиын және техникалық қымбат. Бұл модуляция көбінесе екі бағытты ағын бойынша деректерді беруді ұйымдастыру туралы мақалаларда қарастырылады (Aziz A.F., Aly O.A.M., Mohammed U.S., 2019; Palacios P., Azurdia-Meza C.A., Roman Cañizares M., Montejo Sánchez S, 2020; Selvendran S., Sivanantha Raja A., Esakki Muthu K., Lakshmi A., 2019) Бірнеше ішкі тасымалдаушылары бар модуляция зерттелуде (Yang Y., Zeng Z., Cheng J., Guo C., Feng C.,2019)

Ішкі тасымалдаушы модуляциясы базалық жолаққа кіреді. Бұл модуляцияның артықшылығы – деректерді беру және оны жүзеге асыру сенімділігі. Қосу/өшіру модуляциясы (ООС) және импульстік уақыт модуляциясы (PTM) әдістерін қоса алғанда, бірақ олармен шектелмейтін негізгі жолақ схемалары көп жолды әсерлерге төзімдірек.

ООК-NRZ модуляциясы ғылыми еңбектерде көрсетілген модуляцияланған жарық арналарын талдауға байланысты қызығушылық тудырады. 1-кестеде қосу/өшіру нөлге қайтару модуляциясы әдісімен люминофорлық жарықдиодты пайдаланып алынған VLC жүйесінің өнімділігі көрсетілген.

1-кесте. VLC жүйелерінің өнімділігі

LED түрі	Модуляция схемасы	Модуляция өткізу қабілеттілігі	Деректерді тасымалдау жылдамдығы
Люминофорлы жарық диодтары	ООК-NRZ	50 МГц	100 Мбит/с (BER < 10 ⁻⁹) [17]
Люминофорлы жарық диодтары	ООК-NRZ	50 МГц	230 Мбит/с (BER < 10 ⁻³) [18]
Люминофорлы жарық диодтары	ООК-NRZ	50 МГц	80 Мбит/с (BER < 10 ⁻⁶) [19]
Люминофорлы жарық диодтары	ООК-NRZ	50 МГц	250 Мбит/с (BER < 10 ⁻⁹) [20]
<i>Ескерту – автормен құрастырылған</i>			

Бұл зерттеуде бастапқы деректерді бұрмаламай ақпаратты берудің дәлдігін арттыру басымдылық көрсеткіші болып табылады; 50 МГц өткізу қабілеттілігі сигнал сапасын төмендетпей жарық ағыны бойынша деректерді беруді ұйымдастыру үшін жеткілікті. Тасымалдау жылдамдығы 250 Мбит/с шегінде. Техникалық жүйелерді басқаруды ұйымдастыру үшін бұл параметр негізгі емес, бірақ ол міндетке жауап береді. Кестеде көрсетілген бит қателерінің жылдамдығы ITU-TG.821 және G.826 ұсыныстарына сәйкес келетінін атап өткен жөн.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Тікелей анықтауы бар қарқынды модуляция (IM/DD) көбінесе қарапайым ООК модуляциясымен біріктірілед (Kurniawan P., Sujatmoko K., Pamukt B., 2019; Dwivedy P., Dixit V., Kumar A.,2023; Baklanov A., Grigoryeva S., Alimkhanova A., Grigoryev E., Sayun V., 2019; Grigoryeva S., Grigoryev Ye., Sayun V., Baklanov A., Alimkhanova A.,2020)

Ақпаратты беру кезінде бір разряд бит ұзақтығының барлығын немесе бір бөлігін құрайтын кернеуі 5 В болатын оптикалық импульспен беріледі, ал нөлдік бит 0 В кернеуі

бар оптикалық импульспен беріледі. Диаграммада көрсетілген. берудің екі түрі: нөлге қайтарумен (RZ) және нөлге қайтарусыз (NRZ). Екі түрін де қарастырамыз NRZ схемаларында ұзақтығы бит ұзақтығына тең оптикалық импульс 1-ді көрсету үшін беріледі, ал RZ схемасында импульс тек ішінара бит ұзақтығын алады.

1 және 2 формулалар OOK-NRZ және OOK-RZ спектрлік тығыздықтарын сипаттайды ($\gamma=0,5$) бір және нөл тәуелсіз және тең таралған деп есептелетін жағдайлар үшін. (Наукин S., Moher M., 2010)

$$S_{OOK-NRZ}(f) = (P_r R)^2 T_b \left(\frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b} \right)^2 \left[1 + \frac{1}{T_b} \delta(f) \right] \quad (1)$$

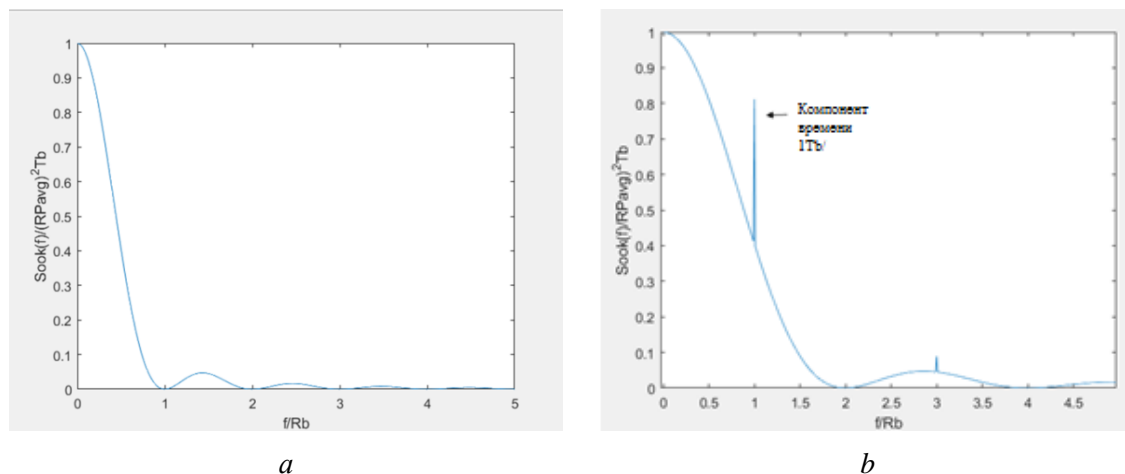
$$S_{OOK-RZ(\gamma=0.5)}(f) = (P_r R)^2 T_b \left(\frac{\sin(\pi f T_b / 2)}{\pi f T_b / 2} \right)^2 \left[1 + \frac{1}{T_b} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f - \frac{n}{T_b}\right) \right] \quad (2)$$

мұндағы: P_r – орташа қуат; R – фотодетектордың сезімталдығы; T_b – бит ұзақтығы; $\delta(t)$ – Дирак дельта функциясы; f – жиілік импульсі.

OOK-NRZ және OOK-RZ үшін электр қуатының спектрлік тығыздығы MATLAB жүйесінде жүзеге асырылады (1-сурет).

Қуат осі орташа электр қуатының разряд ұзақтығына $(P_r R)^2 T_b$, ал жиілік осі разряд жылдамдығына ($R_b = 1/T_b$) нормаланады. Екі қисық бірдей орташа оптикалық P_r қуатын пайдаланып салынған.

Импульстік базалық жолақ сигналдары әдетте жоғары жиіліктерге бармайды және олардың спектрлері нөлге, яғни тұрақты токқа бағытталған. Мұнда спектр жиілік диапазонын 0 Гц (DC) бастап қуат нөлге дейін төмендейтін бірінші нүктеге дейін қамтиды. Күтілгендей, OOK-RZ ($\gamma = 0,5$) OOK-NRZ өткізу қабілеттілігінен екі есе артық, өйткені импульстік ені екі есе кең. OOK-NRZ және OOK-RZ екеуі де ($\gamma = 0,5$) P_r^2 салмағы бар тұрақты ток кезінде дискретті мәндері бар қатарлы мүшелер бар. Жиілік импульсі бит жылдамдығына тең $f = R_b$ және оны OOK-NRZ қабылдағышындағы импульстік сигналды қайта құру үшін пайдалануға болады.



1-сурет. Электр энергиясының спектрлік тығыздықтары: а – OOK-NRZ, б – OOK-RZ ($\gamma = 0,5$)
Ескерту – автормен құрастырылған

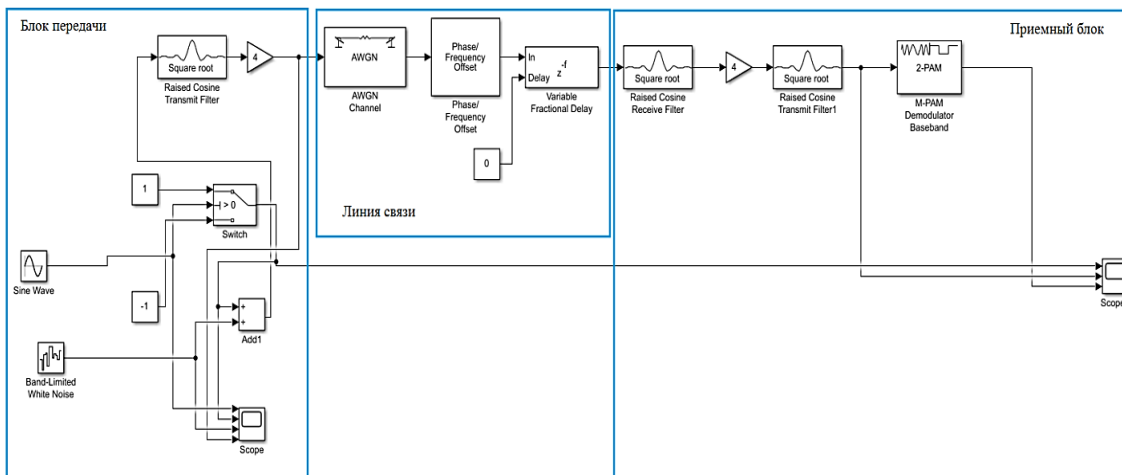
OOK-NRZ және OOK-RZ тұрақты ток пен төмен жиілікте айтарлықтай энергия тұтынуға ие. Бұл сипаттама қоршаған ортаның жасанды жарық көздерінің кедергісін

азайтуда электрлік жоғары жиілікті сүзгілеудің тиімсіз екенін білдіреді, себебі жоғары кесу жиіліктерін негізгі сызықтың айтарлықтай ауытқуынсыз пайдалану мүмкін емес. Екі қисық астындағы аудандарды салыстыра отырып, берілген орташа оптикалық тарату қуаты үшін OOK-RZ ($\gamma=0,5$) OOK-NRZ екі есе электр қуатына ие.

OOK-NRZ энергия тиімділігі η 1-ге тең және өткізу қабілеттілігі η_B 1-ге тең. Егер OOK-RZ нөлдік модуляцияны қарастырсақ, онда энергия тиімділігі η 1-ге және өткізу қабілеттілігі η_B -ге тең. 2. Амплитудалық модуляцияның екі қарапайым түрі үшін OOK-RZ және OOK-NRZ бір бит беру үшін бірдей энергия тиімділігі бар OOK-RZ өткізу қабілеттілігі екі есе үлкен болады. Өткізу қабілеттілігі жұмыс цикліне байланысты, себебі ол сигнал спектрінің мақсаттылығына тікелей әсер етеді. Сондықтан өткізу қабілеттілігінің тиімділік коэффициенті OOK-NRZ үшін жоғарырақ. Сонымен қатар, RZ қабылдағыштың сағатын қайта өзгертуде қиындықтарға тап болады, бұл сигнал ұзақ уақыт бойы нөлдік деңгейде қалып қоятын жағдайларды жасайды, өткізу қабілеттілігінің тиімділігін одан әрі төмендетеді.

Алынған есептеу деректеріне сүйене отырып, сымсыз оптикалық желілер арқылы трансивер жолының үлгісін құру үшін OOK-NRZ модуляциясын таңдаймыз. Аддитивті ақ Гаусс шуы болған кезде OOK-NRZ үшін идеалды максималды ықтималды жіберу-қабылдау жүйесін құрастырайық.

Нәтижелер және оларды талқылау. 2-суретте MATLAB қолданбалы пакетінің көмегімен жасалған модельдеу моделі көрсетілген. Схема өзара байланысты үш функционалды блокты қамтиды: таратқыш, байланыс арнасы және қабылдағыш. Қабылдау-беру жүйесін модельдеу кезіндегі көзқарасымыздың айырмашылығын көрсету үшін блоктардың әрқайсысына тоқталып, оларды толығырақ сипаттайық.



2-сурет. Аддитивті ақ гаусс шуы болғандағы OOK-NRZ функционалдык диаграммасы
Ескерту – автормен құрастырылған

Жүйе таратқышының кірісіне амплитудасы 5В синусоидалы сигнал береміз.

2-суретте көрсетілген схемада модуляторды OOK-NRZ схемасы бойынша құрастырамыз. Модулятор тізбегінде қосу/өшіру қосқышы (Switch) пайдаланылады, жоғарғы деңгей үшін екі тұрақты +1 және төменгі үшін -1, 1 және 3 кірістерге (деректер порттары) беріледі, ал 2 басқару кірісіне синусоидалы сигнал беріледі. Кілттің шығысында NRZ сигналын байқауға болады (3, б-сурет).

Аспаптық шуды имитациялау үшін ақ шу блогы (Band-LimitedWhiteNoise) тандалды, онда шу қуаты $1 \cdot 10^{-6}$ Вт етіп орнатылған.

Импульстік сигналға аспаптық шуды қою үшін жинақтау блогы (Add1) қолданылады.

Таратқыштың бұрмалануын азайту үшін Көтерілген косинус сүзгісі қолданылады; Косинус сүзгісінің импульстік реакциясы шексіз. Таратқышта орнатылған сүзгінің бір бит Тб созылатын бірлік амплитудасының $p(t)$ тік бұрышты импульстік реакциясы бар екенін түсіндірейік. Модуляцияға дейінгі таратқыштың шығыс сигналы $2Pr$ фотодетекторымен жазылған оптикалық сигналдың қуатымен анықталады. Тасымалданатын сигналға тәуелсіз кездейсоқ процесс қосылады, ол екі жақты қуат спектрлік тығыздығы $N_0/2$ ақ Гаусс шуы ретінде модельденеді.

$$\frac{N_0}{2} = qI_B \quad (3)$$

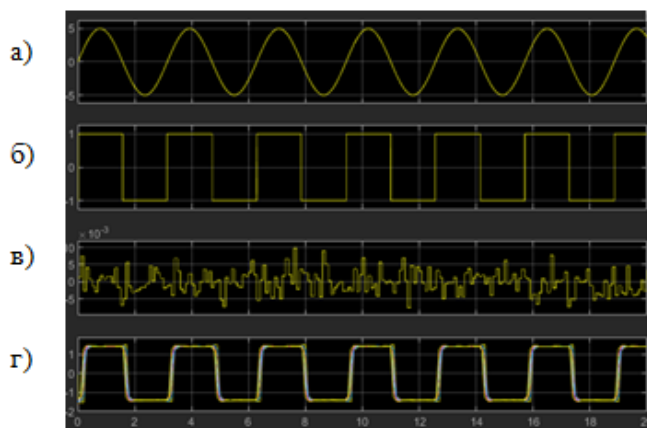
мұндағы q – электрон заряды; I_B – фон жарығы тудыратын орташа фототок.

Сәйкес келетін сүзгі кірісін келесідей модельдеуге болады:

$$i(t) = \begin{cases} I_p + n(t) & \text{для } a_i = 1 \\ n(t) & \text{для } a_i = 0 \end{cases} \quad (4)$$

мұндағы $n(t) \sim N(0, \sigma^2)$ – екі жақты қуаттылық спектрлік тығыздығы $N_0/2$, орташа нөлдік және дисперсиясы σ^2 болатын сыртқы жарық әсерінен болатын қосымша ақ Гаусс шуы, ал I_p – ең жоғары фототок.

Сүзгі шығысындағы таратқыш тізбегімен күшейтілген сигнал амплитудасы өте аз, сондықтан күшейткіш қондырғыны орнату қажет. 3, а-суретте кіріс синусоидалы сигнал көрсетілген. Модулятордан кейінгі сигнал 3, б-суретте көрсетілген, содан кейін схема бойынша аспаптық шу 3, в-суретте көрсетілген кіріс сигналының үстіне қойылды. Таратқыштағы сүзгіден кейін алынған сигнал 3, d суретте көрсетілген.



3-сурет. Уақыт доменінің толқын пішіндері: а – енгізусигнал; б – модулятордан кейінгі сигнал; в – аспаптық шудың сигналы; d – таратқыш сүзгіден кейінгі сигнал
Ескерту – автормен құрастырылған

MATLAB жүйесіндегі деректер сілтемесіндегі радиооптикалық шуды дұрыс модельдеу үшін AWGN блогы қосылады. Ақ Гаусс шуы жиілік спектрі бойынша біркелкі таралады және барлық жиіліктерде бірдей қуат спектрлік тығыздығына ие. Бұл шу сыртқы факторлардың әсерін имитациялайтын және сәйкесінше радиоарнадағы шудың нақты әрекетін көрсететін ақпараттық сигналға сызықты түрде қосылады.

Сондай-ақ, AWGN блогының дұрыс жұмыс істеуі үшін біз тізбекке фаза мен жиілікті ауыстыру блогын (фаза/жиілік) енгіздік. Біз бұл блогтың параметрлерін нөлге қоямыз, өйткені бұл жобада біз фаза мен жиілікті ескермейміз.

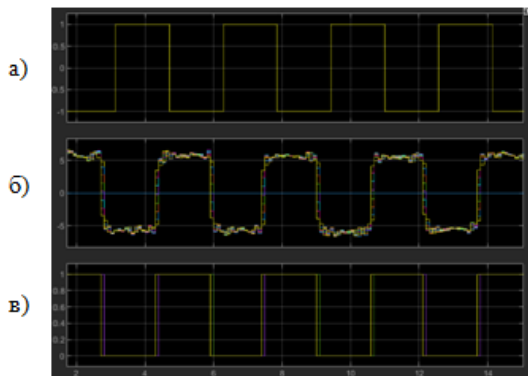
Ақпаратты беру сапасын жақсарту үшін схемада уақытты кідірту блогы (Variable Fractional Delay) қолданылады. Бұл блок диапазоннан тыс сигналдарды сүзу және басу арқылы сигнал-шу қатынасын жақсартады. Бұл сигнал мен кедергі арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді.

Қабылдағыш бөлімі симуляцияланған тізбектің сигнал спектрін тегістеу үшін косинусты күшейтетін сүзгіні пайдаланады. Бұл сүзгі спектрлік тиімділікті жақсартады және таңба аралық кедергіні (ISI) азайтады.

Тізбектің келесі блогында M-импульстік демодулятор (M-PAM) қолданылады. Демодулятор импульстік амплитудалық модуляция арқылы модуляцияланған жіберілген сигналды қалпына келтіреді.

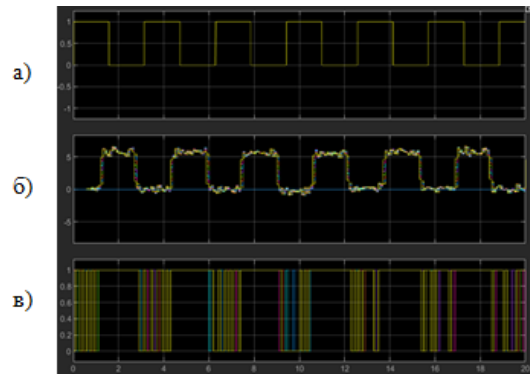
Схема екі сүзгіні пайдаланады. Бірінші сүзгі қабылданған сигнал қуатын стандартты мәнге дейін қалыпқа келтіреді. Екінші сүзгі сигналды байланыс арнасы бойынша беруге дайындайды, яғни оны дискретті түрге түрлендіреді. Символаралық кедергіні басу үшін ақырғы импульстік жауап косинус сүзгісі де қолданылады.

4 және 5-суреттерде сәйкесінше NRZ коды қосылған және NRZ жоқ OOK модуляциясы бар қабылдау құрылғысының шығысындағы осциллограммалар көрсетілген. Екі осциллограмманы салыстыра отырып, сіз NRZ кодын қоспасаңыз, шығыс сигналы шумен бітеліп қалатынын көруге болады.



4-сурет. OOK-NRZ бар қабылдау құрылғысының шығысындағы осциллограмма: а – модулятордан сигнал; б – фильтрден кейінгі сигнал; с – шығыс сигналы

Ескерту – автормен құрастырылған



5-сурет. OOK-RZ бар қабылдау құрылғысының шығысынан осциллограмма: а – модулятордан сигнал; б – фильтрден кейінгі сигнал; с – шығыс сигналы

Ескерту – автормен құрастырылған

Біз идеалды жіберуші және қабылдаушы жүйенің жағдайын қарастырдық.

Нақты беріліс жүйесін жобалау үшін жіберу қателерінің ықтималдықтарын ескеру қажет. Егер қабылданған сигнал шекті деңгейден жоғары болса, «1» цифрлық белгісі, ал басқа жағдайда «0» қабылданған болып саналады.

Сондықтан қателік ықтималдығы былай беріледі

$$P_e = p(0) \int_{i_{th}}^{\infty} p(i/0) di + p(1) \int_0^{i_{th}} p(1) di \quad (5)$$

мұндағы i – шекті сигнал деңгейі; $p(0)$ және $p(1)$ – «нөл» және «бір» ықтималдықтары, ал шекті ықтималдықтар келесідей анықталады:

$$p(i/1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(\frac{-(i)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

$$p(i/1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(\frac{-(i-I_p)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

Бірдей ықтималды белгілер үшін $p(0) = p(1) = 0,5$, сондықтан оңтайлы шекті нүкте $i_{th} = 0,5 I_p$, ал шартты қате ықтималдығы төмендейді.

$$P_e = Q\left(\frac{i_{th}}{\sigma}\right) \quad (8)$$

Мұнда Гаусс құйрығы астындағы аудан болып табылатын Маркумның Q-функциясы берілген

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\alpha^2/2} d\alpha \quad (9)$$

OWC байланысының өнімділігіне шу көздері, сондай-ақ байланыс байланысында туындаған жиілік пен бұрмалану әсер етеді. Сонымен қатар, тарату арнасына қабылдағыштың электронды жабдығының шуы және қабылданған фототокпен индукцияланған атыс шуы әсер етеді. Бұл шулар қабылдағыш кірісіндегі шудың ең басым көздері болып табылады. Байланыс арнасында пайда болатын кедергілерді басу үшін сәйкес сүзгі қолданылады.

ООК-NRZ сигналы кез келген кедергілерді елемей, амплитудасы 1/ және ұзақтығы T_b болатын тік бұрышты импульстік жауапқа ие. $\sqrt{T_b}$

Сәйкес сүзгі үшін сүзгі шығысындағы шу үлгілерінің дисперсиясы тек кіріс шуының қуат спектрлік тығыздығына және сәйкес келетін сүзгінің импульстік реакциясының энергиясына байланысты болады. Осылайша, егер кіріс $N_0/2$ екі жақты спектрлік қуат тығыздығы бар AWGN болса, сәйкес келетін сүзгі шығысындағы шу дисперсиясы мына түрде беріледі:

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2} \int_{t=0}^{T_b} r^2(t) dt \quad (10)$$

Демек, стандартты ауытқу σ болады

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_0 E_p}{2}} \quad (11)$$

Демек, (5), (9) және (11) қосу, яғни E_p -ді I_p -ге және σ -ге ауыстыру, береді $\sqrt{(N_0 E_p) / 2}$.

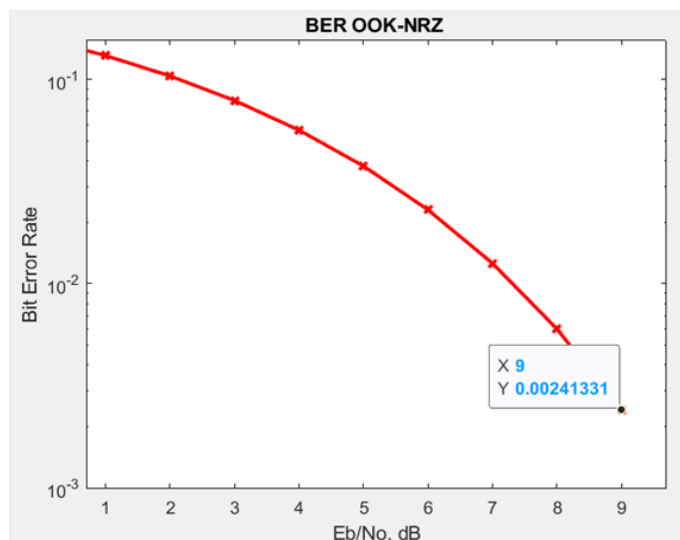
$$P_{e_bit_OOK} = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (12)$$

мұндағы орташа энергия бір бит E_b арқылы берілген

$$E_b = \frac{E_p}{2} = 2(RP_r)^2 T_b \quad (13)$$

Бит қателігінің ықтималдығы 12 формула арқылы есептелді. Модельдеу нәтижесінде алынған параметр мәндері көрсетілді. Есептелген көрсеткіштер негізінде ООК-NRZ үшін бит қателік ықтималдығының E_b/N_0 тәуелділігінің графигі тұрғызылды. График (6-сурет) E_b/N_0 9,8 дБ тең болғанда қателік деңгейі 10⁻³ болатынын көрсетеді.

Осылайша, біз ұсынатын модельдеу моделі көрсетілген талаптарды қанағаттандырады және VLC технологиясын қолданатын нақты қабылдағыш құрылғыларды жобалауда қолдануға болады.



6-сурет. OOK-NRZ үшін бит қателік жылдамдығының графигі

Ескерту – автормен құрастырылған

Қорытынды. Екі OOK модуляциясының кодтау схемаларына салыстырмалы талдау жүргізілді. Есептеу нәтижелері бір бит беру үшін бірдей энергия тиімділігі мәнімен OOK-RZ өткізу қабілеттілігі OOK-NRZ өткізу қабілетінен екі есе үлкен болатынын көрсетті. Өткізу қабілетінің тиімділігі жұмыс цикліне байланысты. Тиісінше, өткізу қабілеттілігінің тиімділігі OOK-NRZ үшін жоғарырақ. Оған қоса, RZ ресиверде сағатты қалпына келтіруді қолдамайды, себебі ол 0-ден 1-ге дейін ауыспай ұзақ төмен сигналға мүмкіндік береді және өткізу қабілеттілігінің тиімділігін одан әрі төмендетеді.

MATLAB бағдарламасында сымсыз оптикалық желі арқылы OOK модуляция беру арнасының имитациялық моделі құрастырылған. Модулятор блогы NRZ сызықтық кодтамасы бар OOK модуляция схемасына салынған. Сымсыз оптикалық желі арқылы трансивер жолының үлгісінде OOK-NRZ модулятор блогын пайдалану жаңа. Модельдеу нәтижелері уақыт кідірісі бар таратқыш және қабылдау блоктарынан бірдей толқын пішіндерін көрсетті. Бұл ұсынылған модельдеу моделінің сәйкестігін растайды.

Модельдің сенімділігі жіберу қатесінің ықтималдығының есептеулерімен расталады. Есептелген деректер негізінде OOK-NRZ үшін E_b/N_0 қателік ықтималдығының тәуелділігінің графигі тұрғызылды. График E_b/N_0 9,8 дБ тең болғанда қате жылдамдығы 10^{-3} болатынын көрсетеді, яғни әрбір 1000-нан 1 бит қате болады.

Әдебиеттер тізімі

- Ahmad R., Srivastava A., Selmy H. Advanced Modulation Techniques for Low PAPR in VLC System // 20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Bucharest, Romania. – 2018. doi: 10.1109/ICTON.2018.8473679.
- Yu T.-C., Huang W.-T., Lee W.-B., Chow C.-W., Chang S.-W., Kuo H.-C. Visible Light Communication System Technology Review: Devices, Architectures, and Applications // Crystals. – 2021, 11, 1098. <https://doi.org/10.3390/cryst11091098>
- Vappangi, S., Venkata Mani, V., & Sellathurai, M. (2021). Visible Light Communication: Comprehensive Theory and Applications with MATLAB® (1st ed.). CRC Press. – 2021. – P. 520.
- Internet of Things, IoT, M2M world market. [Online]. Available: <http://tadviser.com/index.php>.
- Chowdhury M., Hossain M., Islam A., Jang Y. A Comparative Survey of Optical Wireless Technologies: Architectures and Applications // Access. – 2018. – Vol. 6. – P.9819–9840. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2792419.

- Olanrewaju H. G., Thompson J. Popoola W. O. Performance of Optical Spatial Modulation in Indoor Multipath Channel // Transactions on Wireless Communications. – 2018. – vol. 17, no. 9. – P. 6042-6052. doi: 10.1109/TWC.2018.2854573.
- Jamaluddin Z., Mohd Fadzli M.d S. Wavelet Based Multicarrier Modulation (MCM) Systems: PAPR Analysis. – 2020. DOI: 10.5772/intechopen.94579.
- Behnam K. Orthogonal Frequency Division Multiplexing and Multiple Access. – 2018. – 151-188. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing and Multiple Access. // AeroMACS. – 2018. – P.151–188. doi:10.1002/9781119281139.ch4
- Aziz A.F., Aly O.A.M., Mohammed U.S. High Efficiency Modulation Technique for Visible Light Communication (VLC) // 36th National Radio Science Conference (NRSC), Port Said, Egypt. – 2019. – P.100-107. doi: 10.1109/NRSC.2019.8734568.
- Palacios P., Azurdia-Meza C. A., Roman Cañizares M., Montejo Sánchez S. Performance Analysis of OFDM-Based VLC Schemes in NLOS Channels // South American Colloquium on Visible Light Communications (SACVC), Santiago, Chile. – 2020. 10.1109/SACVLC50805.2020.9129862.
- Selvendran S., Sivanantha Raja A., Esakki Muthu K., Lakshmi A. Certain Investigation on Visible Light Communication with OFDM Modulated White LED Using Optisystem Simulation // Wireless Personal Communications. – 2019. doi:10.1007/s11277-019-06617-2.
- Yang Y., Zeng Z., Cheng J., Guo C., Feng C. A Relay-Assisted OFDM System for VLC Uplink Transmission // IEEE Transactions on Communications. – 2019. – Vol.67. – Is.9. doi:10.1109/tcomm.2019.2923237
- Kurniawan P., Sujatmoko K., Pamukt B. Performance of OOK-RZ and NRZ Modulation Techniques in Various Receiver Positions for Li-Fi // IEEE International Conference on Signals and Systems (ICSigSys). – 2019. – P.173-177. doi:10.1109/icsigsys.2019.8811047.
- Dwivedy P., Dixit V., Kumar A. NOMA cooperative VLC systems: design and performance analysis with OOK and L-PPM modulation // Applied Optics. – 2023. – Vol.62. – Is.25. – P.6639-6651. doi: 1364/AO.496935.
- Baklanov A., Grigoryeva S., Alimkhanova A., Grigoryev E., Sayun V. Audio Transmission System Using White LEDs // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Tomsk, Russia/ – 2019. doi: 1109/SIBCON.2019.8729564/
- Grigoryeva S., Grigoryev Ye., Sayun V., Baklanov A., Alimkhanova A. A New Approach to Physical Encoding in VLC Data Transmission Technology // 21th International Conference on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), Chernal, Russia. – 2020. – P.221-225. doi: 10.1109/EDM49804.2020.9153488/
- Jiemei Wang, Chunhui Lu, Shangbin Li, Zhengyuan Xu. 100 m/500 Mbps underwater optical wireless communication using a NRZ-OOK modulated 520 nm laser diode // Optics Express. – 2019. – Vol. 27, Issue 9. – P. 12171-12181. doi: 10.1364/OE.27.012171.
- Sönmez M. The Performance Analysis of K-Nearest Neighbors Based Detection Algorithm in Visible Light Communication Systems // International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP). – 2021. – Vol.11(12). – P.479-483. doi: 10.29322/IJSRP.11.12.2021.p12069.
- Zaiton A.M., Joyce Y.P.L., Ahmad Z., Jasman F., Hassan W.H.W. Performance Evaluation of NRZ-OOK and Carrier-Less Amplitude Phase Modulation in Li-Fi Environment // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. doi: 10.1088/1742-6596/2411/1/012016.
- Performance improvements of a VLC system, in a V2X context, using a different multiplexing technique // TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control. – 2023. – Vol. 21, No. 4. – P. 725-735. doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v21i4.24042.
- Haykin S., Moher M. Introduction to Analog and Digital Communications. Second Edition. – 2010. – 537 p.

Information about authors

Alimkhanova Aslima – PhD, senior lecturer, «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: aslima_alimhanova@mail.ru

Grigoryeva Svetlana – PhD, associate professor, «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: SGrigorieva@ektu.edu.kz

Bolatova Anar – doctoral student of «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: bolatova.anar@mail.ru

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_115
IRSTI 20.20.53

**M.Zh. Bazarova¹, M.A. Karmenova¹, A.M. Zamanbekova¹, Z.G. Kabdrakhmanova¹,
I.B. Karymsakova²**

¹Sarsen Amanzholov East Kazakhstan university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: madina_vkgtu@mail.ru*

E-mail: mmm_0582@mail.ru,

E-mail: aygerim_zamanbekova@mail.ru

E-mail: zkabdrakhmanova@vku.edu

²Shakarim University, Semey, Kazakhstan

E-mail: indiviki@mail.ru

ONTOLOGICAL MODELING OF THE TEACHER TRAINING PROCESS WITH ELEMENTS OF STEM EDUCATION

STEM-БІЛІМ БЕРУ ЭЛЕМЕНТТЕРІ БАР ОҚЫТУШЫЛАРДЫҢ БІЛІКТІЛІГІН АРТТЫРУ ПРОЦЕСІН ОНТОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ STEM-ОБРАЗОВАНИЯ

Abstract. The article discusses the construction of an "Ontological model of the teacher training process with the integration of STEM education." The scope of ontological modeling of the teacher training process with elements of STEM education is determined by several factors.

Firstly, in recent years, attention to STEM education (science, technology, engineering and mathematics) has been increasing around the world, as these areas of knowledge are key to the development of innovation and economics. Secondly, the development of information and communication technologies leads to the emergence of new teaching methods and educational models. Thirdly, the existence of an ontological model of the teacher training process with elements of STEM education can significantly facilitate the creation and implementation of individual educational programs.

The implementation of the results of the study "Ontological model of the teacher training process with the integration of STEM education" in educational institutions and universities of the Republic of Kazakhstan will provide online support for the educational process, as well as organize collaboration and communication between students and teachers.

The use of ontological engineering and the STEAM approach in the professional development of teachers will help in the development of curricula, assessment of their competencies, improvement of the quality of education and personalization of training.

Keywords: knowledge, ontology, ontological engineering, knowledge base, ontological model.

Аңдатпа. Мақалада «STEM-білім беру интеграциясы бар оқытушылардың біліктілігін арттыру процесінің онтологиялық моделі» құрылысын қарастырады. STEM-білім беру элементтері бар оқытушылардың біліктілігін арттыру процесін онтологиялық модельдеу салалары бірнеше факторларға байланысты.

Біріншіден, соңғы жылдары бүкіл әлемде STEM біліміне (ғылым, технология, инженерия және математика) назар аударылуда, өйткені бұл білім салалары инновация мен экономиканы дамытудың кілті болып табылады. Екіншіден, ақпараттық және коммуникациялық технологиялардың дамуы оқытудың жаңа әдістері мен білім беру модельдерінің пайда болуына әкеледі. Үшіншіден, STEM-білім беру элементтері бар оқытушылардың біліктілігін арттыру процесінің онтологиялық моделінің болуы жеке білім беру бағдарламаларын құруды және іске асыруды едәуір жеңілдетеді.

Қазақстан Республикасының Білім беру ұйымдары мен жоғары оқу орындарында «STEM-білім берудің интеграциясы бар оқытушылардың біліктілігін арттыру процесінің онтологиялық

моделі» зерттеу нәтижелерін қолдану білім беру процесіне онлайн-қолдауды, оқытушылармен білім алушының бірлескен жұмысы мен қарым-қатынасын ұйымдастыруды қамтамасыз етеді.

Оқытушылардың біліктілігін арттыру процесінде онтологиялық инжиниринг пен STEAM-тәсілді қолдану оқу бағдарламаларын өзірлеуге, оқытушылардың құзыреттерін бағалауға, білім сапасын арттыруға және оқытушылардың біліктілігін арттыру кезінде оқытуды жекелендіруге көмектеседі.

Түйін сөздер: білім, онтология, онтологиялық инженерия, білім базасы, онтологиялық модель.

Аннотация. В статье рассматривается построение «Онтологическая модель процесса повышения квалификации преподавателей с интеграцией STEM-образования». Сферы онтологического моделирования процесса повышения квалификации преподавателей с элементами STEM-образования обусловлена несколькими факторами.

Во-первых, в последние годы внимание к STEM-образованию (наука, технологии, инженерия и математика) увеличивается по всему миру, так как эти области знаний являются ключевыми для развития инноваций и экономики. Во-вторых, развитие информационных и коммуникационных технологий приводит к появлению новых методов обучения и моделей образования. В-третьих, существование онтологической модели процесса повышения квалификации преподавателей с элементами STEM-образования может значительно облегчить создание и реализацию индивидуальных образовательных программ.

Внедрение результатов исследования «Онтологическая модель процесса повышения квалификации преподавателей с интеграцией STEM-образования» в образовательные учреждения и вузы Республики Казахстан позволит обеспечить онлайн-поддержку учебного процесса, а также организовать совместную работу и общение обучающихся с преподавателями.

Использование онтологического инжиниринга и STEAM-подхода в повышении квалификации преподавателей поможет в разработке учебных программ, оценке их компетенций, улучшении качества образования и персонализации обучения.

Ключевые слова: знание, онтология, онтологический инжиниринг, база знаний, онтологическая модель.

Introduction. In the State Program for the Development of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for 2020-2025 and in the program “Digital Kazakhstan” President Kassym-Jomart Tokayev focuses on the importance of digitalization of all spheres of life, as well as on the continuous education of students and improving the professional competence of teachers.

The Law on Education in the Republic of Kazakhstan, the national educational standard and the Education Development program for 2022-2025 define new targets for the country's educational system aimed at meeting the challenges of the 21st century, the requirements of international law, innovative economic development and modern needs of society. One of the key areas is the development of human individuality and competitiveness in an ever-changing world. In the modern world, the problem of the formation of a creative personality capable of independently replenishing knowledge, extracting benefits, and realizing their own goals and values in life is very relevant. This can be achieved through the cognitive-research activities of students in various key academic areas such as science, mathematics, technology, and engineering. For this purpose, it is planned to introduce STEAM elements into the educational program, aimed at developing new technologies, scientific innovations, and mathematical modeling.

STEAM education is the bridge that connects learning and careers. The need for innovators in education in the modern world leads to a shift in existing priorities. It is necessary to develop critical thinking skills, digital skills that are important for innovation, and find ways to develop them.

The relevance of research in the field of ontological modeling of the process of teacher training with elements of STEM education is due to several factors. Firstly, in recent years there has been a worldwide trend towards increasing attention to STEAM education (science,

technology, engineering and mathematics), as these disciplines play a key role in the development of innovation and economics. Secondly, the development of information and communication technologies creates new teaching methods and educational models. Third, the existence of an ontological model for the process of teacher professional development with elements of STEM education can significantly facilitate the creation and implementation of individual educational programs.

Object of study is the process of improving the teacher's qualifications. Subject of research are concepts, connections and properties associated with the process of professional development of teachers with elements of STEM education are crucial. It is advisable to put forward a research hypothesis that the use of ontological modeling in the process of advanced training of teachers with elements of STEM education will effectively structure and organize the knowledge and skills necessary for successful teaching of science, technology, engineering and mathematics subjects, which will lead to improved quality of education and increasing the professional competence of teachers.

Objective of the project: creating a formal model that allows you to describe and structure the knowledge, concepts and connections associated with the process of professional development of teachers in the field of STEM education.

Research objectives:

- research of world experience in the field STEAM approach and ontological engineering in the process of advanced training of teachers;
- development of an information model of the ontological knowledge base of the process of advanced training of teachers with elements of STEM education;
- performing a semantic description of knowledge about the subject area using ontological engineering methods;
- building an ontological model of the process of advanced training of teachers with elements of STEM education.

Ontological modeling allows you to create a formal knowledge structure that reflects the connections between concepts and the subject area, which in turn allows you to more effectively organize and standardize the process of training and advanced training for teachers, i.e. process of teacher training.

Scientific novelty: is to use ontological modeling methods for the process of advanced training of teachers with elements of STEM education, providing the opportunity to develop new competencies among teachers, as well as methods of intellectual knowledge processing based on the use of descriptive logic, statistical classification methods, Text Mining and Semantic Web technologies.

Practical significance: lies in the possibility of creating an ontological modeling system for the process of advanced training of teachers with elements of STEM education, providing the opportunity to develop new competencies among teachers, the learning process implementation of the STEAM approach in educational institutions and authorized bodies of education and science of the Republic of Kazakhstan.

Literature review. STEAM education is a mechanism that provides a link between learning and professional careers. In the modern world, there is a need for innovators in education, which leads to a change in priorities. One of the important areas of student activity is scientific and technical creativity, and one of the most innovative areas in this area is educational robotics, including the study of the fundamentals of technology, information modeling, programming and information technology.

Developing critical thinking and digital skills, which are essential for innovation, is a must. Developments in the application of robotics, artificial intelligence, unmanned vehicles, e-commerce and big data processing technologies are proving important.

STEAM education offers an integrated approach to solving urgent problems, which is based on the interaction of various fields such as natural sciences, engineering, mathematics, digital technologies, as well as the study of networks, blockchain and foresight. The education system is influenced by the digital revolution and the IV technological revolution, which combines several “exponential technologies” such as artificial intelligence, biotechnology and nanomaterials. As a result, significant changes are needed in data science, artificial intelligence, robotics, and nanomaterials curricula.

Future jobs in the technology sectors will be related to artificial intelligence, machine learning, robotics, nanotechnology and 3D printing. New forms of education associated with the IV technological Revolution cover the development of new technologies and emphasize the importance of educational robotics as a means of preparing students for innovative technical activities. Attention is also focused on the formation of students' competencies, such as solving complex problems, critical thinking, creativity, effective teamwork, leadership and emotional intelligence, which is achieved through project activities.

Modern artificial intelligence and programming tools (deep neural networks of artificial intelligence) make it possible to solve complex problems in the field of robotics. Aimed at creating and analyzing algorithms, artificial intelligence tools are computer programs that provide a machine with its own intelligence and behavior. Artificial intelligence provides robots with computer vision capabilities, allowing them to navigate, perceive, and respond appropriately. Machine learning (as a part of programming) is how robots learn to perform tasks from humans.

Although the term “knowledge management” originated in the 90s of the XX century, the issues of developing and implementing knowledge management systems at the basic level of infrastructure are still relevant and extremely important for involving more participants in the knowledge transfer process. One of the ways to solve this problem is to create an ontological model of the teacher training process using the STEAM approach.

Knowledge is a key resource for organizations. Therefore, they need to use and manage their existing knowledge effectively. In this regard, the importance of knowledge management and transfer becomes obvious.

Currently, ontological knowledge bases are gaining the greatest interest, since they have a significant advantage over traditionally used relational databases. The ontological approach to the development of competency models is considered in (Davydenko, 2016; Bova, 2021; Kalimol-dav et al., 2015; Sutaphan et al., 2019; Hassan, et al., 2021). The STEAM approach to the educational process is reflected in works (Shahali et al., 2017; Ritz et al., 2015; Ahmadi et al., 2014).

The works of foreign scientists are devoted to ontological engineering (Sharef et al., 2017; Alaa et al., 2021; Reyes-Peña et al., 2019).

Ontological modeling of the process of advanced training of teachers with elements of STEM education is of practical importance in several aspects:

1. Curriculum development: Ontological modeling allows us to understand what competencies teachers need to successfully implement STEM education. Based on this information, appropriate training programs can be developed, where sufficient attention will be paid to the development of the necessary competencies.
2. Assessing teacher competencies: the ontology model can be used to assess teacher competencies. Based on the model, it is possible to determine which competencies the teacher already has and which ones need to be developed. This allows a more informed competency development plan to be made and areas where additional training is needed.
3. Improving the quality of education: ontological modeling helps to identify shortcomings in the educational system and suggest ways to eliminate them. The analysis of the model makes it possible to determine which competencies of teachers are insufficiently developed, and how

this may affect the quality of education. Based on these data, measures can be developed to improve the overall quality of education.

4. Personalization of learning: The ontological model provides an individual assessment of the competencies of each teacher. Based on this information, you can create personalized training programs and recommend special courses to develop the necessary competencies.

Materials and methods. Methods for solving scientific research problems: include analysis of existing approaches to ontological modeling, conducting experiments and research, development and testing of an ontological model, as well as its use in the process of teacher training using elements of STEM education, methods of data collection and analysis, as well as conducting surveys and interviews with teachers and educational specialists.

The methodological and theoretical basis of the project consists of methods and models of discriminatory logics, which logics allow to describe the axioms and facts of the subject area of a distributed knowledge base. The technological basis of the work consists of methods for designing distributed information systems, distributed search algorithms and inference engines. To implement the search, the principles of Text Mining and Semantic Web are used.

The research tasks were solved using the project method and ontological analysis, an object-oriented approach to software development, as well as optimization methods and mathematical and computer modeling.

Now there are professions related to technology at the intersection of natural sciences. Improving the quality of training is possible through the use of the STEAM approach. The introduction of STEAM education will facilitate the adaptation of students to higher education and their future profession, and increasing their STEAM literacy will ensure demand and competitiveness in the labor market.

Ontologies are created using the Protégé 4.3 Ontology Editor, which is a free, open and cross-platform knowledge base development tool. The editor can be accessed at <http://protege.stanford.edu>. The knowledge base level in the structure of a distributed information system is presented in OWL/XML and RDF/XML formats.

The principles of scientific ethics, including ethical management procedures, will be observed during the implementation of the project. This implies maintaining high standards of intellectual integrity and preventing falsification of scientific data, plagiarism, false co-authorship and the use of data obtained in the course of collective research, without the consent of other participants. The interdisciplinary approach in this project allows us to combine knowledge, methods and tools from different fields to create a comprehensive and effective approach to the development of teacher competencies using elements of STEM education.

Results and discussion. To build an ontological modeling of the process of advanced training for teachers with elements of STEM education, you can use the following software:

1. Protege (<https://protege.stanford.edu/>) is a powerful and flexible platform for creating ontologies. It allows you to define concepts, connections and attributes that describe the process of professional development of teachers, as well as use various standards and languages to formalize the ontology.

2. RDFox (<https://www.oxfordsemantic.tech/rfox>) is a high-performance system for working with RDF (Resource Description Framework) and SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language), which are standards for representing knowledge in web semantics. Using RDFox, you can store and process data describing teacher competencies and their development.

3. OWLAPI (<https://github.com/owlcs/owlapi>) is a Java API for working with ontologies formalized in OWL (Web Ontology Language). With this library you can create, modify and analyze ontologies using the functionality of the OWL language.

4. Protégé Graph Editor (<https://github.com/ncbo/protege-graph>) is an extension for Protege that allows you to visualize ontologies as a graph. This can help in understanding the structure

and connections between teacher competencies, as well as in conducting competency network analyses.

5. JENA (<https://jena.apache.org/>) is a Java framework for working with data related to semantic web technologies. It includes tools for storing, querying and processing data describing teacher competencies, and provides convenient APIs for working with data in RDF and SPARQL format.

These are just some examples of software that can be used in the project “Ontological modeling of the process of advanced training of teachers with elements of STEM education.” The choice of specific tools depends on the requirements and preferences of the project team.

Research methods are based on knowledge management, ontological engineering, service-oriented programming, description logic and methods of knowledge inference. They also rely on the theory of sets and graphs, the theory of syntactic analysis and the concept of creating ontologies (Bazarova et al., 2024; Bazarova et al., 2023).

The main goals of ontology development include improving the integration of information for management decision-making, improving the efficiency of data retrieval and providing the possibility of joint knowledge processing based on a single semantic description of the subject area.

When creating information systems, the ontological model serves as an extensible and customizable knowledge system. In the course of the study, an ontological approach was chosen to form a unified educational environment that takes into account the requirements of the labor market both at the national and international levels.

Currently, the most common language for representing ontologies is OWL (Web Ontology Language), which extends the capabilities of XML, RDF and RDF Schema (Glimm et al., 2014; Ghanim et al., 2021; Abdelghany et al., 2019). An ontological model of the process of advanced training of teachers with the integration of STEM education has been constructed. The hierarchy of classes of this ontology is presented in Figure 1.

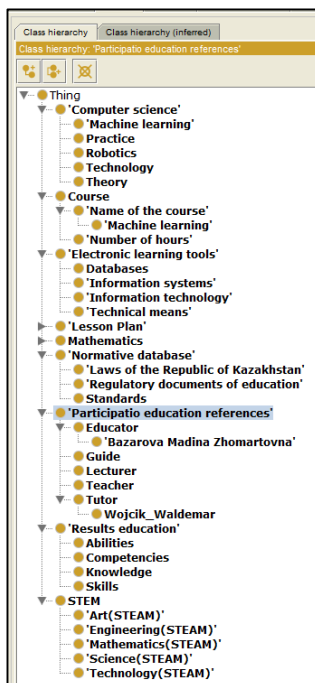


Figure 1. Hierarchy of the ontological model of the teacher training process

Note – compiled by the author (Bazarova, 2024)

As an example, consider the advanced training course “Machine Learning”. Figure 2 shows SubClass - Course_name, Members (individuals) - course topics.

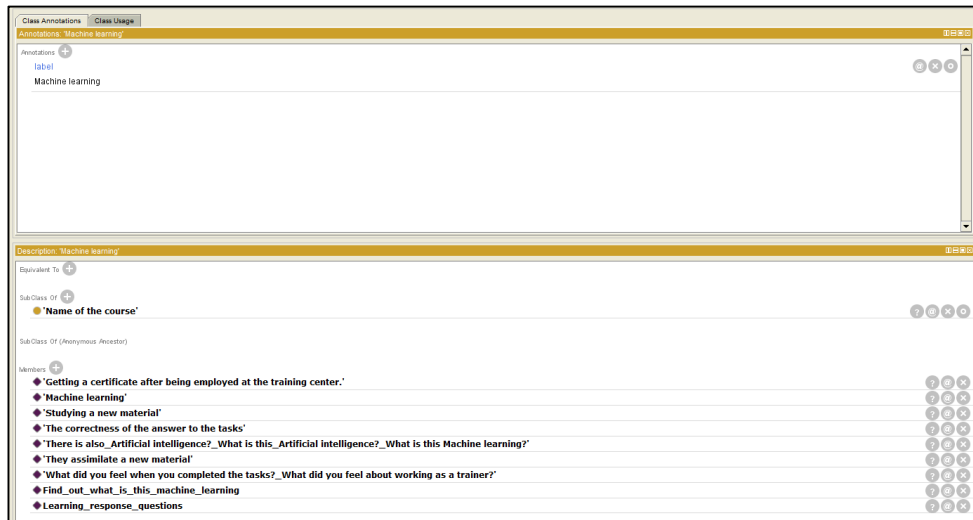


Figure 2. Advanced training course “Machine Learning”

Note – compiled by the author (Bazarova, 2024)

To create a connection between “Tutor” and “Course”, we create a property of the object has_leads_the_course (teaches the course), as shown in Figure 3.

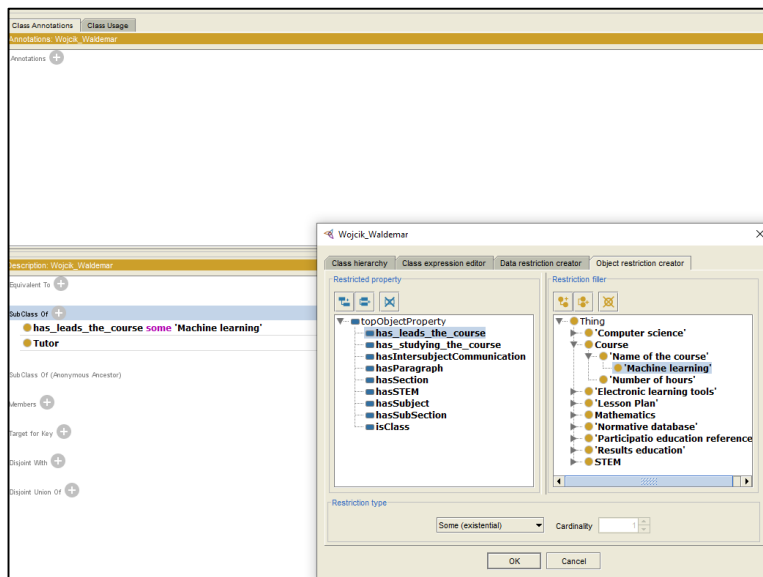


Figure 3. Has_leads_the_course object property

Note – compiled by the author (Bazarova, 2024)

Figure 4 shows the connections and relationships of classes and individuals of the ontology for the course advanced training “Machine learning”. The has_leads_the_course object property is shown in red.

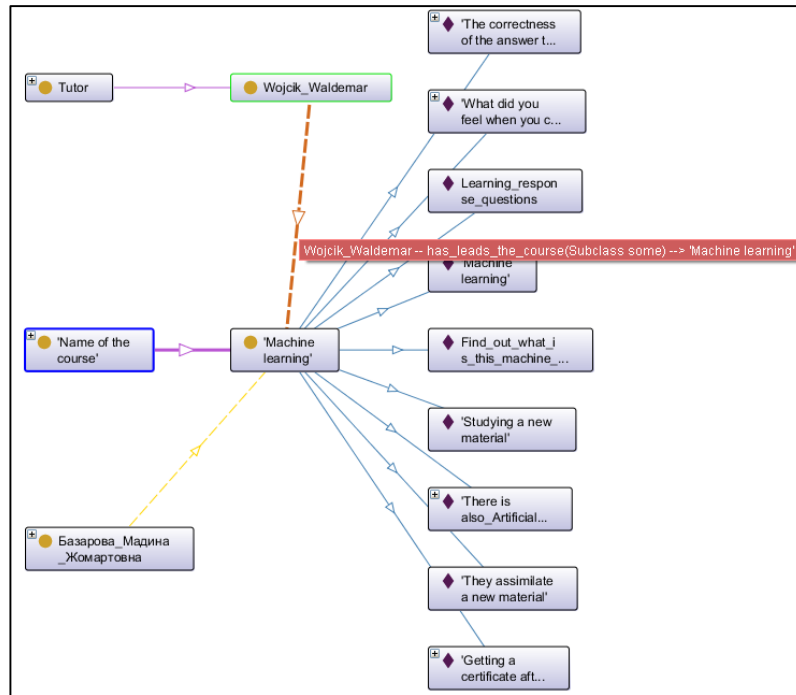


Figure 4. Fragment of the ontology displaying the Tutor-Course relationship
Note – compiled by the author (Bazarova, 2024)

To create a connection between “Teacher”, taking a course and “Course”, we create a property of the object has_studying_the_course (studying the course), as shown in Figure 5.

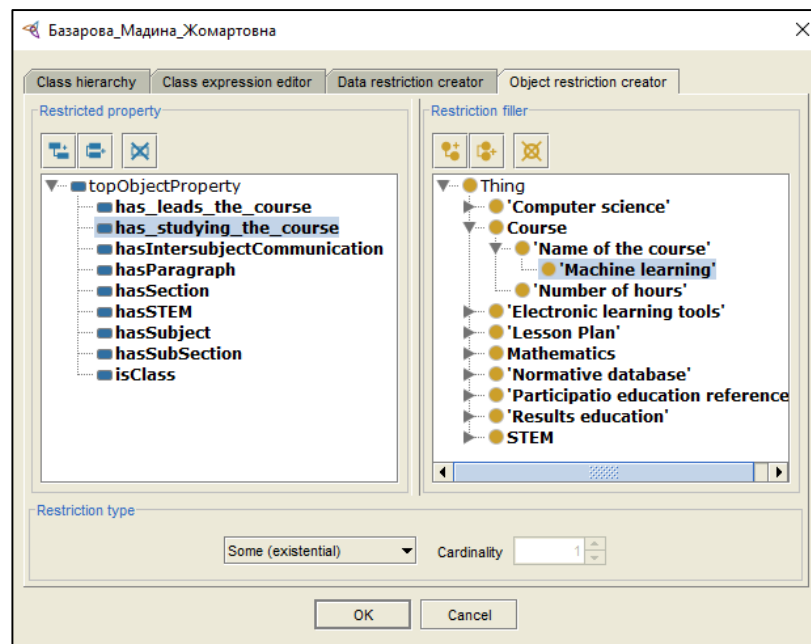


Figure 5. Property of the object has_studying_the_course
Note – compiled by the author (Bazarova, 2024)

Figure 6 shows the connections and relationships of classes and individuals of the ontology for the course advanced training "Machine learning". The object property has_studying_the_course is shown in red.

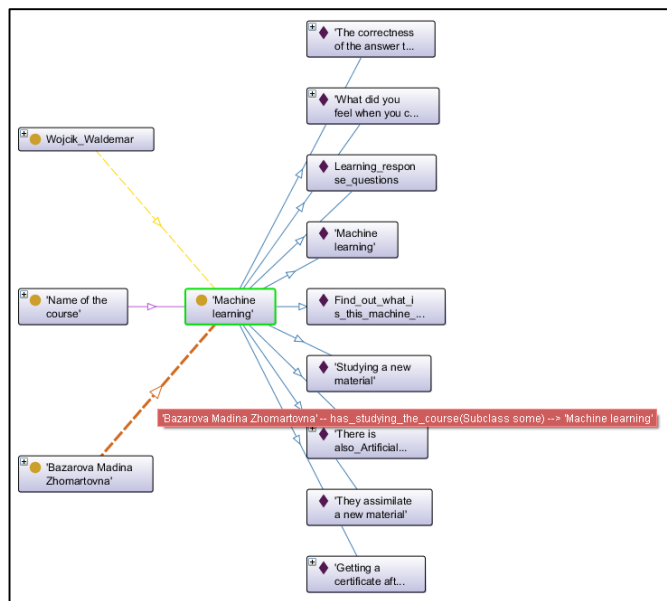


Figure 6. Fragment of the ontology displaying the teacher-course relationship
 Note – compiled by the author (Bazarova, 2024)

A fragment of the ontological model of the process of advanced training of teachers with the integration of STEM education, shown using the Ontograf visualization tool is presented in Figure 7.

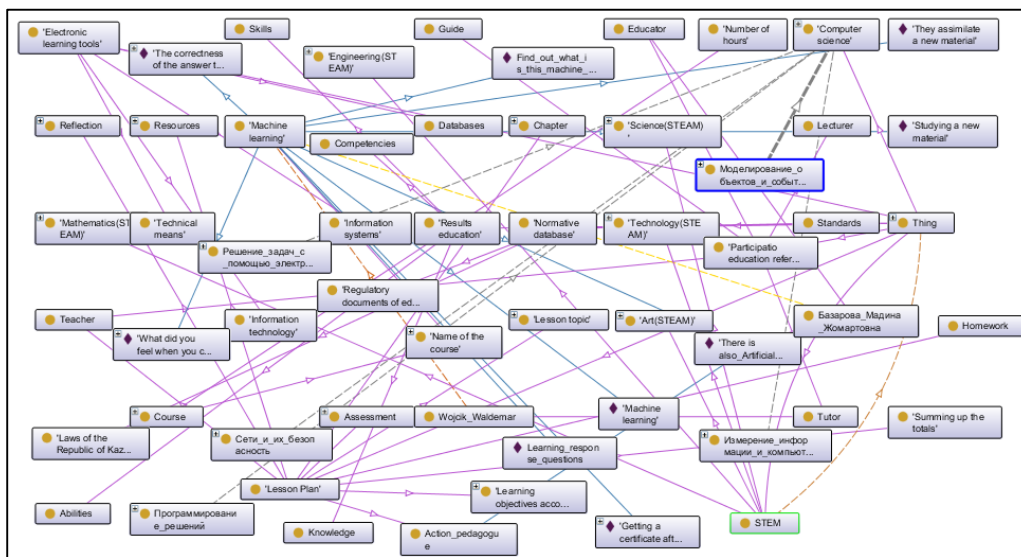


Figure 7. Fragment of the ontological model of the process of advanced training of teachers with the integration of STEM education
 Note – compiled by the author (Bazarova, 2024)

Conclusion. The implementation of the results of the research "Ontological model of the teacher training process with the integration of STEM education" in educational institutions and universities of the Republic of Kazakhstan will provide online support for the educational process and organize collaboration and communication between students and teachers.

The use of ontological engineering and the STEAM approach in the process of teacher training contributes to the development of educational programs, assessment of their competencies, improvement of the quality of education and personalization of learning. This approach will make it possible to refine and apply data from the ontological model in the process of teacher training.

Filling out the knowledge base helps to identify the relationships between professional development programs. The use of ontological engineering methods can improve the quality of pedagogical education through the semantic description of knowledge in the subject area and the introduction of interdisciplinary and STEM approaches into the educational process.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- Davydenko I.T. (2016). Means for structuring semantic models of knowledge bases. Open semantic technologies for designing intelligent systems: materials of the VI International. scientific-technical conf, BSUIR, 93-106.
- Bova V.V. (2021). Ontological model of data and knowledge integration in intelligent information systems. News of the Southern Federal University. Technical science, no. 4(165). – P. 225-237.
- Kalimoldaev M. N., Malbasova Sh. A. (2015). Analysis of educational portals of higher educational institutions based on new information technologies. Statistics, accounting and audit. – T. 1, 84-88.
- Sutaphan, Sukanya, and Chokchai Yuenyong.(2019). STEAM Education Teaching approach: Inquiry from the Context Based. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1340, no. 1. IOP Publishing.
- Hassan Majeed, B., Fouad Jawad, L., and ALRikabi, H. T. S. (2021). The Impact of Teaching by Using STEAM Approach in The Development of Creative Thinking and Mathematical Achievement Among the Students of The Fourth Scientific Class. International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM), T. 15(13), 172–188, <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i13.24185>.
- Shahali, E. H. M., Halim, L., Rasul, M. S., Osman, K., and Zulkifeli M.A. (2017). STEAM Learning through Engineering Design: Impact on Middle Secondary Students' Interest towards STEAM. EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education. T.13(5), 1189-1211.
- Ritz, J. M. and Fan, S. C. (2015). STEAM and technology education: international state-of-the-art. Int J Technol Des Educ, T. 25. – P. 429-451.
- Ahmadi S., Khezri H. (2014) Preliminary Evaluation of the Core Competencies in the Curriculum of Undergraduate Elementary Education, Stud, vol. 4, no. 1, 01-05.
- Sharef N. M., Mustapha A., Murad M. A., and Iqbal R. (2017). An ontology development approach using concept maps driven by automatic term extraction, International Journal of Information and Communication Technology, vol. 10, no. 1, 51, <https://doi.org/10.1504/IJICT.2017.10001311>.
- Alaa R., Gawish M., and Fernández-Veiga M. (2021). Improving recommendations for online retail markets based on ontology evolution, Electronics, vol. 10, no. 14, <https://doi.org/10.3390/electronics10141650>.
- Reyes-Peña C. and Tovar-Vidal M. (2019). Ontology: components and evaluation, a review, Research in Computing Science, vol. 148, no. 3, 257–265, <https://doi.org/10.13053/rcs-148-3-21>.
- Glimm B., Horrocks I., Motik B., Stoilos G. and Wang Z., (2014). HermiT: an OWL 2 reasoner, Automat. Reason. – P. 1-25, 2014.
- Ghanim HAA and Kovács L. (2021). Development of ontology-based model to support learning process in LMS," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 24, no. 1, 507–518, <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v24.i1.pp.507-518>.
- Abdelghany A., Darwish N., and Hefni H. (2019). An Agile Methodology for Ontology Development," International Journal of Intelligent Engineering and Systems. – Vol. 12. – No. 2. – 170-181. <https://doi.org/10.22266/ijies2019.0430.17>.
- Bazarova M., Alibekkyzy K., Adikanova S., Bugubayeva A., Zhomartkyzy G., Jaxalykova A., Baidildina A., Keribayeva T. (2024). Ontological model of the process of intensification of teachers' competencies. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 35, no. 1, 446-458, <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v35.i1>. – Pp. 446-458.

Bazarova M., Adikanova S., Zhomartkyzy G., Vais Y., Alpysova A., Jaxalykova A., Kaidarova M., Bekbayeva R. (2023). Application of ontology-based engineering and stem approach in learning. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – Vol. 31. – No. 1. – P. 440-450, [https://doi.org/ 10.11591/ijeecs.v31.i1](https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i1). – Pp. 440-450, <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/download/30837/17434>

Information about authors

Bazarova Madina Zhomartovna – Associate Professor of the Department of Computer Modeling and Information Technology, PhD, Sarsen Amanzholov East kazakhstan university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: madina_vkgtu@mail.ru

Karmenova Markhaba Akhmetollinovna – Associate Professor of the Department of Computer Modeling and Information Technology, PhD, Sarsen Amanzholov East kazakhstan university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: mmm_0582@mail.ru

Zamanbekova Aigerim Manarbekkyzy – Senior Lecturer of the Department of Computer Modeling and Information Technology, Sarsen Amanzholov east Kazakhstan university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: aygerim_zamanbekova@mail.ru

Kabdrakhmanova Zaure Gadylzhanovna – Senior Lecturer of the Department of Computer Modeling and Information Technology, Sarsen Amanzholov east Kazakhstan university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: zkabdrakhmanova@vku.edu

Karymsakova Indira Bekenovna – Acting Associate Professor of the Department of Automatization, information technology and urban planning, Doctor PhD, NAO Shakarim University, Semey, Kazakhstan, E-mail: indviki@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ РОБОТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_125
IRSTI 28.23.27

M.G. Zhartybayeva¹, A.D. Alinova¹, N.G. Serik², K. Tlesova³, G.A. Tyulepberdinova¹

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

E-mail: makkenskii@mail.ru*

E-mail: alinova-aida@mail.ru

E-mail: tyulepberdinova@gmail.com

²Kazzinc CEO, Zhairam Village, Kazakhstan

E-mail: nurzhan.serik1990@gmail.com

³Vivotek Inc., 6F, No.192, Lien-Cheng Rd., Chung-Ho, New Taipei City 23553, Taiwan

E-mail: ktlssv@gmail.com

DEVELOPMENT OF HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEMS AND A DATABASE FOR MONITORING BATHYMETRIC AND HYDROGRAPHIC INDICATORS OF WATER BODIES

СУ ОБЪЕКТИЛЕРІНІҢ БАТИМЕТРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГИДРОГРАФИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН МОНИТОРИНГТЕУ ҮШІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-АППАРАТТЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ҚҰРУ

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА БАТИМЕТРИЧЕСКИХ И ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Abstract. The developed system includes sensors, GPS, and echo-sounding devices that allow for collecting and analyzing data about the state of water bodies. The system was tested on water bodies in the Akmola region and the tailing pond of the Zhayrem Mining and Processing Plant, where bathymetric and hydrographic indicators of rivers and lakes were collected. A database that includes various water parameters such as pH level, concentration of heavy metals, turbidity, and other indicators was built to

store and systematize data. The developed software allows the mapping of the water bodies using data obtained from the system's devices. Data forecasting is carried out using ARIMA models, allowing for the analysis and prediction of changes in the state of water bodies. The Python program processes data from the database, performs necessary calculations, and makes forecasts based on those results. The research results show the high efficiency of the developed system in monitoring water bodies, contributing to improved water resource management and the prevention of environmental problems.

Keywords: water body monitoring; forecasting; data processing; automation; bottom mapping; bathymetric characteristics; hydrographic indicators.

Аңдатпа. Әзірленген кешенге су объектілерінің жай-күйі туралы деректерді жинауға және талдауға мүмкіндік беретін датчиктер, GPS және эхолокациялық құрылғылар кіреді. Ақмола облысының су объектілерінде және Жәйрем тау-кен байыту комбинатының қалдық қоймасында жабдықтар комплексі сыналды және өзендер мен көлдердің батиметриялық, географиялық көрсеткіштері жиналды. Деректерді сақтау және жүйелеу үшін рН деңгейі, ауыр металл концентрациясы, лайлану және басқа көрсеткіштер сияқты әртүрлі су параметрлерін қамтитын мәліметтер базасы жасалды. Құрылған бағдарламалық қамтамасыздандыру кешеннің құрылғыларынан алынған деректерді қолдана отырып, су объектілерінің түбінің карталарын құруға мүмкіндік береді. Деректерді болжау ARIMA модельдері арқылы жүзеге асырылады, бұл су объектілерінің күйінің өзгеруін талдауға және болжауға мүмкіндік береді. Python бағдарламасындағы бағдарлама деректер базасынан деректерді өңдейді, қажетті есептеулерді орындайды және болжамдар жасайды. Зерттеу нәтижелері су объектілерін бақылауда әзірленген кешеннің жоғары тиімділігін көрсетеді, бұл су ресурстарын басқаруды жақсартуға және экологиялық проблемалардың алдын алуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: су объектілерін бақылау, болжау, деректерді өңдеу, автоматтандыру, түбінің картасы, батиметриялық сипаттамалары, гидрографиялық көрсеткіштері.

Аннотация. Разработанный комплекс включает датчики, GPS и эхолокационные приборы, что позволяет собирать и анализировать данные о состоянии водных объектов. Комплекс был апробирован на водных объектах Акмолинской области и хвостохранилище Жайремского горно-обогатительного комбината, где были собраны батиметрические и гидрографические показатели рек и озер. Для хранения и систематизации данных была разработана база данных, включающая различные параметры воды, такие как уровень рН, концентрация тяжелых металлов, мутность и другие показатели. Созданное программное обеспечение позволяет строить карты дна водных объектов, используя данные, полученные из устройства комплекса. Прогнозирование данных осуществляется с использованием моделей ARIMA, что позволяет анализировать и предсказывать изменения состояния водных объектов. Программа на Python обрабатывает данные из базы данных, выполняет необходимые расчеты и строит прогнозы. Результаты исследования показывают высокую эффективность разработанного комплекса в мониторинге водных объектов, что способствует улучшению управления водными ресурсами и предотвращению экологических проблем.

Ключевые слова: мониторинг водных объектов, прогнозирование, обработка данных, автоматизация, карта дна, батиметрические характеристики, гидрографические показатели.

Introduction. Due to the economic and social significance of water storage, sedimentation in water resources is an important and relevant area of research. Effective management and monitoring of water resources allow for the regulation of runoff during pre-flood and post-flood periods, optimizing the amount of water considering the topographic features of the area and flow regimes. This is necessary for building bottom maps, relief determination, object detection, improvement of existing topography, prevention of dam and dike destruction, protection of adjacent communities, as well as the determination of hydrographic and bathymetric indicators of the state of water bodies and the creation of a favorable environment for local fish species. Disruption of the aquatic environment, alteration of the bottom relief, improper operation, and pollution can lead to ecological crises. There is also a need to monitor qualitative indicators of water bodies, such as pH levels, heavy metal concentrations, and water turbidity to ensure ecological safety (UNESCO, 2022).

Over time, the bottom topography of the water area changes due to natural processes and human activities. The most significant natural process affecting the shape of the water body's

bottom is water erosion occurring in the watershed. This process contributes to the silting of the water body with bottom sediments. Water flows erode the soil surface, and the eroded material is carried into the river or stream system, which transports it downstream. The material then settles on the bottom of water bodies or is carried further. Over a long period, this process can significantly alter the topography of the water body's bottom as the accumulation of sediments leads to its elevation (Hamouda, A. Z., & El-Gharabawy, S., & Fekry, A. A., 2023; Ye, X., & Guo, Q., Zhang, Z., & Xu, C., 2019).

The aim of this study is to create a software and hardware solution for monitoring the bathymetric and hydrographic indicators of water bodies. During the research, existing popular software solutions were analyzed, and our own software, hardware, and database were developed for monitoring bathymetric and hydrographic indicators of water bodies.

Hydromagic Survey (Locklear, T.K., 2019) is software that allows you to carry out bathymetric and hydrographic surveys of water bodies. The program has a wide range of functions, including gravity surveying, data processing, mapping, 3D image display, and support for various types of echo sounders and GPS receivers (Fig. 1). Hydromagic Survey allows for detailed data analysis, including the creation of three-dimensional models of underwater terrain, determination of depth and flooded topography, calculation of volumes and areas of water bodies, as well as assessment of the possibility of using these objects for various purposes such as shipping, fishing, environmental studies, etc. However, the program has the following limitations:

1. Limited Software Updates: Insufficient frequency of updates can lead to outdated features and incompatibility with new technologies and devices;
2. Lack of Technical Support: Users may encounter difficulties in resolving issues due to inadequate technical assistance;
3. Integration with Other Systems: Limited integration capabilities with other software solutions and databases can complicate data exchange and collaboration;
4. User Customization: Lack of flexibility in customizing the software to meet specific user or project needs.

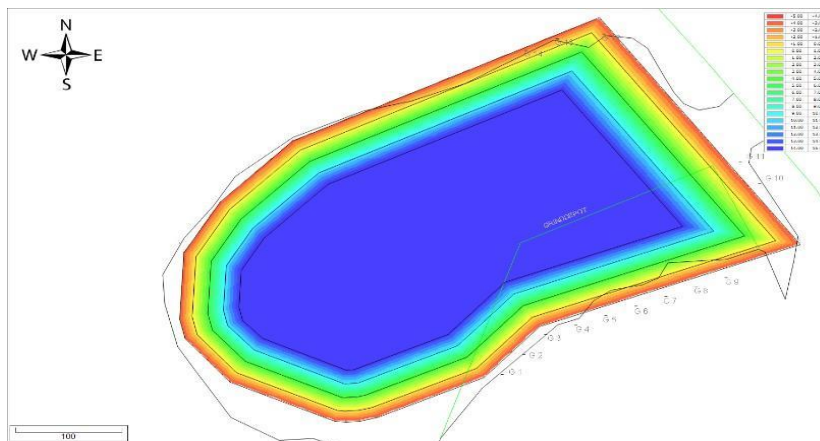


Figure 1. Hydromagic Survey software interface

Note – taken from (Locklear, T. K., 2019)

HYPACK (HYPACK, 2023) is software that is used to collect and process data from bathymetric and hydrographic studies (Fig. 2). The program has a wide range of hydrographic tasks, including data collection, processing, and visualization, including the creation of three-

dimensional models of the water surface with good integration with various equipment. HYPACK also allows you to create three-dimensional models of underwater terrain, determine the depth and watered topography, calculate the volumes and areas of water bodies, and evaluate the possibility of using these objects for various purposes, but it is expensive, which may be unaffordable for many users. Let us examine the advantages and disadvantages:

Advantages of HYPACK:

1. **Wide Functionality:** HYPACK offers a variety of tools for data collection, processing, and visualization, making it a versatile solution for hydrographic studies;

2. **3D Model Creation:** The software allows for the creation of detailed three-dimensional models of both the water surface and underwater terrain, which is crucial for analysis and planning;

3. **Equipment Integration:** HYPACK supports a wide range of hydrographic equipment, including echo sounders and GPS devices, ensuring high data accuracy;

4. **Professional Support:** HYPACK provides technical support and training resources, helping users maximize the effectiveness of the software;

5. **Powerful Data Processing Tools:** The program offers advanced algorithms for data processing, including filtering and correction, which enhances the quality of results.

Disadvantages of HYPACK:

1. **High Cost:** The license for HYPACK can be quite expensive, making it inaccessible for some users, especially small organizations or research groups;

2. **Complexity of Learning:** New users may require time to learn and understand all the program's features, which can be a barrier to usage.

3. **Dependence on Equipment:** While HYPACK supports various devices, some features may only be optimized for specific equipment, limiting flexibility.

4. **Limited Mobility:** The use of HYPACK may come with certain hardware requirements, which can hinder fieldwork.

5. **Update Issues:** Some users report insufficient frequency of software updates, which can lead to outdated functionality.

To summarize, HYPACK is a powerful solution for hydrographic research, equipped with many features and tools. However, its high cost and complexity may limit accessibility for some users. It is important to carefully assess needs and resources before selecting this software (Patiño, M., & Ruiz, C., 2022; Araujo, M.F., & Silva, A., 2019).

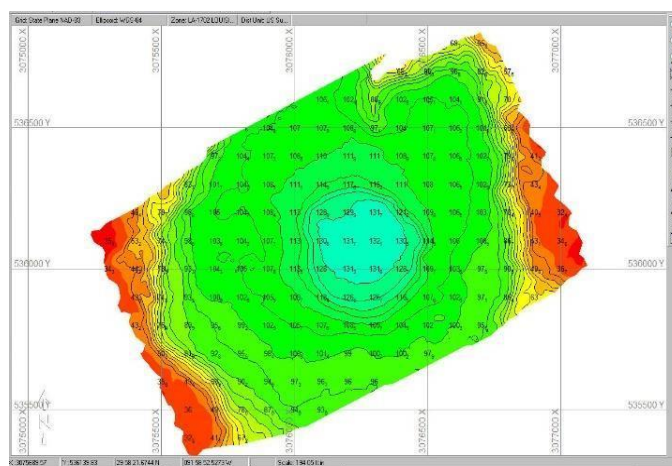


Figure 2. HYPACK software interface

Note – taken from (HYPACK, 2023)

SonarWiz (Chesapeake Technology, 2023) is a software developed for bathymetric and hydrographic studies. The program has an intuitive user interface and a wide range of functions, including surveying and processing data, creating maps, and 3D models (Fig. 3). SonarWiz has a more affordable price than the previously mentioned programs but has high requirements for hardware and computer capabilities.

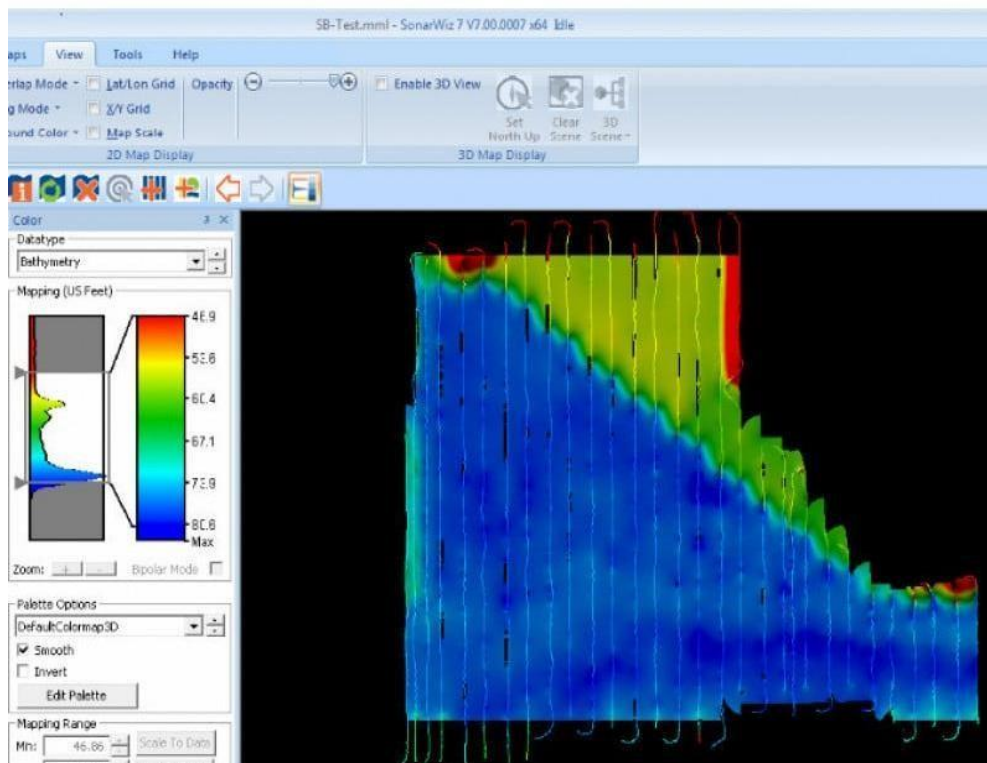


Figure 3. SonarWiz software interface

Note – taken from (Chesapeake Technology, 2023)

One of the key advantages of this software is active development and support: Regular updates and a responsive support team contribute to the software's reliability, ensuring that users have access to the latest features and fixes. However, the drawbacks are significant:

1. **Learning Curve for Advanced Features:** While the interface is user-friendly, mastering the more advanced features may require additional training or time, particularly for those unfamiliar with hydrographic data processing;

2. **Limited Advanced Analytical Tools:** Some users may find that SonarWiz lacks certain advanced analytical capabilities found in more expensive software solutions, which could limit in-depth data analysis;

3. **Integration Challenges:** Although it supports various devices, there may be occasional compatibility issues with certain sonar systems, which could disrupt workflow;

4. **Cost for Additional Modules:** While the base price is affordable, some specialized features or modules may come at an extra cost, potentially increasing the overall expenditure (Patiño, M. & Ruiz, C., 2023; Smith, J., 2020).

Despite the wide choice of software solutions, it is important to understand that the use of specialized software alone does not guarantee high accuracy and quality of data. An important

factor is also the qualifications and experience of operators, as well as the correct selection and configuration of hydrographic instruments and devices. In general, the use of modern software solutions for monitoring bathymetric and hydrographic indicators of water bodies can significantly increase the efficiency and accuracy of the research, which can be important in the context of solving various scientific, technical, and economic problems (Anonymous, 2023).

In general, the optimal software solution for monitoring bathymetric and hydrographic parameters is an integrated approach that integrates modern technologies and provides mobility, analysis, and visualization capabilities. Although existing software solutions have made significant progress in this area, there is still room for improvement, and software that offers the most comprehensive set of features will be most successful in meeting user needs (Ochalek, A., & Lipecki, T., & Jaśkowski, W., & Jabłoński, M., 2018).

In this article, we propose to develop software and databases that are integrated with a device, in our case a robotic complex, which collects data on the bathymetric and hydrographic indicators of a water body. To do this, it is necessary to solve the following problems:

1. Design of a software and hardware complex: Develop a complex for monitoring the bathymetric and hydrographic characteristics of water bodies, including sensors, GPS, and echolocation devices.
2. Approbation in real conditions: Conduct approbation of the complex in water bodies of the Akmola region, collecting bathymetric and hydrographic indicators of rivers and lakes.
3. Creation of a database: Develop a database for storing and systematizing data on indicators of the water area. Collect various water parameters into a database, such as pH level, concentration of heavy metals, turbidity, and other indicators.
4. Software development: Create software for constructing maps of the bottom of water bodies using data obtained from the devices of the complex.
5. Forecasting and data analysis: Develop a methodology for data forecasting using ARIMA models (Machado Sarges Guerra, M.J., 2019) and neural networks, which will allow one to analyze and predict changes in the state of water bodies. A Python program must process data from a database, perform the necessary calculations, and make predictions.

Research Materials and Methods. The architecture of the software and hardware complex was designed to monitor bathymetric and hydrographic indicators of water bodies, consisting of the following key blocks (Fig. 4):

1. Robotic complex: Provides safe and accurate monitoring of water bodies and other water bodies. This complex is equipped with advanced sensors to collect data on the state of water and the environment.
2. Echolocation device: Used to obtain detailed maps of the bottom of water bodies. This allows for accurate analysis of the bottom topography, which is important for assessing the state and changes of water bodies. This device, developed by our research team, gives us data on the depth (z). Data collection on coordinates (x, y) is carried out using GPS, which allows accurate location measurements and creates 3D models of water bodies.
3. Robot software: Controls the robotic system, processes data collected by sensors, and interacts with the database. The software allows you to automate the processes of collecting and analyzing information.
4. Database: Stores and systematizes data on water area indicators. Classification of information in the database makes it easy to find and analyze the necessary data, facilitating prompt decision-making and forecasting of possible risks.

The general diagram and structural diagram of the complex are shown in the following figures.

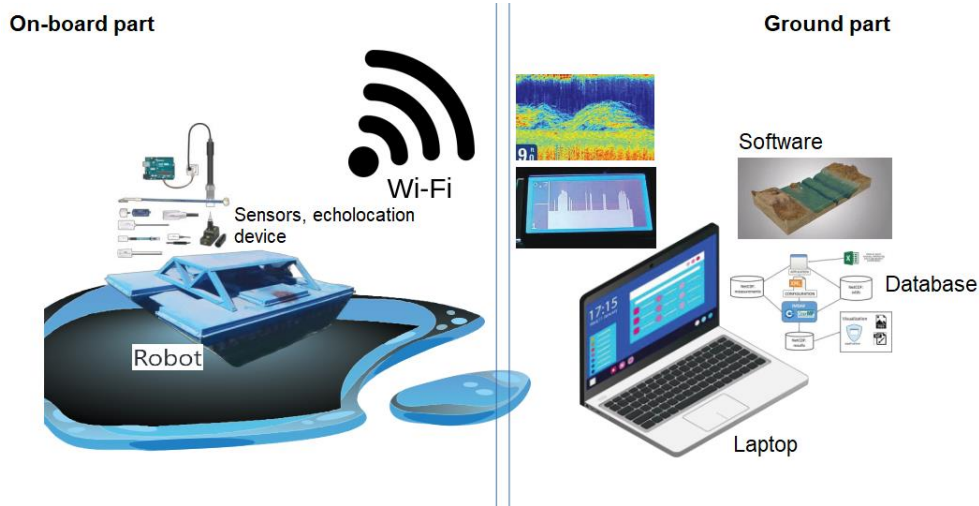


Figure 4. General diagram of the hardware and software complex

Note – compiled by the authors

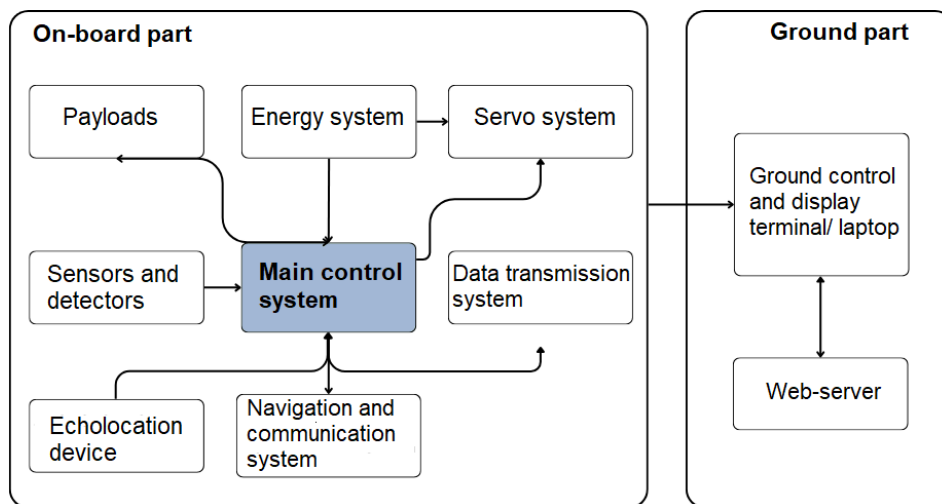


Figure 5. Block diagram of the hardware and software complex

Note – compiled by the authors

HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ (Pixhawk, 2021) was used as a navigation and communication system; specialized software packages and algorithms were used to control it, allowing you to set the desired trajectory for swimming through Mission Planner software packages. When building a trajectory with HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+, various sailing parameters are taken into account, such as altitude, speed, course, and destinations. This allows you to control the robotic complex in accordance with specified goals and complete the required routes with high accuracy. The data collected by the robotic complex is transmitted to the ground part via Wi-Fi, ensuring prompt transfer of information for further processing and analysis. The received data from the board, in particular from the echolocation device (depth data) and HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ (GPS data, status data, trajectory data), is transmitted to a remote command center (laptop). Data received from the HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ is sent to Mission Planner (Thibbotuwawa, A. & Bocewicz, G. & Radzki, G.

& Nielsen, I. & Banaszak, Z., 2020) to monitor real-time data, such as GPS coordinates, altitude, speed, battery status, and other parameters. This data can be saved to a text file and sent to a web server for later saving in a MySQL database. Work with the database is carried out through a web application developed as part of this project. To open a project, the user double-clicks on the application launch script. This script contains code that automatically builds the application and runs it on the local server of the computer on which the application was launched. Then the installed default browser opens and navigates to <http://localhost:port>, where the assembled web application interface opens.

Results and discussions. The web page contains the following user interface elements (UI components):

1. Name of the studied water body.
2. Description of the studied water body.
3. Photo of the studied water body.
4. 3D graph of the studied water area showing depth areas at various points.
5. 2D graph of the studied water body with a top view and a color palette depicting the height and depth of the studied area.
6. Buttons for switching schedules.
7. Button to download a file with data extension .txt.

Both graphs have coordinate axes. For a 2D graph these are the x and y axes and for a 3D graph these are the x, y and z axes. To the right of the graphs is a scale showing the color palette of the height and depth range of the graph. Also on the charts, for user convenience, there are tool buttons for interacting with them. Both charts provide the following set of tools:

- e) Increasing the schedule.
- f) Reducing the schedule.
- g) Schedule update.
- h) Selecting a graph area.
- i) Determining coordinates from a point on a graph.
- j) Rotate the graph.

To change the data, the user needs to click on the button labeled “Load Data”, after clicking which a window will open in which he will need to specify the path to the data file. The user needs to upload data in .txt format collected from the sensors using the appropriate interface tool into the application. The data file must contain a data set of coordinate points constructed on the basis of scanning the territory of the Water body. After downloading, the program will automatically send a request from the client to the server using the code embedded in it. On the server, using certain methods, query templates are created in the MySQL database, according to which a data table is created. The data will be divided into rows, and for each entry from the row obtained from the .txt file the following parameters will be created:

1. identification number;
2. x-axis data;
3. y-axis data;
4. z axis data.

The next step is that the server generates 2D and 3D graphics and returns them to the client as a response to the API sent to it. The client accepts the received response as a Promise and pulls out the necessary data from there to draw new graphs on the user interface. The research team examined the following water bodies of the Akmola region: (the rivers Ishim, Nura, lakes Maybalyk, Zharlykol and small Taldykol)

For the studied water bodies, the following data on their chemical composition is available (Fig. 6). More than 700 data on quantitative and qualitative indicators of water bodies were collected.

ABC Name	ABC collection date	ABC Mercury	ABC Cadmium(Cd)	ABC Copper(Cu)	¹²⁵ Manganese (Mn)	¹²³ Nickel(Ni)	ABC Lead(Pb)
1	Ishim river	apr.19	<0,00001	<0,0001	0.002	0,0091	0,004 <0,001
2	Ishim river	oct.19	<0,000012	<0,0001	0.004	0,0098	0,0051 0.003
3	Ishim river	Apr.20	<0,00001	<0,0001	0.002	0,01	0,008 <0,001
4	Ishim river	oct.20	<0,00001	<0,0001	0.002	0,018	0,0071 <0,001
5	Ishim river	Apr.21	<0,00001	<0,0001	0.002	0,017	0,009 <0,001
6	Ishim river	oct.21	<0,00001	<0,00011	0.0034	0,022	0,0052 0.003
7	Ishim river	Apr.22	<0,000013	<0,00012	0.0032	0,021	0,0082 <0,001
8	Ishim river	sep.22	<0,000013	<0,00013	0.0032	0,028	0,0067 <0,001
9	Lake Maybalyk	apr.19	<0,00001	<0,0001	0.00342	0,00291	0,0145 <0,001
10	Lake Maybalyk	oct.19	<0,00001	<0,0001	0.0035	0,00298	0,017 <0,001
11	Lake Maybalyk	Apr.20	<0,00001	<0,0001	0.002	0,0035	0,001 <0,001
12	Lake Maybalyk	oct.20	<0,00001	<0,0001	0.0021	0,006	0,006 <0,001
13	Lake Maybalyk	Apr.21	<0,00001	<0,0001	0.0021	0,007	0,007 <0,001
14	Lake Maybalyk	oct.21	<0,00001	<0,0001	0.0022	0,003	0,001 <0,001
15	Lake Maybalyk	Apr.22	<0,00001	<0,0001	0.0021	0,0067	0,0068 <0,001
16	Lake Maybalyk	sep.22	<0,00001	<0,0001	0.0022	0,0033	0,0012 <0,001
17	lake Taldykol	apr.19	<0,000012	<0,0001	0.002	0,156	0,011 <0,001
18	lake Taldykol	oct.19	<0,000013	<0,0001	0.003	0,157	0,011 <0,001
19	lake Taldykol	Apr.20	<0,000012	<0,0001	0.004	0,181	0,012 <0,001
20	lake Taldykol	oct.20	<0,000013	<0,0001	0.003	0,164	0,013 <0,001
21	lake Taldykol	Apr.21	<0,000012	<0,0001	0.004	0,181	0,02 <0,001
22	lake Taldykol	oct.21	<0,000013	<0,0001	0.0032	0,197	0,01 <0,001
23	lake Taldykol	Apr.22	<0,000012	<0,0001	0.004	0,181	0,014 <0,001
24	lake Taldykol	sep.22	<0,000013	<0,0001	0.003	0,187	0,011 <0,001
25	lake Zharlykol	apr.19	<0,00001	<0,0001	0.005	0,093	0,007 0.002
26	lake Zharlykol	Apr.20	<0,00001	<0,0001	0.002	0,091	0,002 <0,001
27	lake Zharlykol	Apr.21	<0,00001	<0,0001	<0,001	0,092	0,003 0.002
28	lake Zharlykol	Apr.22	0.000014	<0,0001	0.001	0,091	0,003 0.002
29	lake Zharlykol	sep.22	<0,00001	<0,0001	0.004	0,094	0,009 <0,001

Figure 6. Data on the physical and chemical composition of water. DB interface

Note – compiled by the authors

Figure 7 shows the bathymetric and hydrographic database.

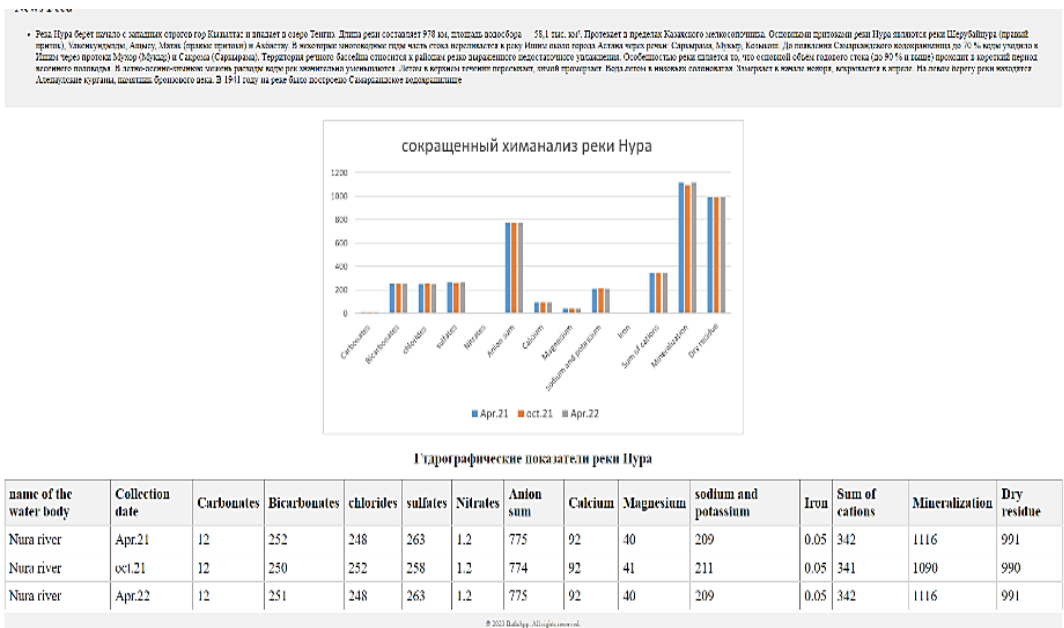


Figure 7. Bathymetric and hydrographic database (DB uploaded to <https://mrk.kz/>)

Note – compiled by the authors

Using the developed Python program code and its libraries, data is processed, predicted, and visualized in 2D and 3D graphics. For fast processing, the Numpy (NumPy documentation, 2023) library is used, which allows you to convert data into an array convenient for analysis. The Arima method was used for forecasting.

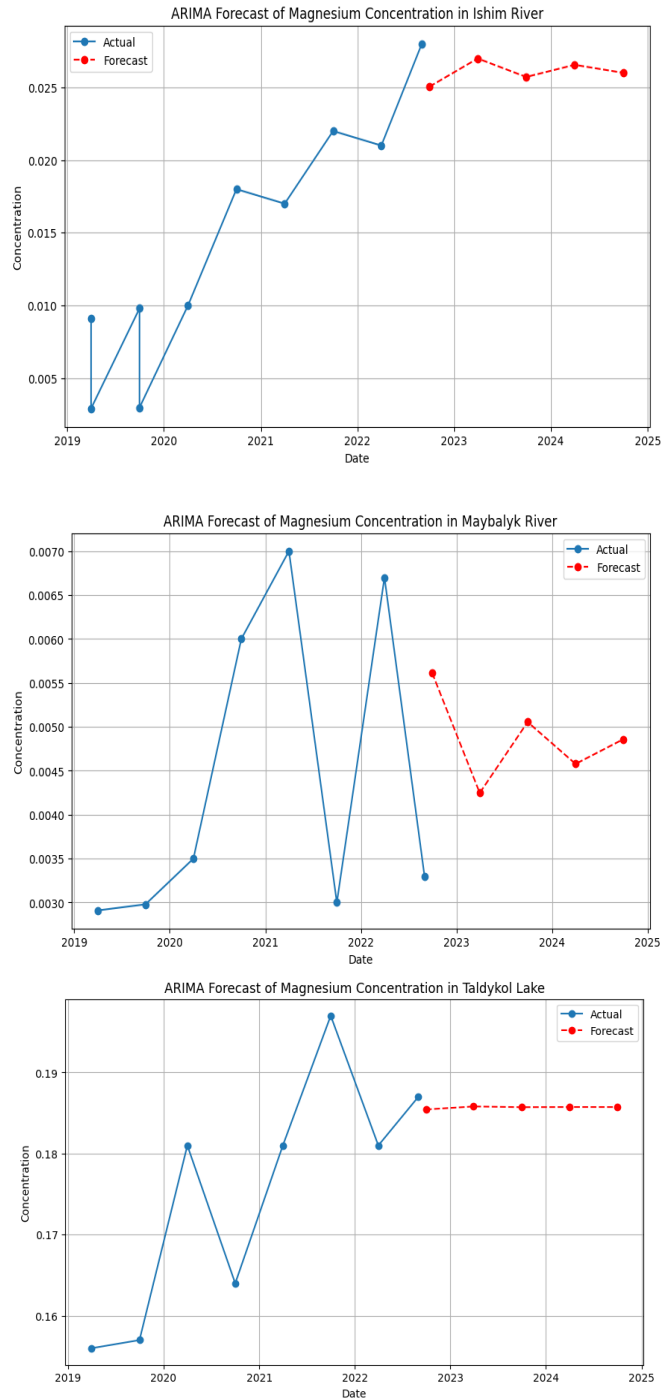
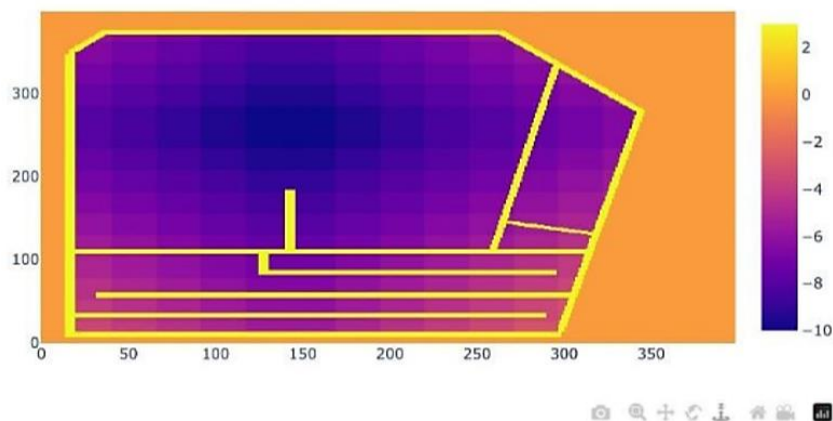


Figure 8. Examples of forecasting using the Arima method

Note – compiled by the authors

The array created in this way is visualized using the plotly library (Plotly, 2023). To create 2D and 3D graphics, an express tool is used, which, receiving a previously created data array, creates a dynamic window with graphs (Fig. 9). Python then creates an html file with the finished graphs. CSS classes have been added to this window for a more convenient interface with which the user will interact (Fig. 10). The finished html file is sent to the application client, where the user can see and interact with it. The figure shows a 3D map of the bottom of the tailings dump of the Zhairemsky mining and processing plant. The object was examined several times to ensure greater accuracy of the data.

2D Plot



3D Plot

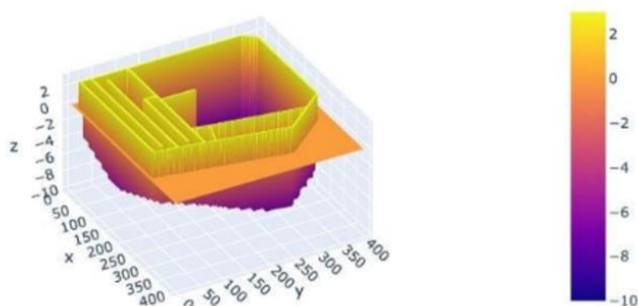


Figure 9. 2D, 3D map of the bottom of the tailings dump of the Zhairemsky mining and processing plant

Note – compiled by the authors

Based on the results of testing the robotic complex, data was obtained on the error of the robot's movement in the coordinate system, which is approximately 0.2 meters along the x-axis and 0.1 meters along the y-axis. During testing, temperature, humidity, oxygen (O_2) levels and particle concentrations were kept virtually constant. It is also known that the average depth of the tailings pond is 4.56 meters.

Based on these data, calculations of the volume of water were made. For this purpose, the catchment areas of various sections were measured: the catchment area of the barite tailings section is 2.5 km^2 , the catchment area of the barite tailings section together with the filtration

section is 0.38 km². It was also established that 1.85 million m³ of water accumulated in the oxidation pond, which corresponds to a water level of 392.55 meters.

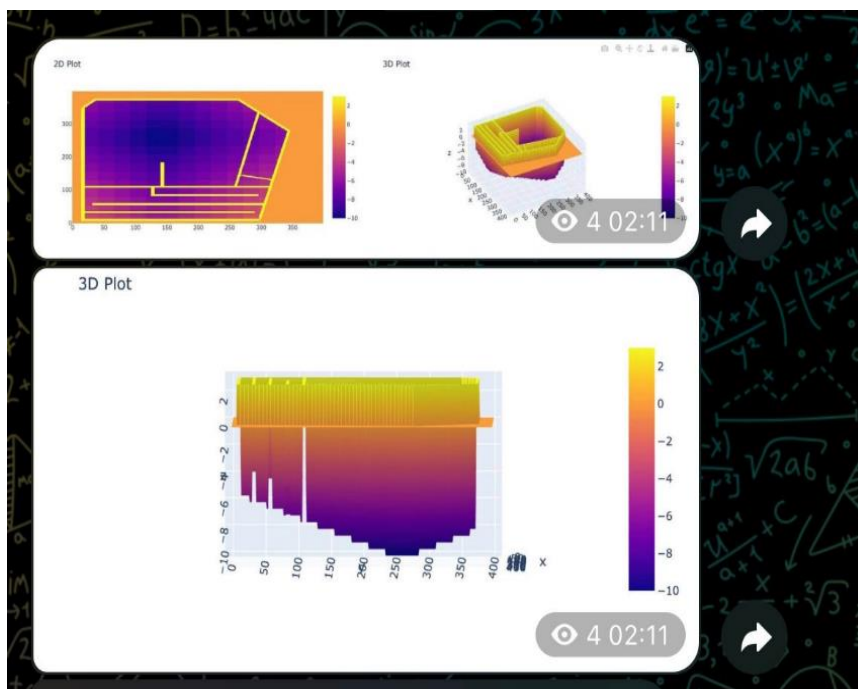


Figure 10. Telegram bot

Note – compiled by the authors

Conclusion. As part of achieving the goal, the following tasks were solved:

- a software and hardware complex was designed for monitoring the bathymetric and hydrographic characteristics of water bodies;
- tested in water bodies of the Akmola region and collected bathymetric and hydrographic indicators of rivers and lakes;
- a database has been developed to store and systematize data on water area indicators.

Various water parameters such as pH levels, heavy metal concentrations, turbidity and other indicators were collected in the database;

- software was developed for constructing 2D, 3D maps of the day, data was obtained from GPS sensors and an echolocation device;
- developed data forecasting is carried out using ARIMA models and neural networks, which allows you to analyze and predict changes in the state of water bodies. The Python program processes data from the database and performs the necessary calculations and forecasts.

The calculation results allowed us to establish the following facts:

In the first half of 2021 there was a “zero” balance without discharge of excess into the evaporation pond. This was achieved by soaking the base and filling areas of the tailings pond, which prevented the release of water.

Over the subsequent period until the end of 2023, an excess of recycled water was recorded ranging from 6704.443 to 24593.282 million m³, which was discharged into the evaporation pond. This made it possible to control the water level in the system and avoid overflow.

It has also been established that the area and volume of settling ponds in the tailings and oxidation pond areas provide:

Sufficient illumination of the recycled water returned to the plant in the process allows this water to be reused.

Possibility of storing the volume of tailings entering settling ponds throughout the year, which contributes to efficient waste management.

Specialized software has been developed for implementing ARIMA family models in the Python programming environment. The study analyzed more than 700 short-length annual data sets. Data processing was carried out using the forecast and forecast.arma libraries. The results of our research showed that water samples from reservoirs are within normal limits. Most samples showed a high concentration of manganese. Sulfates are considered as indicators of pollution levels. Based on the obtained hydrochemical data, the database of aquatic ecosystems of the Akmola region was supplemented.

Full-scale experiments conducted using a mobile robotic complex allowed us to conclude that the mobile robotic complex provides stable and reliable data transmission. Overcoming noise at the sensor outputs was achieved through the introduction of decoupling circuits, which significantly improved signal quality and provided more accurate measurements. Software designed to effectively control and monitor system functions when used on a personal laptop. This provides the full range of functionality of the proposed system and ensures its high practicality in real-life operating conditions. It should be noted that the introduction of a water sensor into a mobile robotic complex gives water workers a unique opportunity to continuously monitor and control water quality parameters in vulnerable and strategically important areas of tailings ponds and reservoirs. This approach significantly improves the efficiency and effectiveness of water management, facilitating more rational and informed decision-making in this area (Alinova, A.D. & Zhartybayeva, M. & Villanueva, F. & Salkynov, A.T.; Zhartybayeva, M. & Serik, N. & Nurzhanova, A. & Rakhimov, R. & Tulegenova, S., 2024).

Conflicts of interests: All authors contributed equally to the research design, data collection, data analysis, and manuscript preparation. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request (makkenskii@mail.ru, alinova-aida@mail.ru) the study did not involve human or animal subjects.

Acknowledgements: This work was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the framework of the project AP09058557.

The authors would like to express their sincere gratitude to Professor Kazizat Takuadinovich Iskakov for his invaluable advice, mentorship, and support throughout the development of the article “Development of hardware and software systems and a database for monitoring bathymetric and hydrographic indicators of water bodies”. His expertise and guidance were instrumental in achieving the objectives of this research.

References

- UNESCO., 2022. New report: Is the solution to the water crisis under our feet? Online. <https://www.unesco.org/en/articles/new-report-solution-water-crises-hiding-right-under-our-feet>.
- Hamouda, A.Z., El-Gharabawy, S., & Fekry, A.A., 2023. Sonar investigation of the old Nubian villages in the bottom topography of Nasser Lake, Egypt. *Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. № 26(1). – P. 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.02.003>.
- Ye, X., Guo, Q., Zhang, Z., & Xu, C.-Y., 2019. Assessing hydrological and sedimentation effects from bottom topography change in a complex river–lake system of Poyang Lake, China. *Water*. – № 11(7). – P. 1489. <https://doi.org/10.3390/W11071489>.
- Locklear, T. K., 2019. Software technology maturation and software security. A thesis. – P. 10-56. <https://thescholarship.ecu.edu/items/ed2e2c6b-a5b4-4410-9a03-068e7b7a9db0>.
- HYPACK., 2023. HYPACK software. Online. <https://www.xylem.com/en-us/brands/hypack/?redirect=hypack>.
- Patiño, M., & Ruiz, C., 2022. Comparative analysis of hydrographic software for bathymetric surveys: A case study of HYPACK. *Journal of Marine Science and Engineering*. №10(3). – P. 370. DOI: 10.3390/jmse10030370.

- Araujo, M. F., & Silva, A., 2019. Advancements in hydrographic surveying technologies: A review of HYPACK features. *Hydrographic Engineering*. – № 42(1), – P. 25-34. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000345.
- Chesapeake Technology., 2023. SonarWiz sub-bottom, collection and processing. Online. <https://chesapeake.com/products/sonarwiz-sub-bottom/>.
- Patiño, M., & Ruiz, C. (2023). Advancements in hydrographic surveying techniques: An analysis of SonarWiz features. *Hydrographic Engineering*. – № 45(2). – P. 45-58. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000435.
- Smith, J., 2020. User experience with SonarWiz: Interface and functionality assessment. *International Journal of Geographical Information Science*. №34(9). – P. 1870-1885. DOI: 10.1080/13658816.2020.1742325.
- Anonymous., 2023. Standard software vs. individual software: Pros. and cons. <https://operations1.com/en/blog/standard-software-vs-individual-software>.
- Ochalek, A., Lipecki, T., Jaśkowski, W., & Jabłoński, M., 2018. Modeling and analysis of integrated bathymetric and geodetic data for inventory surveys of mining water reservoirs. *E3S Web of Conferences*. №35. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183504005>.
- Machado Sarges Guerra, M.J., 2019. Forecasting of airborne pollutants with ARIMA models. Master's thesis. https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/86478/1/Tese_Maria%20Guerra_MQ.pdf.
- Pixhawk., 2021. Pixhawk 2.1 standard set the cube orange (receptor ADS-B). Online. <https://rc-innovations.es/pixhawk-2.1-standard-set-the-cube-orange-receptor-ads-b-hx4-06100-hex-technology>.
- Thibbotuwawa, A., Bocewicz, G., Radzki, G., Nielsen, I., & Banaszak, Z., 2020. UAV mission planning resistant to weather uncertainty. *Sensors*. №20. – P. 515. doi:10.3390/s20020515.
- NumPy documentation., 2023. NumPy documentation. Online. <https://numpy.org/doc/stable/index.html>.
- Plotly., 2023. Plotly open source graphing library for Python. Online. <https://plotly.com/python/>.
- Алинова А., Жартыбаева М., Villanueva, F., Салкынов А. Определение батиметрических и гидрографических параметров водных объектов через нейронные сети. – Вестник ВКТУ, 2024 г. №1. – С. 27-35. // Alinova, A.D., Zhartybayeva, M., Villanueva, F., Salkynov, A.T. Opredelenie batimetriceskih i gidrograficeskih parametrov vodnyh ob"ektov cherez nejronnye seti. – Vestnik VKTU, 2024 g. – № 1. – S. 27-35. DOI 10.51885/1561-4212_2024_1_27.
- Zhartybayeva, M., Serik, N., Nurzhanova, A., Rakhimov, R., Tulegenova, S., 2024. Development of an integrated approach to the analysis and forecast of hydrographic and bathymetric data of water bodies and tailings ponds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. №10(127). – P. 36-46. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299130.

Information about authors

Zhartybayeva Makpal Galymbekovna – PhD., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Acting Associate Professor of the Department of Computer and Software Engineering, Pushkina 11, Astana, Republic of Kazakhstan, makkenskii@mail.ru, 8777-277-48-78; +7-708-808-0296.

Alinova Aida Dulatovna – L.N. Gumilyov Eurasian National University, 1st year doctoral student of the Department of Computer and Software Engineering, Pushkina 11, Astana, Republic of Kazakhstan, alinova-aida@mail.ru, 8700-808-60-80.

Serik Nurzhan Kalymbekuly – Leading Maintenance Engineer of the project group of JSC "ZHGOК", KazZINC LLP, nurzhan.serik1990@gmail.com

Tlessova Kuralay – position: Front End Product Manager company name: Vivotek Inc., company address: 6F, No.192, Lien-Cheng Rd., Chung-Ho, New Taipei City 23553, Taiwan, company website: <https://www.vivotek.com/> / personal email: ktlssv@gmail.com

Tyulepberdinova G.A. – c.ph.-m.s., Al-Farabi Kazakh National University, Department of Artificial Intelligence and Big Data, Almaty city, Kazakhstan, tyulepberdinova@mail.ru 87013645158

АВТОМАТИКА. ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ
АВТОМАТИКА. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
AUTOMATION. COMPUTER TECHNOLOGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_139
MFTAA 50.03.03

Г.Н. Казбекова¹, А.А. Умаров², А.Б. Абен¹, Н.М. Жунисов¹, Ж.С. Исмагулова³

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан

E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz*

E-mail: arypzhan.aben@ayu.edu.kz

E-mail: nurseit.zhunissova@ayu.edu.kz

²Рудный индустриялық университет РИУ, Қостанай облысы, Рудный қ., Қазақстан

E-mail: uaa_77@mail.ru

³М.Тынышбаев атындағы АЛТ университеті, Алматы қ., Қазақстан

E-mail: zhu.ismagulova@alt.edu.kz

ҰЙЫТҚУЫ БАР ОРНЫҚСЫЗ ЖҮЙЕНІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ВОЗМУЩЕНИЕМ

ANALYSIS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AN UNSTABLE CONTROL SYSTEM WITH DISTURBANCE

Аңдатпа. Бұл зерттеу динамикалық реттеу жүйелерінің орнықтылығы мен тиімділігін бағалау және олардың өтпелі процестерін талдау мәселелерін қарастырады. Зерттеу барысында басқару жүйелерінің динамикалық сипаттамалары, жүйенің орнықтылығы мен сезімталдығы, сондай-ақ өтпелі процестердің ұзақтығы мен амплитудасы сияқты факторлар терең талданды. Зерттеу нәтижелері кері байланыс механизмдерінің жүйенің орнықтылығын қамтамасыз ету үшін маңызды рөл атқаратынын көрсетіп, басқару параметрлерінің дұрыс таңдалуының тиімділігін атап өтті. Сонымен қатар, динамикалық жүйелердің өтпелі процестерін зерттеу және басқару жүйелерін оңтайландыру үшін қолданыстағы теориялық әдістердің маңыздылығы дәлелденді. Зерттеу нәтижелері түрлі өнеркәсіп салаларында, көлік, энергетика және медицина сияқты салаларда басқару жүйелерін жобалау мен оңтайландыру үшін тиімді әдістерді қолдануға мүмкіндік береді. Алынған деректер жүйенің динамикалық ерекшеліктерін толық түсіну мен жетілдіру үшін қосымша зерттеулер жүргізудің қажеттілігін көрсетеді. Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері басқару жүйелерін жобалаудағы жаңа теориялық әдістер мен құралдардың маңыздылығын және олардың нақты өндірістік жағдайларда қолданылуын зерттеуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: басқару нысаны (БН), орнықтылық, автоматты реттеу жүйесі (АРЖ), графоаналитикалық әдіс.

Аннотация. Данное исследование рассматривает вопросы оценки устойчивости и эффективности динамических регулирующих систем, а также анализа их переходных процессов. В ходе исследования были глубоко проанализированы динамические характеристики управляющих систем, устойчивость и чувствительность системы, а также такие факторы, как продолжительность и амплитуда переходных процессов. Результаты исследования показали, что механизмы обратной связи играют важную роль в обеспечении устойчивости системы, подчеркнув эффективность правильного выбора управляющих параметров. Кроме того, было доказано значение существующих теоретических методов для исследования переходных процессов динамических систем и оптимизации управляющих систем. Результаты исследования позволяют применить эффективные методы проектирования и оптимизации управляющих систем в различных отраслях, таких как транспорт, энергетика и медицина. Полученные данные указывают на необходимость проведения дополнительных исследований

для более глубокого понимания и улучшения динамических характеристик системы. В заключение, результаты исследования открывают возможности для изучения новых теоретических методов и инструментов проектирования управляющих систем и их применения в реальных производственных условиях.

Ключевые слова: объект управления, устойчивость, система автоматического регулирования (САР), графоаналитический метод

Abstract. This research addresses the issues of evaluating the stability and effectiveness of dynamic control systems and analyzing their transient processes. The study thoroughly analyzes the dynamic characteristics of control systems, system stability and sensitivity, as well as factors such as the duration and amplitude of transient processes. The findings of the study indicate that feedback mechanisms play a crucial role in ensuring system stability, highlighting the effectiveness of correctly selecting control parameters. Moreover, the significance of existing theoretical methods for studying transient processes in dynamic systems and optimizing control systems has been proven. The results allow for the application of effective methods for designing and optimizing control systems in various industries, such as transportation, energy, and healthcare. The obtained data point to the need for further research to fully understand and improve the dynamic features of the system. In conclusion, the findings of the study provide opportunities for exploring new theoretical methods and tools for designing control systems and applying them in real-world industrial settings.

Keywords: control object (CO), stability, automatic control system (ACS), graphoanalytic method.

Kіpіcne. Динамикалық реттеу жүйелерінің орнықтылығы мен тиімділігі қазіргі заманғы инженерлік және ғылыми зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Бұл жүйелер әртүрлі өнеркәсіптік салаларда, көлік, энергетика, медицина сияқты салаларда кеңінен қолданылады. Қазіргі уақытта басқару жүйелерінің тиімділігін арттыру және олардың өтпелі процестерін оңтайландыру мәселелері маңызды ғылыми және инженерлік міндеттер ретінде тұр. Осыған орай, динамикалық жүйелердің орнықтылығы мен өтпелі процестерін талдау, сондай-ақ оларды басқару үшін тиімді әдістерді қолдану қажет.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – динамикалық басқару жүйелерінің тұрақтылығын арттыруға бағытталған тиімді бақылау механизмдерін анықтау және бақылау параметрлерін дәл таңдау арқылы жүйенің сенімділігін қамтамасыз ету. Зерттеу әртүрлі сыртқы әсерлерге бейімделу қабілеті жоғары, басқару жүйелерінің тұрақтылық және тиімділік талаптарына сай келетін бақылау әдістерін талдауға бағытталған.

Зерттеудің артықшылығы – жүйелердегі кері байланыс механизмінің тиімділігін нақтылау арқылы басқару процестерінің сапасын арттыру. Жүйе параметрлерін өзгерту кезінде кері байланыстың жылдам бейімделуге және тұрақтылықты сақтауға қосатын үлесін дәлелдеу, түрлі салаларда – мысалы, денсаулық сақтау, энергетика және көлік жүйелерінде – инновациялық басқару технологияларын енгізуге жол ашады. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері сыртқы әсерлерге жоғары төзімділікті талап ететін күрделі жүйелерге арналған озық бақылау әдістерін дамытуға негіз бола алады.

Осы зерттеудің нәтижелері әртүрлі басқару жүйелерінің тұрақтылық деңгейін арттыруға көмектесе отырып, оларды нақты өндірістік жағдайларда тиімді қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай нәтижелер, әсіресе, автоматтандырылған басқару жүйелерін қолданатын өндірістік, энергетикалық және құрылыс секторларында ерекше маңызды болып табылады. Қорыта айтқанда, бұл зерттеу динамикалық басқару жүйелерін жетілдіруге, олардың сенімділігін және тиімділігін арттыруға бағытталған алғышарттарды анықтай отырып, ғылыми-техникалық салаларда жаңашылдыққа жол ашады.

Автоматты реттеу жүйелерінің (АРЖ) динамикалық сипаттамаларын талдау және зерттеу басқару теориясының маңызды мәселесі болып табылады. Динамикалық процестерді зерттеу (талдау) кезінде берілген кіріс әсері және басқару нысанның (БН) құрамы бойынша оның шығысын (реакциясын) табу қажет. Динамикалық сипаттамалар

АРЖ-н қтпелі жұмыс кезеңін сипаттайды (Плотников et al., 2021; Умарова et al., 2024; Мельникова, 2018; Умарова & Умаров, 2023).

АРЖ модельдері техникалық саладан басқа, медицина, экономика, байланыс, психология, т.б. көптеген салаларда да қолданылады (Астафьев & Лапшин, 2018; Prokhorov & Konik, 2019).

АРЖ зерттеу мәселелеріне келесі мәселелер (есеп) жатады:

- осы жұмыста қарастырылып отырған шығыс процестерді талдау міндеті;
- жүйенің орнықтылығын бағалау;
- сезімталдықты зерттеу;
- басқарылу мүмкіндігін талдау;
- бақылау мүмкіндігін талдау (Teichert, 2019).

Жүйенің орнықтылығын зерттеу медицина және психология сияқты салаларда аса маңызды рөл атқарады. Мысалы, психологияда тұлғаның стресс жағдайын тиімді реттеу оның өмірлік қиындықтарға төтеп беруіне және денсаулығын сақтауына ықпал етеді (Ashraf et al., 2022).

АРЖ зерттеудің артықшылығы – олардың пайдалану ыңғайлылығы және нәтижелердің көрнекі түрде интерпретациялану мүмкіндігі, бұл зерттеу үдерісінде маңызды рөл атқарады (Shafiq et al., 2021).

Материалдар және зерттеу әдістері. Басқару нысанның беріліс функциясы берілсін:

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (1)$$

мұндағы a_m, b_n – беріліс функция полиномының коэффициенттері, $s = \frac{d}{dt}$ – дифференциалдау амалын өрнектейтін символ, s^m пен s^n – сәйкесінше m, n -ретті туындылар (Alibekkyzy et al., 2021; Алексеев et al., 2017).

Жүйе кірісіне қосу әсері (басқару сигналы) беріледі:

$$u(t) = 1(t - \tau) = \begin{cases} 1, & t > \tau \\ 0, & t \leq \tau \end{cases}, \quad (2)$$

мұндағы t – уақыт, τ – уақыт моменті.

(1) беріліс функциясы буынның $x(t)$ шығыс сигналының $X(s)$ бейнесі мен кіріс $u(t)$ сигналының $U(s)$ бейнесін байланыстырады: (Цыкунов, 2007; Корнев et al., 2020).

$$X(s) = W(s) U(s), \quad (3)$$

Берілген беріліс функциясы жүйенің кез келген белгілі кіріс сигналы $u(t)$ негізінде шығыс $x(t)$ мәнін анықтауға мүмкіндік береді. Осы беріліс функцияны пайдаланып, жүйенің өтпелі процестерінің келесі жағдайлардағы графиктерін салу қажет:

а) ұйытқулардың әсері жоқ жағдайда;

б) ұйытқулардың әсері бар жағдайда.

әсері бар жағдайда (Балабуха et al., 2022; Cirianni et al., 2018).

Екі түрлі ұйытқу аламыз (шектеулі 0,5 амплитудасы бар).

1-ші ұйытқу – периодты буын, оның беріліс функциясы:

$$W(s) = 0.5 / (s^2 + s + 1) \quad (4)$$

1-ші ұйытқудың графигі 1-суретте көрсетілген.

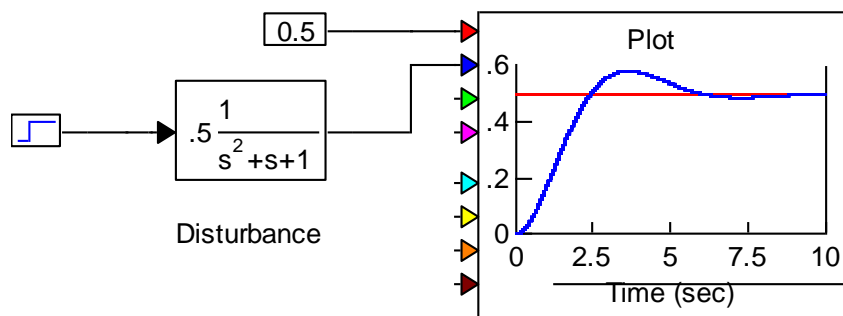
2-ші ұйытқу – дифференциалды буын, оның беріліс функциясы:

$$W(s) = 0.5 s / (s + 1) \quad (5)$$

2-ші ұйытқудың графигі 2-суретте көрсетілген.

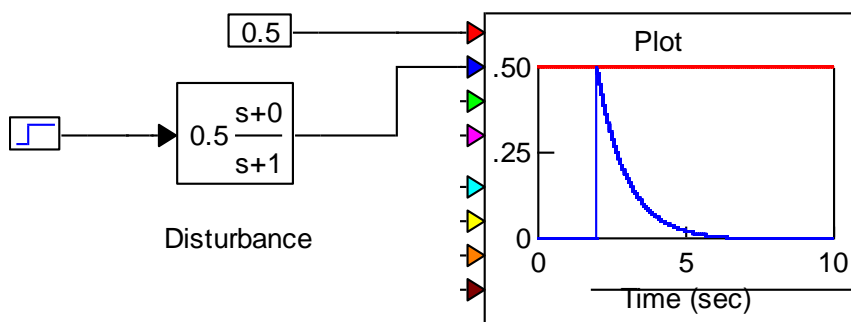
БН-ң төмендегі динамикалық сипаттамаларын анықтау қажет:

- $x_{\infty} = \lim_{t \rightarrow +\infty} x(t)$ статикалық ауытқуды,
- $x_{\max} = \max(x(t))$ максималды ауытқуды,
- $|x(t) - x_{\infty}| < \Delta$ шарты орындалғандағы T_p өтпелі процесс уақытын,
- $\sigma = \left(\frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% \right)$ шамадан тыс реттеуді.



1-сурет. 1-ші ұйытқу – периодты буын

Ескерту – автормен құрастырылған



2-сурет. 2-ші ұйытқу – дифференциалды буын

Ескерту – автормен құрастырылған

Басқару нысанның беріліс функциясы берілсін:

$$W(s) = W(s) = 5 * 1 / (0,1s^3 + 0,1s^2 + 0,2s + 1) \tag{6}$$

Берілген нысан 3-ретті тербелмелі буынға жатады. Оның параметрлері: $k = 5$ (күшейту коэффициенті); $T = 0,1$ (уақыт тұрақтысы); $\delta = 1$ (сөну декременті).

Төмендегі қажетті шарттардың орындалуын тексеріп, БН-ды орнықтылыққа зерттейміз. Шарт бойынша беріліс функция бөлімінің сипаттамалық полиномның барлық нақты (Real) түбірлері теріс болу қажетті:

$$a_n \lambda^n + a_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + a_0 = 0; \text{Re}(\lambda_i) < 0; i = 1, \dots, n, \tag{7}$$

мұндағы λ_i – сипаттамалық полиномның түбірлері.

Қарастырылған басқару нысаны – орнықсыз болып табылады, өйткені (5) шарт орындалмайды: $\lambda_1 = (-2.18; 0)$; $\lambda_2 = (0.59; -2.057)$; $\lambda_3 = (0.59; 2.057)$. Мұнда $\text{Re}(\lambda_1) < 0$; $\text{Re}(\lambda_2) > 0$; $\text{Re}(\lambda_3) > 0$.

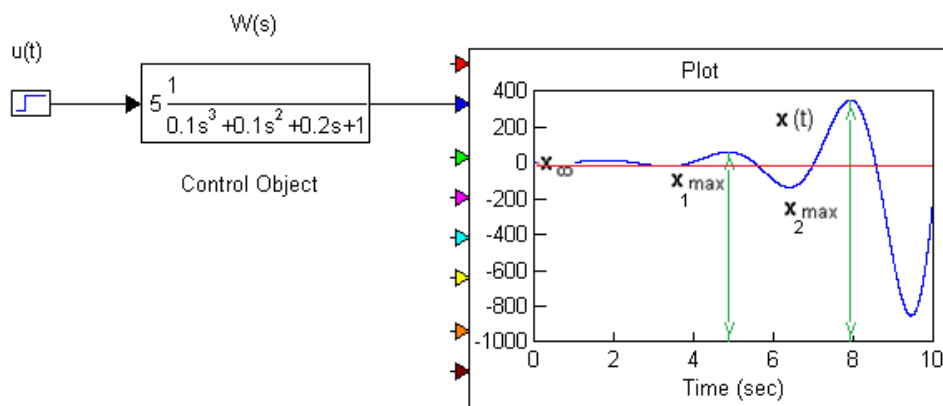
Басқару нысанының орнықтылығын келесі тәсілдер бойынша зерттейміз: бастапқы шарттар, яғни, нөлдік емес бастапқы берілгендер негізінде (3-сурет); кіріс әсерлерін, яғни, ұйытқулардың ықпалын ескере отырып (4-сурет).

Зерттеу жұмысының мақсаты - динамикалық реттеу жүйелерінің орнықтылығын және тиімділігін бағалау, олардың өтпелі процестерін талдау және басқару жүйелерін оңтайландыру үшін қолданылатын теориялық әдістердің маңыздылығын көрсету. Сонымен қатар, кері байланыс механизмдерінің жүйенің орнықтылығын қамтамасыз етудегі рөлі мен басқару параметрлерінің дұрыс таңдалуының маңызы ерекше атап өтіледі. Бұл зерттеу басқару жүйелерінің жобалау мен оңтайландыру үшін жаңа теоретикалық әдістер мен құралдарды дамытуға бағытталған.

Динамикалық жүйелердің өтпелі процестері мен орнықтылығын зерттеу мен басқару жүйелерін жобалау саласында жүргізілген жұмыс нәтижелері өнеркәсіптік процестердің тиімділігін арттыру үшін қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, бұл зерттеу басқа салалардағы зерттеулер үшін пайдалы боларлық нәтижелер мен ұсыныстар береді. Осыған байланысты, зерттеу жұмысы динамикалық реттеу жүйелерін зерттеудің маңызды қадамы ретінде қарастырылады және оның нәтижелері болашақтағы ғылыми зерттеулер мен өндірістік практикада кеңінен қолданылуы мүмкін.

Нәтижелері және оларды талқылау. Шығыс процестердің талдауын графоаналитикалық әдіс арқылы, яғни, өтпелі сипаттамаларды пайдалана отырып жүргіземіз. Бұл әдісті іске асыру үшін имитациялық модельдеу VisSIM ортасын қолданамыз. VisSIM – динамикалық жүйелердің блок схемаларын құрудың қуатты құралы және ыңғайлы түсінікті интерфейсі бар бағдарламалық жүйе (Астафьев & Лапшин, 2018).

БН-ң нөлдік бастапқы шарты бар өтпелі функция графигі төменде көрсетілген:



3-сурет. Нөлдік ($x_0 = 0$) бастапқы шарты бар (6) басқару нысаны

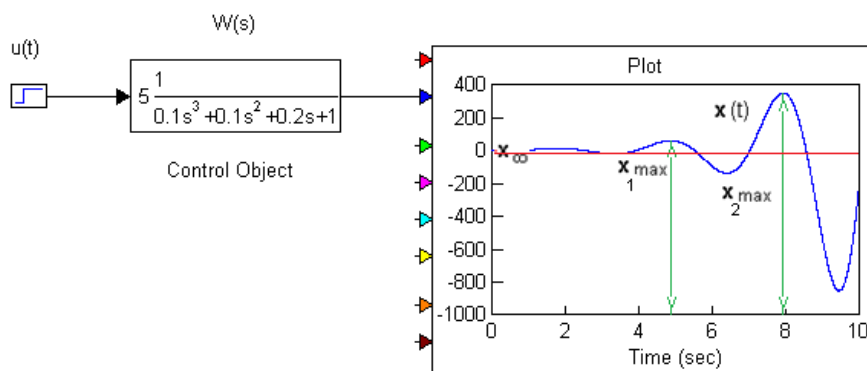
Ескерту – автормен құрастырылған

(6) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз ($x_0 = 0$):

- статикалық ауытқу $x_\infty = 5$;
- максималды ауытқу $x_{\max 1} = 57$; $x_{\max 2} = 358$; ... $x_{\max 10} \approx \infty$;
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((57-5)/5) * 100 \% = 1040\%$; $\sigma_2 = ((358-5) / 5) * 100 \% = 7060 \%$;
- ... $\sigma_{10} \approx \infty$.

Уақыт $t \rightarrow \infty$ сайын жүйе реакциясы да $x(t) \rightarrow \infty$, яғни, өтпелі процесс те шексіздікке ұмтылып жатыр, сондықтан, x_{\max} , T_p , σ сипаттамалары да шексіздікке ұмтылатыны анық.

БН-ң нөлдік емес бастапқы шарты бар өтпелі функция графигі төменде көрсетілген:



4-сурет. Нөлдік емес ($x_0 = 0.5$) бастапқы шарты бар (6) басқару нысаны
Ескерту – автормен құрастырылған

(6) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0.5$ болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

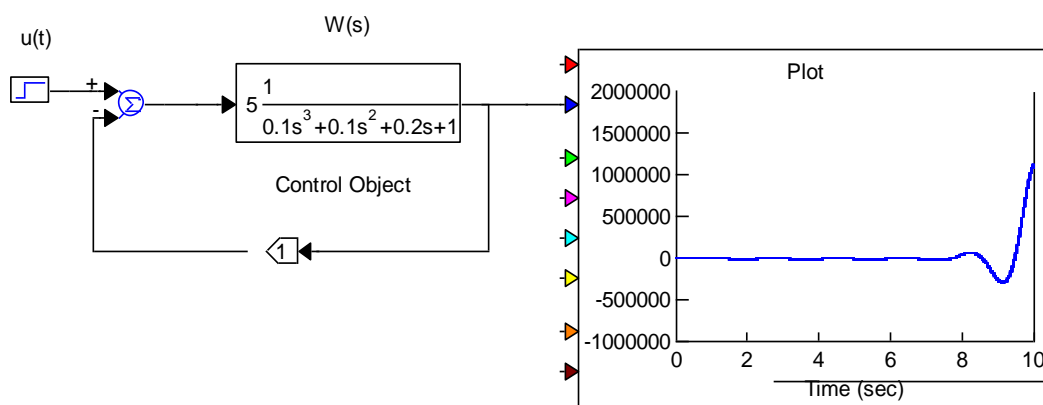
- статикалық ауытқу $x_\infty = 5$;
- максималды ауытқу $x_{\max1} = 57$; $x_{\max2} = 358$; ... $x_{\max10} \approx \infty$;
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((57-5) / 5) * 100\% = 1040\%$; $\sigma_2 = ((358-5) / 5) * 100\% = 7060\%$;
- ... $\sigma_{10} \approx \infty$.

Алынған сипаттамалар $x_0=0$ сипаттамаларына сәйкес.

Қарастырылып отырған (6) жүйе орнықсыз болғандықтан, оның динамикалық сипаттамаларын ары қарай зерттеудің мәні жоқ. Алдымен, жүйені орнықты жүйеге түрлендіруіміз қажет. Ол үшін жүйеге теріс кері байланыс енгізу керек. Түрлендіру нәтижесінде (6) жүйе келесі жүйеге айналады:

$$W(s) = W(s) = 50 * 1 / (60s^3 + 2s^2 + 1s + 1), \tag{8}$$

(8) Басқару нысанының өтпелі кезеңінің сипаттамасын анықтаймыз:

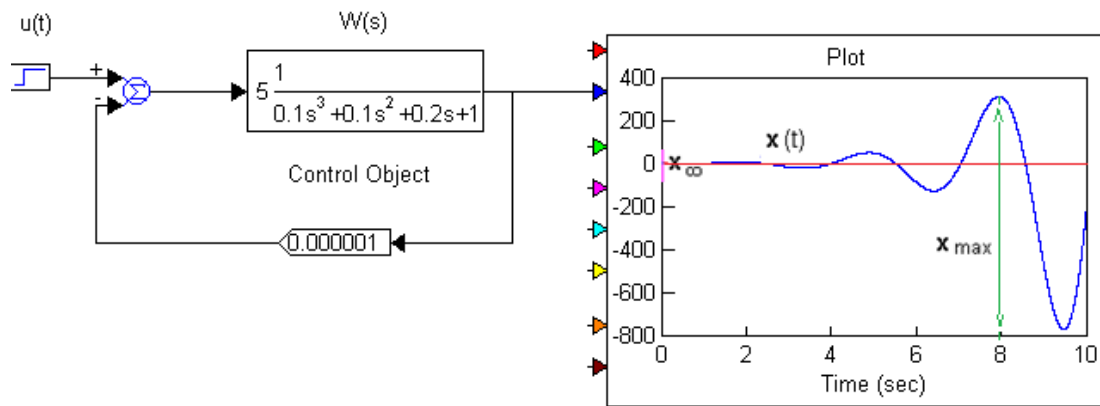


5-сурет. (8) жүйенің кері байланыс коэффициенті $k = 1$ жғдайдағы өтпелі сипаттамасы
Ескерту – автормен құрастырылған

Есептеу жүргізбесек те, 5-суреттегі жүйе шамадан тыс орнықсыз екені көрініп тұр, яғни, $t=0..10$ аралығының өзінде $x_{max}=1000000$, сондықтан өтпелі процесс те шексіздікке ұмтылып жатыр, сондықтан, x_{max} , T_p , σ сипаттамалары да шексіздікке ұмтылатыны анық.

Шамадан тыс орнықсыз жүйенің орнықтылық шегін азайтып көрейік. Ол үшін кері байланыс коэффициентін 0-ге ұмтылдырамыз, яғни, $k = 0.000001$ деп есептейміз.

(8) жүйенің кері байланыс коэффициентін 1000000 есе азайту нәтижесінде алынған өтпелі сипаттама:

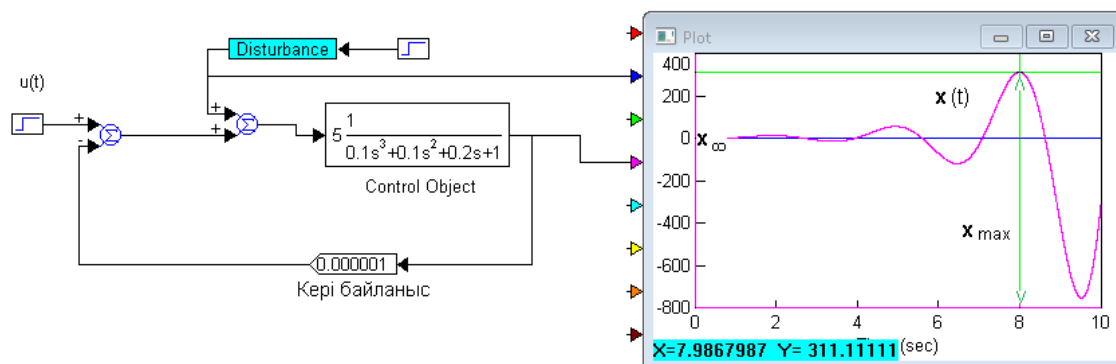


6-сурет. (5) жүйенің кері байланыс коэффициенті $k = 0,000001$ жағдайдағы өтпелі сипаттамасы

Ескерту – автормен құрастырылған

(8) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0$ болғандағы және ұйытқу әсер бермеген жағдайдағы динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

- статикалық ауытқу $x_{\infty} = 0,1$;
 - максималды ауытқу $x_{max1} = 53$; $x_{max2} = 320$; ... $x_{max10} \approx \infty$.
 - өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
 - шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((53-0,1) / 0,1) * 100\% = 53000$; $\sigma_2 = ((320-0) / 0) * 100\% = 320000$.
- (8) жүйесіне ұйытқу әсерін берсе жүйенің өтпелі процесі қалай өзгеретінін зерттейміз.



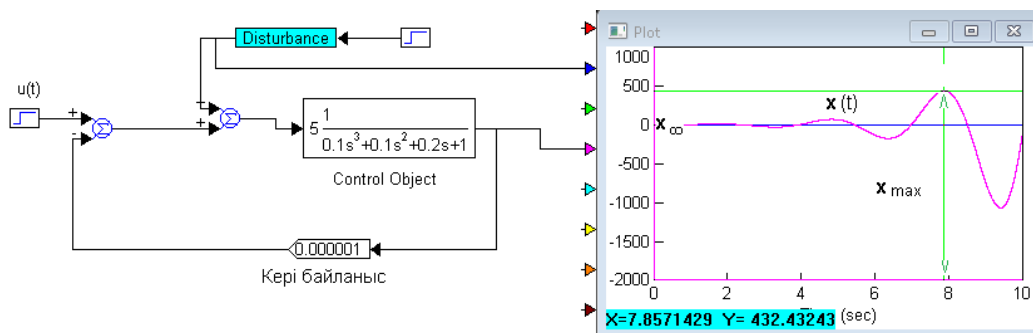
7-сурет. 1-ұйытқу берілгендегі БН-ң шығыс реакциясы

Ескерту – автормен құрастырылған

7-суретте 1-ұйытқу (8) берілгендегі БН-ң шығыс реакциясының графигі көрсетілген. Графикте БН шығыс реакциясы қанық қызылмен, ұйытқу көк сызықпен сызылған.

(8) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0$ болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

- статикалық ауытқу $x_\infty = 0,1$;
- максималды ауытқу $x_{\max 1} = 57$; $x_{\max 2} = 311$; ... $x_{\max 10} \approx \infty$.
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((57-0,1) / 0,1) * 100\% = 57000$; $\sigma_2 = ((311-0)/0) * 100\% = 311000$.



8-сурет. 2-ұйытқу берілгендегі БН-ң шығыс реакциясы

Ескерту – автормен құрастырылған

8-суретте 2-ұйытқу берілгендегі БН-ң шығыс реакциясының графигі көрсетілген. Графикте БН шығыс реакциясы қанық қызылмен, ұйытқу көк сызықпен сызылған.

(8) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0$ болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

- статикалық ауытқу $x_\infty = 0,1$;
- максималды ауытқу $x_{\max 1} = 75$; $x_{\max 2} = 432$; ... $x_{\max 10} = \infty$;
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((75-0,1) / 0,1) * 100\% = 75000$;
- $\sigma_2 = ((432-0,1) / 0,1) * 100\% = 432000$.

Сөйтіп, барлық нәтижелерді төмендегі кестеге қоямыз (1-кесте).

1-кесте. (6) және (8) БН-ң динамикалық сипаттамалары

Динамикалық сипаттамалар	(6) басқару нысаны	(8) басқару нысаны		
	0-дік және 0-дік емес бастапқы шарттарда	0-дік және 0-дік емес бастапқы шарттарда	1-ұйытқу әсері берілгенде	2-ұйытқу әсері берілгенде
Статикалық ауытқу x_∞	5	0,1	0,1	0,1
Максималды ауытқу x_{\max}	57; 358; $x_{\max} \rightarrow \infty$	53; 320; $x_{\max} \rightarrow \infty$	57; 311; $x_{\max} \rightarrow \infty$	75; 432; $x_{\max} \rightarrow \infty$
Өтпелі процесс кезеңі T_p	$T_p \rightarrow \infty$	$T_p \rightarrow \infty$	$T_p \rightarrow \infty$	$T_p \rightarrow \infty$
Шамадан тыс реттеу σ	1040; 7060; $\sigma \rightarrow \infty$	53000; 320000; $\sigma \rightarrow \infty$	57000; 311000; $\sigma \rightarrow \infty$	75000; 432000;

Ескерту – автормен құрастырылған

1-кестеден (6) басқару нысанына (БН) ұйытқу әсері берілмеген жағдайда оның статикалық ауытқуы 555-ке тең екені анықталады. Жүйе орныксыз болғандықтан, оның максималды ауытқуы, өтпелі процесс кезеңі және шамадан тыс реттеу мәндері шексіздікке ұмтылуда.

Егер (6) БН-ға теріс кері байланыс енгізіп, жүйені тұйық етіп түрлендірсек, оның динамикалық сипаттамаларының өзгеретін-өзгермейтінін тексердік. Алынған тұйық (8) жүйенің динамикалық сипаттамалары айтарлықтай өзгермеген. Яғни, ұйытқу берілмегенде, 1-ші ұйытқу әсері және 1-ші ұйытқу әсері берілгенде БН-ның статикалық ауытқуы 0,1-ге тең болып қала береді. Ал 1-ші максималды ауытқуы тиісінше 53, 57, және 75-ке өзгеріп, өтпелі процесс кезеңі $T_r \rightarrow \infty$, шамадан тыс реттеу мәндері 53000, 57000, және 75000-ға ұмтылып, $\sigma \rightarrow \infty$ жағдайына жетеді.

Зерттеу барысында қолданылған теориялық әдістердің жүйелердің өтпелі процестерін зерттеудегі тиімділігі дәлелденді. Қолданыстағы теориялық әдістердің қолданылуы басқару жүйелерін оңтайландыру мен олардың динамикалық сипаттамаларын толықтай бақылауға мүмкіндік берді.

Нәтижелердің практикалық маңызы зор. Олар көлік, энергетика, медицина және басқа да салалардағы басқару жүйелерін жобалау мен оңтайландыру процесінде қолдануға болады. Сонымен қатар, алынған мәліметтер динамикалық жүйелердің мінез-құлқына тереңірек түсінік қалыптастыру үшін қосымша зерттеулер жүргізудің қажеттілігін көрсетеді.

Нәтижелерді талқылау. Бұл зерттеудің нәтижелері кері байланыс механизмдерінің және динамикалық басқару жүйелерінде жүйе тұрақтылығын қамтамасыз етудегі басқару параметрін таңдаудың маңызды рөлін атап көрсетеді. Өтпелі процестерді, жүйе сезімталдығын және тұрақтылық факторларын терең талдау арқылы зерттеу басқару параметрлеріндегі дәл түзетулер жүйенің реакциясын айтарлықтай жақсартатынын көрсетті. Бұл әсіресе көлік, энергетика және денсаулық сақтау салаларында енгізілген өзгерістерге жылдам бейімделу қажет жүйелерде өте маңызды. Бұл түсініктер кері байланыс жүйені тұрақтандырып қана қоймайды, сонымен қатар шамадан тыс түсіруді азайтады және өтпелі уақытты азайтады, бұл басқару процесін тиімдірек етеді.

Зерттеу сонымен қатар кері байланыссыз динамикалық басқару жүйелеріндегі шектеулерді анықтайды, мұнда өтпелі процестер шамадан тыс асып кетуге, ұзақ орнату уақытына немесе тіпті тұрақсыздыққа әкелуі мүмкін. Мерзімді және дифференциалды ауытқуларды зерттеу динамикалық басқару жүйелерінің әртүрлі сыртқы әсерлерге қалай жауап беретінін көрсетеді. Нәтижелер кері байланысы бар жүйелер жүйені басқару бойынша бар теориялық негіздерге сәйкес келетін бұзылуларға көбірек төзімділік көрсететінін көрсетеді.

Бұл зерттеудің негізгі түйіні бірнеше домендерде оңтайландырылған динамикалық басқару әдістерін әлеуетті қолдану болып табылады. Денсаулық сақтау саласында, мысалы, адаптивті басқару жүйелері нақты, нақты уақыттағы жауаптарды қажет ететін медициналық құрылғылардағы жетістіктерге ықпал ете алады. Сол сияқты, энергетикалық жүйелерде оңтайландырылған басқару, әсіресе құбылмалы сұраныс жағдайында энергияны тарату желілеріндегі энергия тиімділігі мен тұрақтылығын арттыруы мүмкін.

Зерттеу сызықты емес және өте күрделі басқару орталарында жүйе тұрақтылығын арттыру бойынша болашақ зерттеулерге жол ашады. Осы зерттеуде пайдаланылған VisSIM сияқты кеңейтілген модельдеу және модельдеу құралдары басқару процестерін визуализациялау және нақтылау үшін практикалық тәсілді қамтамасыз етеді, әсіресе әртүрлі жағдайларда динамикалық жауаптарды бағалауда. Динамикалық жүйелерді талдаудың жетілдірілген теориялық әдістерін әзірлеу сенімді және бейімделгіш басқару

тетіктеріне қатты сүйенетін секторларға пайда әкелетін басқару жүйесін жобалауда кеңірек инновацияларға әкелуі мүмкін.

Бұл зерттеу, әсіресе тұрақтылық пен тиімділікті арттыру үшін сенімді кері байланыс тетіктерін жобалауда жан-жақты бақылау жүйесін талдаудың маңыздылығын атап көрсетеді. Зерттеу нәтижелері әртүрлі салаларда жүйені динамикалық оңтайландырудың алдыңғы қатарлы әдістері мен құралдарын әзірлеуге, нақты әлем қолданбаларында автоматтандырылған басқару жүйелерінің тұрақтылығын және бейімділігін арттыруға бағытталған болашақ жұмыс үшін негіз болады.

Қорытынды. Бұл ғылыми зерттеуде динамикалық реттеу жүйелерінің (АРЖ) тұрақтылығы мен тиімділігін бағалау, олардың өтпелі процестерін және орнықтылығын зерттеу мәселелері талданды. Жұмыс барысында жүйенің динамикалық сипаттамаларын есептеу және теориялық әдістерді қолдану арқылы басқару жүйесінің орнықтылығы мен сезімталдығын бағалау әдістемесі қарастырылды. Динамикалық жүйелердің қарастырылған модельдері мен олардың басқару процестерінің динамикасы арқылы зерттеу мақсаттары толық көлемде орындалды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жүйенің динамикалық сипаттамаларын бағалауда және өтпелі процестерді талдауда негізгі маңызды факторлардың бірі — жүйенің басқару параметрлерінің дұрыс таңдалуы. Жүйенің орнықтылығын қамтамасыз ету үшін кері байланыс механизмін енгізу қажеттілігі айқындалды. Әсіресе, өтпелі процестердің ұзақтығы мен амплитудасының шектеулі болуы және орнықтылықты жақсарту үшін кері байланыс коэффициенттерін реттеу маңыздылығын көрсетті.

Жұмыстың нәтижелері басқару жүйелерін жобалау мен оңтайландыру саласында кең қолдануға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, динамикалық реттеу жүйелерін басқаруда алынған теориялық деректер мен практикалық нәтижелер, түрлі өнеркәсіп салаларында, әсіресе өндіріс, көлік, энергетика және медицина салаларында тиімді басқару әдістерін жетілдіруге ықпал ете алады. Сонымен қатар, орындылықты арттыру және жүйенің динамикалық ерекшеліктерін талдау жұмыстары одан әрі зерттеулер жүргізуді қажет етеді, себебі бұл әдістер мен нәтижелер нақты өндірістік жағдайларда қолдану үшін қосымша сынақтарды талап етеді.

Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері жүйенің динамикалық сипаттамаларын тереңірек зерттеу қажеттілігін және басқару жүйелерінің орнықтылығын жақсарту үшін жаңа теориялық әдістер мен құралдарды әзірлеудің маңыздылығын көрсетеді. Келешекте осы салада жасалатын зерттеулер осы әдістердің шынайы өндірістік және әлеуметтік контексте кеңінен қолданылуына мүмкіндік береді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Плотников, С.А., Семенов, Д.М., & Фрадков, А.Л. (2021). Математическое моделирование систем управления. СПб: Университет ИТМО, 193 // Plotnikov, S.A., Semenov, D.M., & Fradkov, A.L. (2021). Matematicheskoe modelirovanie sistem upravleniya. SPb: Universitet ITMO, 193.
- Умарова, А.А., Абдикулова, З.К., & Умаров, А.А. (2024). Анализ динамических характеристик устойчивого объекта управления с возмущением. *Endless Light in Science*. – № 6(1). // Umarova, A. A., Abdikulova, Z.K., & Umarov, A.A. (2024). Analiz dinamicheskikh kharakteristik ustoychivogo ob'ekta upravleniya s vozmushcheniem. *Endless Light in Science*, №6(1).
- Мельникова, М. Л. (2018). Психология стресса: теория и практика: учебно-методическое пособие. Екатеринбург // Melnikova, M.L. (2018). Psikhologiya stressa: teoriya i praktika: uchebno-metodicheskoe posobie. Yekaterinburg.
- Умарова, А., & Умаров, А. (2023, Январь). State of psychological stress from the point of view of control theory. In II International Scientific Conference "The Modern Vector of the Development of Science", Tokyo, Japan. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7560026> // Umarova, A., & Umarov, A. (2023, January). State of psychological stress from the point of view of control theory. In II International Scientific

- Conference «The Modern Vector of the Development of Science», Tokyo, Japan. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7560026>
- Астафьев, Л.И., & Лапшин, Э.В. (2018). Стабилизация системы автоматического регулирования с использованием комплекса VisSim. Труды международного симпозиума “Надежность и качество”, Вып. 1. // Astafyev, L.I., & Lapshin, E.V. (2018). Stabilizatsiya sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya s ispol'zovaniem kompleksa VisSim. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma
- Prokhorov, A., & Konik, L. (2019). Digital transformation: Analysis, trends, world experience. AlyansPrint. Datalab-NSU. (n.d.).
- Teichert, R. (2019). Digital transformation maturity: A systematic review of literature. Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis.
- Ashraf, M., Shiraz, M., Abbasi, A., & Albahli, S. (2022). Distributed application execution in fog computing: A taxonomy, challenges and future directions. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, 34, 3887-3909. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.05.002>
- Shafiq, D. A., Jhanjhi, Z., & Abdullah, A. (2021). Load balancing techniques in cloud computing environment: A review. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, 34(7), 3910-3933. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.02.007>
- Alibekkyzy, K., Wojcik, W., Vyacheslav, K., & Belginova, S. (2021, February 15). Robust data transfer paradigm based on VLC technologies. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 99(3).
- Алексеев, Д.М., Пливак, С.А., & Шумилин, А.С. (2017). Организация информационной безопасности в сетях предприятий на основе технологии VLC. Международный студенческий научный вестник, (4-4). Retrieved from <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=17412> // Alekseev, D.M., Plivak, S.A., & Shumilin, A.S. (2017). Organizatsiya informatsionnoy bezopasnosti v setyakh predpriyatiy na osnove tekhnologii VLC. Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik, (4-4). Retrieved from <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=17412>
- Цыкунов, А.М. (2007). Алгоритмы робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений. Автоматика и телемеханика, (7), 103-115. // Tsykunov, A.M. (2007). Algoritmy robastnogo upravleniya s kompensatsiyey ogranichennykh vozmushcheniy. Avtomatika i telemekhanika, (7), 103-115.
- Корнев, В. А., Сагидуллина, Г., & Кайсарулы, Т. (2020). Модели прогнозирования достоверности инструментальной клинической диагностики. ТОО «ВКПК АРГО». // Kornev, V. A., Sagidullina, G., & Kaysaruly, T. (2020). Modeli prognozirovaniya dostovernosti instrumental'noy klinicheskoy diagnostiki. TOO «VKPK ARGO».
- Балабуха, Н.П., Коняев, Д.А., & Шапкина, Н.Е. (2022). Математическое моделирование двухпозиционной ЭПР объектов на основе электромагнитного поля в ближней зоне. Вестник Московского университета, (3), 3-13. // Balabukha, N. P., Konyayev, D. A., & Shapkina, N. E. (2022). Matematicheskoe modelirovanie dvukhpzitsionnoy EPR ob"ektov na osnove elektromagnitnogo polya v blizhney zone. Vestnik Moskovskogo universiteta, (3), 3-13.
- Cirianni, F., Monterosso, C., Panuccio, P., & Rindone, C. (2018). A review methodology of sustainable urban mobility plans: Objectives and actions to promote cycling and pedestrian mobility. In Bisello, A., Vettorato, D., Laconte, P., & Costa, S. (Eds.), Smart and sustainable planning for cities and regions (SSPCR 2017). Green Energy and Technology. Springer, Cham.

Information about authors

Kazbekova Gulnur – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, с. Turkestan, gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2756-7926>, 8(775)1333354

Umarov Amantur – PhD докторы, Doctor of PhD, Rudny Industrial University, с. Rudny, uaa_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4034-9915>

Aben Arypzhан Baktiarovich – doctoral student, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, с. Turkestan arypzhan.aben@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8534-3288>

Zhunissof Nurseit Mukhidinovich – PhD, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, nurseit.zhunissof@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6531-9408>

Ismagulova Zhuldyz Sauekhanovna – Candidate of technical sciences, Associate professor. ALT university named after M. Tynysbayev, Almaty, Kazakhstan, zhu.ismagulova@alt.edu.kz, ORCID 0000-0002-0979-0243

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК. ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ
INFORMATION SECURITY. INFORMATION PROTECTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_150
MFTAA 81.93.29

А.С. Канжекеев¹, А.А. Конырханова¹, Т. Толғанбайұлы²

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

*E-mail: aidyn-94-10@mail.ru**

E-mail: konyrkhanova_aa@enu.kz

²ЖШС «QazCloud», Астана қ., Қазақстан

E-mail: talant.kz@mail.ru

**КИБЕРФИЗИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР: КИБЕРҚАУІПСІЗДІК ҚАТЕРЛЕРІ,
ШАБУЫЛДАРДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ МАҢЫЗДЫ ИНФРАҚҰРЫЛЫМДЫ
ҚОРҒАУ ӘДІСТЕРІ**

**КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ:
УГРОЗЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ, АНАЛИЗ АТАК И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ
КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**CYBER-PHYSICAL SYSTEMS:
CYBERSECURITY THREATS, ATTACK ANALYSIS AND CRITICAL
INFRASTRUCTURE PROTECTION METHODS**

Аңдатпа. Мақалада физикалық және кибернетикалық компоненттерді біріктіретін маңызды инфрақұрылымның негізгі элементтері ретінде киберфизикалық жүйелер қарастырылады. Зерттеу мақсаттарының бірі киберфизикалық жүйелер саласындағы өзекті мәселелерді анықтау болып табылады. Осы типтегі жүйелер энергетика, көлік, денсаулық сақтау және өнеркәсіп сияқты салаларда кеңінен қолданылады, бұл олардың қазіргі қоғамның жұмыс істеуі үшін маңыздылығын көрсетеді. Мақалада соңғы 10 жылдағы киберфизикалық жүйелерге жасалған кибершабуылдарды талдау, энергетикалық желілер мен сумен жабдықтау жүйелері сияқты маңызды нысандарға жасалған шабуылдардың көбеюі көрсетілген. Зиянды программалар, SQL инъекциялар, MITM, спуфинг және DDoS сияқты кибер шабуыл түрлері қарастырылады және антивирустық бағдарламалық жасақтаманы пайдалану, желіні сегментациялау, деректерді шифрлау және көп факторлы аутентификация сияқты қорғаныс шаралары ұсынылады. Зерттеу нәтижелері маңызды инфрақұрылымды қорғау және қоғам мен экономика үшін ауыр зардаптардың алдын алу үшін киберфизикалық жүйелердің киберқауіпсіздігін күшейту қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: киберфизикалық жүйелер, кибершабуыл, SCADA жүйесі, IoT, киберқауіпсіздік.

Аннотация. В данной статье рассматриваются киберфизические системы как ключевые элементы критической инфраструктуры, объединяющие физические и кибернетические компоненты. Одно из целей исследования было необходимо определить актуальные вопросы в сфере киберфизических системы. Системы этого типа находят широкое применение в таких отраслях, как энергетика, транспорт, здравоохранение и промышленность, что подчеркивает их важность для функционирования современного общества. Статья содержит анализ кибератак на киберфизические системы за последние 10 лет, выявляя рост числа атак на критически важные объекты, таких как энергосети и системы водоснабжения. Рассмотрены типы атак, включая вредоносное ПО, SQL-инъекции, MITM, спуфинг и DDoS, а также предложены меры защиты, такие как использование антивирусного ПО, сегментация сети, шифрование данных и многофакторная аутентификация. Выводы исследования подчеркивают необходимость усиления кибербезопасности киберфизических систем для защиты критической инфраструктуры и предотвращения серьезных последствий для общества и экономики.

Ключевые слова: киберфизические системы, кибератака, SCADA-система, IoT, кибербезопасность.

Abstract. This paper examines cyber-physical systems as key elements of critical infrastructure that integrate physical and cyber components. One of the objectives of the study was to identify current issues in the field of Cyber-Physical Systems. These systems are widely used in industries such as energy, transportation, healthcare, and manufacturing, highlighting their importance for the functioning of modern society. The paper analyzes cyber-attacks on cyber-physical systems over the past 10 years, revealing an increase in attacks on critical assets such as power grids and water supply systems. The types of attacks, including malware, SQL injection, MITM, spoofing, and DDoS, are discussed, and protective measures such as the use of antivirus software, network segmentation, data encryption, and multi-factor authentication are proposed. The findings highlight the need to strengthen the cybersecurity of cyber-physical systems to protect critical infrastructure and prevent serious consequences for society and the economy.

Keywords: cyber-physical systems, cyber attack, SCADA system, IoT, cyber security.

Кіріспе. Қазіргі таңда әлемде киберфизикалық жүйелерге жасалған кибершабуылдардың саны өскенін байқап отырмыз. Зерттеудің негізгі мақсаты соңғы 10 жылда киберфизикалық жүйелерге жасалған кибершабуылдарды талдау, олардың ерекшеліктерін анықтау және қолданыстағы қорғаныс әдістерінің тиімділігін бағалау болды. Бұл ретте электр энергетикасы, атом өнеркәсібі, газ және мұнай өндіру сияқты маңызды секторларға жасалған шабуылдарға ерекше назар аударылды.

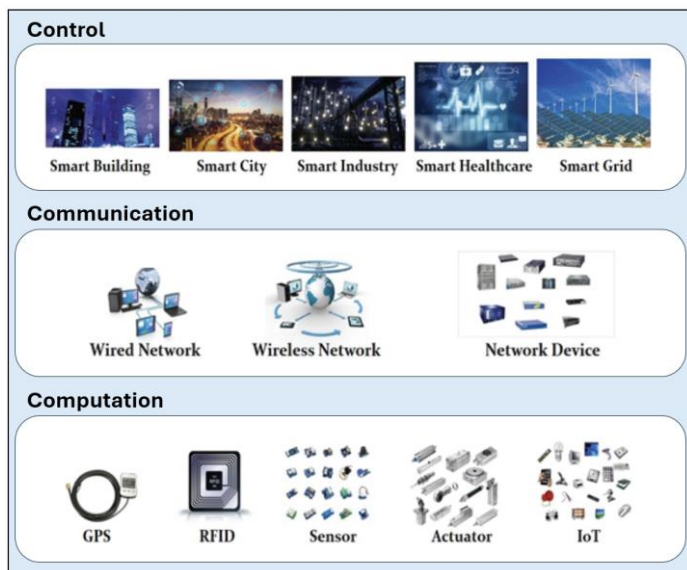
Қазақстанда электр энергетикасы, атом өнеркәсібі, газ және мұнай өндіру сияқты секторлардағы киберфизикалық жүйелерді қоса алғанда, аса маңызды инфрақұрылымдық объектілерді қорғауға ерекше назар аударылады. Бұл жүйелердің дұрыс жұмыс істемеуі Ұлттық қауіпсіздік пен экономиканың тұрақтылығы үшін ауыр зардаптарға әкелуі мүмкін болғандықтан, киберқорғаудың сенімді тетіктерін енгізу қажеттілігі одан да өзекті бола түсуде.

Киберфизикалық жүйелер – бұл кибернетикалық және физикалық компоненттердің өзара әрекеттесуіне негізделген интеллектуалды жүйелер. Бұл жүйелер физикалық әлемді, соның ішінде сенсорларды, датчиктерді, робототехниканы және интеграцияланған жүйелерді виртуалды деректер орталарымен байланыстырады. Киберфизикалық жүйелерді қолдану күнделікті өмірдің әртүрлі аспектілерінде жайлылықты, қауіпсіздікті және тиімділікті арттыру үшін маңызды (<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-201>).

Киберфизикалық жүйелер – есептеу, байланыс және басқару технологияларын біріктіретін күрделі жүйелер. Бұл жүйелер есептеу процестері мен коммуникациялар сияқты кибернетикалық мүмкіндіктерді сенсорлар мен жетектерді қамтитын физикалық компоненттермен біріктіреді (1-сурет). Киберфизикалық жүйелер медицина, автомобиль, энергетикалық желілер, қалалық инфрақұрылым, өнеркәсіптік өндіріс, авиация және ғимараттарды басқару жүйелерін қоса алғанда, көптеген салаларда қолданылады (Matthew N. O., Sadiku, 2017).

Киберфизикалық жүйелердің киберқауіпсіздік өзектілігі олардың әртүрлі салалар үшін маңыздылығына және қоғамның күнделікті өміріне ауқымды енгізілуіне байланысты. Бұл жүйелер физикалық нысандар мен процестерді цифрлық технологиялармен біріктіреді, бұл тиімділікті арттыруға, автоматтандыруға және басқаруға жаңа мүмкіндіктер ашады, сонымен қатар жаңа шабуыл векторлары мен осалдықтарын тудырады.

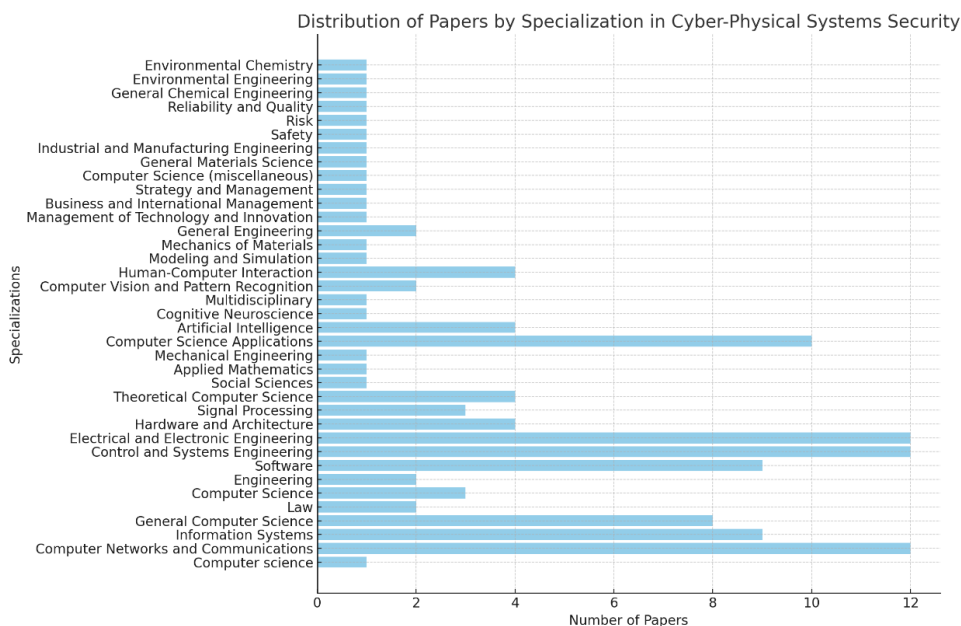
Материалдар және зерттеу әдістері. Зерттеу барысында киберфизикалық жүйелерге жасалған кибершабуылдарға шолу жасалды. Іздеу ғылым саласындағы ең ірі библиографиялық және рефераттық деректер қоры Scopus платформасында «Cyber-Physical Systems», «IoT», «CPS Security», «CPS Cyber Attack» кілт сөздері бойынша жүргізілді. Зерттеуде 50-ге жуық ғылыми басылымдар зерттелді.



1-сурет. Киберфизикалық жүйелердің компоненттері

Ескерту – (2) Matthew N. O. Sadiku and others. (2017). *Cyber-Physical Systems: A Literature Review* мақаласынаан алынды

Киберфизикалық жүйелер бойынша зерттеулер негізінен Control and Systems Engineering, Electrical and Electronic Engineering, Computer Networks and Communications бағыттарында жүргізілген. Бұл зерттеудің негізгі бағыттары киберфизикалық жүйелердің күрделілігі мен пәнаралық сипатын көрсететін жүйелерді басқару, желілік технологиялар және компьютерлік қосымшалардың қылысына бағытталғанын көрсетеді (2-сурет).



2-сурет. Киберфизикалық жүйелер бойынша зерттеу бағыттары

Ескерту – автормен құрастырылған



3-сурет. Киберфизикалық жүйелер бойынша зерттеу бағыттары

Ескерту – автормен құрастырылған

Зерттеу барысында сұрыпталған 50 жуық ғылыми жұмыстар негізінде киберфизикалық жүйелердің қазіргі таңда өзекті зерттеу бағыттары анықталды (3-сурет):

- Киберфизикалық жүйелердің осалдықтары мен қауіпсіздігі – 30 %.
- Өнеркәсіптегі киберфизикалық жүйелерді қорғау – 25 %.
- Киберфизикалық жүйелерде машиналық оқыту және жасанды интеллект қолдану – 20 %.
- IoT қауіпсіздігі – 15 %.
- Киберфизикалық жүйелердің қауіпсіздігі және сенімділігі – 10 %.

Талдау нәтижесінде киберфизикалық жүйелерге жасалған ірі 10 кибершабуыл сұрыпталды (Abdulmalik Humayed, Jingqiang Lin, Fengjun Li & Bo Luo., 2017; Hakan Kayan, 2022; Case D. & Wilhoit K., 2017; Cardenas A., Amin S. & Sastry S., 2008; Knapp E. & Langill J., 2014; Fisher D. 2015; Cheung S., 2007; Ten C.W., Liu, C.C. & Manimaran G., 2008; Lee R. M., Assante, M. J. & Conway T., 2016; Langner R., 2011).

Киберфизикалық жүйелерге жасалған кибершабуылды іріктеу кезінде келесі критерийлер қолданылды: келтірілген залалдың ауқымы, шабуыл кезінде қолданған әдістер және киберқылмыскерлерді ынталандыру факторы.

1-кесте. Киберфизикалық жүйелерге жасалған ірі 10 кибершабуыл

Жыл	Шабуыл атауы	Мотивация	Шабуыл
2014	Неміс өнеркәсіп жүйесіне шабуыл	Диверсия және осалдықты көрсету	Германиядағы болат зауытында өнеркәсіптік басқару жүйесін бұзу. Хакерлер SCADA жүйелері арқылы өндіріс желісіне физикалық зақым келтірді
2015	Украина энергетика жүйесіне шабуыл	Саяси мотивация	BlackEnergy зиянды программасы арқылы SCADA жүйелерін бұзу және электр желілерін өшірді
2016	Лос-Анджелестегі ауруханаға абуыл	Қаржылық мотивация	Ауруханадағы медициналық жабдықтар мен басқару жүйелерін бұзған зиянды программа
2017	Triton	Маңызды инфрақұрылымды диверсиялау	Мұнай-химия зауытындағы қауіпсіздік жүйелерін бұзуға арналған TRITON зиянды программасы

1-кестенің соңы

Жыл	Шабуыл атауы	Мотивация	Шабуыл
2018	Сауд Арабия мұнай нысандарына шабуыл	Экономикалық мотивация	SCADA жүйесі арқылы мұнай-химия объектілеріндегі операциялардың бұзылуына және өндірістің тоқтауына себеп болған зиянды программа
2019	Оңтүстік Африка гидро энергетика нысанына шабуыл	Диверсия	Тазарту қондырғыларындағы судың химиялық параметрлерін өзгертуге арналған SCADA жүйелерін бұзу, бұл судың ластануына әкелді
2020	Израиль гидро энергетика нысанына шабуыл	Геосаяси мотивация	Судағы химиялық заттардың деңгейін өзгерту әрекеті арқылы сорғыны басқару және суды бақылау жүйелерін бұзу
2021	Oldsmar Water Treatment Plant	Диверсия	Судағы тазарту деңгейін қауіпті деңгейге дейін өзгертуге тырысу үшін су тазарту станциясының SCADA жүйесін бұзу
2022	Үндістан электр жүйесіне шабуыл	Кибершпионаж	Желілік қауіпсіздіктің осалдығы арқылы энергетикалық компаниялардың SCADA жүйелерін бұзу
2023	АҚШ аэроғарыш өнеркәсібіне шабуыл	Қаржылық және тыңшылық мотивация	Зиянды программалар арқылы өндірісті басқару жүйелеріне шабуыл жасау және авиацияға арналған компоненттердің сызбаларын ұрлау

Ескерту – автормен құрастырылған

Соңғы 10 жылда киберфизикалық жүйелерге жасалған кибершабуылдарды талдау негізінде бірнеше негізгі қорытындылар жасалды.

Маңызды инфрақұрылымға жасалатын кибершабуылдар санының өсуі. 2014 жылдан бастап электр энергетика, гидро энергетика және денсаулық сақтау жүйелері сияқты нысандарға кибершабуылдар санының айтарлықтай өсуі байқалды. Бұл үрдіс маңызды әлеуметтік процестердің жұмыс істеуі тәуелді болатын киберфизикалық жүйелердің осалдығының жоғары деңгейін көрсетеді. Аталған факт инфрақұрылымның аса маңызды объектілерін қорғауға бағытталған қауіпсіздік шараларын күшейту қажеттігін айғақтайды.

Кибершабуыл әдістерінің эволюциясы. Киберфизикалық жүйелердегі заманауи кибершабуылдар барған сайын күрделі және мақсатты болып келеді. Атап айтқанда, SCADA жүйелеріне және өнеркәсіптік басқару жүйелерінің басқа компоненттеріне нұқсан келтіруге арналған арнайы зиянды программалар жиі қолданылады. Сонымен қатар, өндірістік процестерді басқару жүйелерін бұзуға бағытталған ransomware типіндегі зиянды программалар және кибершпиондау технологияларын қолданатын шабуылдар санының өсуі байқалады.

Киберфизикалық жүйелердің киберқауіпсіздігінің маңыздылығының артуы. Зерттеу барысында жасалған шолу киберфизикалық жүйелердің киберқауіпсіздігін күшейту қажеттілігін көрсетеді, әсіресе энергетика, су, көлік және денсаулық сақтау сияқты маңызды секторларда. Желілерді сегменттеу, бағдарламалық жасақтаманы уақтылы жаңарту және қызметкерлердің ықтимал қауіптер туралы хабардарлығын арттыру сияқты қатаң қауіпсіздік шаралары болған кезде көптеген шабуылдардың алдын алуға болады.

SCADA жүйесіне жасалған шабуылдың артуы. Зерттеу барысында шабуылдардың басым бөлігі SCADA жүйесі арқылы жасалғанын көріп отырмыз. SCADA киберфизикалық жүйелерді бақылау және басқару үшін пайдаланылатындықтан кибершабуылдың негізгі нысанына айналғанын байқадық. Себебі, бұл бизнесті бұзуға, экономикалық және әлеуметтік хаос тудыруға немесе стратегиялық артықшылықтарға қол жеткізуге мүмкіндік береді. SCADA жүйелері көбінесе әлсіз қорғанысқа ие, бұл

оларды диверсия, тыңшылық, бопсалау немесе кибер қаруды сынау үшін оңай нысанаға айналдырады. Соңғы жылдары мемлекеттік нысандарға бағытталған шабуылдар жиілеп бара жатқанын атап өту өте маңызды, бұл киберкеңістіктегі геосаяси тәуекелдердің артып келе жатқанын көрсетеді.

Киберфизикалық жүйелердің қоғамның қауіпсіздігі мен тұрақтылығы үшін маңызды екенін ескерсек, оларды қорғау бүкіл әлем деңгейінде басымдыққа айналуы керек.

Киберфизикалық жүйелердің осалдығы кибер және физикалық компоненттердің интеграциясына байланысты, бұл шабуыл кезінде физикалық зақымдану қаупін арттырады. Ескірген жабдықты пайдалану және жалпы қабылданған қауіпсіздік стандарттарының болмауы мәселені күшейтеді. Сонымен қатар, жүйелердің күрделі архитектурасы, бағдарламалық жасақтама менеджеріндегі осалдықтар және персоналдың жеткіліксіз дайындығы қосымша тәуекелдер тудырады. IoT құрылғыларының көбеюі және желілердің нашар сегменттелуі де осалдыққа ықпал етеді. Біріктірілген бұл факторлар маңызды инфрақұрылымды қорғау үшін киберфизикалық жүйелердің киберқауіпсіздігін жақсарту қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеу тақырыбы бойынша жүргізілген ғылыми жарияланымдарға шолу және талдау барысында киберфизикалық жүйелерге жасалатын кибершабуылдардың кең таралған техникалары мен оларды қорғау әдістері анықталды.

2-кесте. Киберфизикалық жүйелерге жасалатын кибершабуылдардың кең таралған техникалары мен оларды қорғау әдістері

Шабуыл түрі	Қорғаныс шаралары	Әдебиет
Зиянды программа	<ul style="list-style-type: none"> • Антивирустық программаны қолдану және программалық жасақтаманы үнемі жаңарту; • Зиянды программаны таратуды шектеу үшін желіні сегментациялау; • Процестерді бақылау және талдау; • Деректердің тұрақты сақтық көшірмесін жасау. 	(Zhenhua Yu, Hongxia Gao. (2023)), (Gunes V., Peter S., Givargis T. & Vahid F. (2014))
SQL инъекция	<ul style="list-style-type: none"> • Параметрленген сұраныстарды пайдалану; • Қолданушы деректерін тексеру және филтрлеу; • Деректер базасына кіру құқығын шектеу; • Web Application Firewall технологиясын қолдану. 	(Cheung S. (2007)), (Mo Y. (2012))
MITM	<ul style="list-style-type: none"> • Деректерді шифрлауды қолдану(TLS / SSL); • Деректер арналарын қорғау үшін VPN технологиясын енгізу; • Сертификат деңгейіндегі аутентификация процессі; • Аномалияны анықтау және алдын алу механизмдерін қолдану (IDS/IPS). 	(Cardinas A. (2008)), (Ten C. W. (2010))
Спуффинг шабуылы	<ul style="list-style-type: none"> • Көп факторлы аутентификацияны қолдану; • Дереккөздің түпнұсқалығын тексеру үшін цифрлық қолтаңбалар мен сертификаттарды енгізу; • Желілік деректерді шифрлау. 	(He H. & Yan J. (2016)), (Amin S. (2013))
DDoS шабуылы	<ul style="list-style-type: none"> • Жүктемені өңдеу үшін таратылған жүйелерді пайдалану; • DDoS қорғау жүйелерін енгізу; • Трафикті шектеу және күдікті сұрауныстарды филтрлеу; • Жүктеме теңгергіштерін пайдалану. 	(Dhal R. & Kumar S. (2018)), (Xu L. (2014))

Ескерту – автормен құрастырылған

Киберфизикалық жүйелерге жасалған шабуылдарды талдау қауіпсіздікті қамтамасыз етудің әртүрлі тәсілдерін қажет ететінін көрсетеді. Зиянды программалар, SQL инъекция, MITM шабуылы, спуффинг және DDoS шабуылдары сияқты киберфизикалық жүйелерге жасалатын заманауи шабуылдар маңызды инфрақұрылымға үлкен қауіп төндіреді. Аталған шабуылдардың әрқайсысы үшін жүйелердің осалдығын азайтуға және шабуылдаушылардың оларды пайдалануына жол бермеуге бағытталған арнайы қорғаныс шаралары бар.

Зиянды программалар киберфизикалық жүйелер үшін ең көп таралған қауіптердің бірі болып қала береді. Зиянды программалардан қорғаудың негізгі шаралары антивирустық программаны пайдалану және программалық жасақтаманы үнемі жаңарту болып табылады, бұл белгілі осалдықтардың жұмыс істеуіне жол бермейді. Желіні сегменттеу зиянды программалардың жүйеге енген жағдайда зиянды кодтың таралуын шектейді, ал процестерді бақылау және талдау аномалияларды анықтауға көмектеседі. Деректердің үнемі сақтық көшірмесін жасау сонымен қатар оқиғаларды қалпына келтіруді және деректердің жоғалуын азайтуды қамтамасыз ететін маңызды қорғаныс әдісі ретінде қызмет етеді.

SQL инъекция шабуылы киберфизикалық жүйелерге интеграцияланған деректер базасына қауіп төндіреді. Негізгі қорғаныс шарасы зиянды кодтың SQL сұраныстарының енуіне жол бермейтін параметрленген сұраныстарды пайдалану болып табылады. Қолданушы деректерін тексеру және фильтрлеу рұқсат етілмеген сұраныстарды енгізу мүмкіндігін азайтады және деректер базасына кіру құқығын шектеу маңызды ресурстарды қорғайды. Web Application Firewall (WAF) технологиясын енгізу күдікті сұраныстарды фильтрлеу және веб-қосымшалардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету арқылы қосымша қорғаныс қабатын жасайды.

MITM типті шабуылдар киберфизикалық жүйелердің компоненттері арасында берілетін деректердің тұтастығы мен құпиялылығын бұзуы мүмкін. Бұл шабуылды алдын алу үшін деректерді шифрлауды (TLS/SSL) пайдалану және қауіпсіз деректер арналарын құру үшін VPN технологиясын енгізу қажет. Сертификат деңгейіндегі аутентификациялау процесі қолданушылар мен құрылғылардың түпнұсқалығын тексеруді қамтамасыз етеді, ал жүйеге кіруді анықтау және алдын алу механизмдері (IDS/IPS) рұқсатсыз кіру әрекеттерін анықтауға мүмкіндік береді.

Спуффинг шабуылдары киберфизикалық жүйелердегі сәйкестендіру мен аутентификация процесстеріне қауіп төндіреді. Көп факторлы аутентификация дәстүрлі аутентификация әдістерін толықтыра отырып, осы шабуылдардың алдын алудың ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Цифрлы қолтаңбалар мен сертификаттарды пайдалану хабарлама көздерінің түпнұсқалығын тексеру үшін де маңызды, ал желілердегі деректерді шифрлау олардың жалған болу мүмкіндігін азайтады.

DDoS шабуылдары жүйенің ресурстарын шамадан тыс жүктеуге бағытталған және қызмет көрсетуден бас тартуы мүмкін. Мұндай шабуылдардан қорғау үшін жүктемені өңдеу үшін таратылған жүйелер қолданылады, бұл сұраныстарды қайта бөлуге және белгілі бір түйіндерге жүктемені азайтуға мүмкіндік береді. DDoS қорғаныс жүйелерін енгізу күдікті трафикті уақтылы фильтрлеуге мүмкіндік береді, ал жүктеме теңгергіштері серверлер арасында сұраныстардың біркелкі таралуын қамтамасыз етеді, бұл шамадан тыс жүктемені болдырмайды.

Қорғаныс шараларын талдау киберфизикалық жүйелердің кешенді қауіпсіздігі техникалық шешімдерді (шифрлау, желіні сегментациялау, IDS/IPS) және ұйымдастырушылық шараларды (программалық жасақтаманы жаңарту, көп факторлы аутентификация) қамтитын көп деңгейлі тәсілді қажет ететінін көрсетеді. Киберфизикалық жүйелерге жасалған шабуылдардың әрқайсысының жеке қорғаныс әдістерін қажет ететін өзіндік ерекшелік-

тері бар. Бұл шараларды тиімді қолдану киберфизикалық жүйелердің шабуылдарға төзімділігін арттыруға және олардың сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге көмектеседі.

Қорытынды. Киберфизикалық жүйелер заманауи инфрақұрылымның негізгі элементі бола отырып, кибершабуылдардың кең спектріне ұшырайды, бұл кешенді қорғаныс шараларын әзірлеуді және енгізуді талап етеді. Зиянды программалар, SQL инъекция, MITM, спуфинг және DDoS сияқты жалпы шабуылдарды талдау олардың әрқайсысының бірегей сипаттамалары бар екенін және киберфизикалық жүйелердің қауіпсіздігіне қауіп төндіретінін көрсетеді. Мұндай жүйелерді тиімді қорғау компьютерлік желіні сегментациялау, шифрлауды пайдалану, көп факторлы аутентификация, IDS/IPS және программалық жасақтаманы үнемі жаңартуды қоса алғанда, көп деңгейлі техникалық және ұйымдастырушылық шараларды біріктіруді талап етеді. Бұл шараларды енгізу киберфизикалық жүйелердің шабуылдарға төзімділігін арттырады, олардың сенімді жұмысын қамтамасыз етеді және маңызды инфрақұрылым үшін тәуекелдерді азайтады.

Кибершабуылдардың күрделілігі мен жиілігін ескере отырып, киберфизикалық жүйелердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету оларды пайдалану мен дамытуға жауапты мемлекеттік және коммерциялық ұйымдар үшін басымдық болып қала береді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдеді.

Әдебиеттер тізімі

- June 2017. Framework for Cyber-Physical Systems: Volume 1, Overview. National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 1500-201. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-201>.
- Matthew N. O. Sadiku and others. (2017). Cyber-Physical Systems: A Literature Review. European Scientific Journal December 2017 edition Vol.13, No.36 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431. URL: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p52>.
- Abdulmalik Humayed, Jingqiang Lin, Fengjun Li, and Bo Luo. (2017). Cyber-Physical Systems Security – A Survey. Survey of Academic Paper. rXiv:1701.04525v1 [cs.CR].
- Hakan Kayan and others. (2022). Cybersecurity of industrial cyber-physical systems: a review. ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 54, Issue 11s. Article No.: 229.
- Case, D., & Wilhoit, K. (2017). Triton: The First ICS Malware Designed to Attack Safety Instrumented Systems. FireEye Special Report.
- Cardenas, A., Amin, S., & Sastry, S. (2008). Research Challenges for the Security of Control Systems. Proceedings of the 3rd conference on Hot Topics in Security.
- Knapp, E., & Langill, J. (2014). Industrial Network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA, and Other Industrial Control Systems. Elsevier.
- Fisher, D. (2015). Black Energy Malware Used in Ukraine Power Grid Attacks. Kaspersky Lab Report.
- Cheung, S., et al. (2007). Intrusion Detection Systems for SCADA Networks: A Survey and Taxonomy. Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Emerging Security Information.
- Ten, C. W., Liu, C.-C., & Manimaran, G. (2008). Vulnerability Assessment of Cybersecurity for SCADA Systems. IEEE Transactions on Power Systems.
- Lee, R. M., Assante, M. J., & Conway, T. (2016). Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid. SANS Institute.
- Langner, R. (2011). Stuxnet: A Case Study of Cyber Attacks on Industrial Control Systems. IEEE Security & Privacy.
- A Survey on Cyber-Physical Systems Security. Zhenhua Yu, Hongxia Gao. (2023). IEEE Internet of Things Journal PP(99). DOI:10.1109/JIOT.2023.3289625.
- Gunes, V., Peter, S., Givargis, T., & Vahid, F. (2014). Security and Privacy in Cyber-Physical Systems: A Survey. IEEE Internet of Things Journal.
- Cheung, S., et al. (2007). Intrusion Detection Systems for SCADA Networks: A Survey and Taxonomy. Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Emerging Security Information.
- Mo, Y., et al. (2012). Design of Secure Cyber-Physical Systems: A Review. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering.
- Cardinas, A., et al. (2008). Defending Against Cyber Attacks on Industrial Control Systems: Strategies and Countermeasures. IEEE Transactions on Control of Network Systems.
- Ten, C. W., et al. (2010). Challenges for Securing Industrial Control Systems. IEEE Transactions on Power Delivery.

- He, H., & Yan, J. (2016). Cyber-Physical Attacks and Defenses in the Smart Grid: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials.
- Amin, S., et al. (2013). Security of Cyber-Physical Systems: Resilience Against Attacks. IEEE Transactions on Automatic Control.
- Dhal, R., & Kumar, S. (2018). Mitigation Strategies for Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks in Cyber-Physical Systems. Journal of Network and Computer Applications.
- Xu, L., et al. (2014). Securing the Internet of Things: A Case Study in Embedded Systems and Cyber-Physical Systems. IEEE Internet of Things Journal.

Information about authors

Kanzhekeyev Aidyn – Master, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: aidyn-94-10@mail.ru, ORCID:0009-0005-0399-2409, +7 702 846 26 36

Konyrkhanova Asem – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: konyrkhanova_aa@enu.kz, ORCID:0000-0002-4901-8901, +7 771 437 70 79

Tolganbajuly Talant – PhD, «QazCloud» LLP, Astana, Kazakhstan, E-mail: talant.kz@mail.ru, ORCID: 0009-0000-5035-3232, +7 702 524 08 03

БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ИНЖЕНЕРИЯ
ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ
SOFTWARE ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_158
MFTAA 50.41.25

Б.А. Кузенбаев¹, А.А. Кузенбаева², Д.Ж. Алиппаева³, Е.А. Жаксыгельдин⁴

А. Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан

¹E-mail: be kz@bk.ru

²E-mail: ayzhan.81@mail.ru*

³E-mail: alippaewi@mail.ru

⁴E-mail: zhaksygeldin01@mail.ru

**ЕМХАНА ЕМДЕЛУШІЛЕРІ МЕН МЕДИЦИНА ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНЕ АРНАЛҒАН
МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАСЫН ӨЗІРЛЕУ**

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО
ПЕРСОНАЛА И ПАЦИЕНТОВ ПОЛИКЛИНИКИ**

**DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR MEDICAL STAFF
AND POLYCLINIC PATIENTS**

Аңдатпа. Бұл мақалада емхананың медициналық қызметкерлері мен емделушілеріне арналған мобильді қосымшаны өзірлеу үдерісі сипатталған. Қосымша емделушілер мен медициналық қызметкерлер арасындағы өзара әрекетті жақсартуға, қабылдауға жазылу үдерісін оңтайландыруға, талдаулар нәтижелеріне қолжетімділікті қамтамасыз етуге және ауру тарихын басқаруға бағытталған. Мақалада талаптарды талдау, прототип жасау, платформаны таңдау және тестілеуді қоса алғанда, өзірлеудің негізгі кезеңдері көрсетілген. Қосымшаның негізгі функциялары мен медициналық қызмет көрсету сапасын арттырудағы артықшылықтары сипатталған. Жүргізілген тестілеу қосымшаның тиімділігін және пайдаланушылардың қанағаттанушылығын растады.

Түйін сөздер: мобильді қосымша, денсаулық сақтау, медициналық қызметтер, емделушілер, дәрігерлер, технология.

Аннотация. В данной статье описан процесс разработки мобильного приложения для медицинского персонала и пациентов поликлиники. Приложение направлено на улучшение взаимодействия между пациентами и медицинскими работниками, оптимизацию процесса записи на приём, доступ к результатам анализов и управление историей болезни. Предс-

тавланы основные этапы разработки, включая анализ требований, прототипирование, выбор платформы и тестирование. Описаны ключевые функции приложения и его преимущества для улучшения качества медицинского обслуживания. Проведённое тестирование подтвердило эффективность приложения и удовлетворённость пользователей.

Ключевые слова: мобильное приложение, здравоохранение, медицинские услуги, пациенты, врачи, технология.

Abstract. This article describes the process of developing a mobile application for medical staff and patients of a polyclinic. The application is aimed at improving interactions between patients and medical workers, optimizing the appointment booking process, access to test results, and managing medical records. The main stages of development are presented, including requirements analysis, prototyping, platform selection, and testing. The key functions of the application and its benefits for improving the quality of medical care are described. The testing confirmed the effectiveness of the application and user satisfaction.

Keywords: mobile application, healthcare, medical services, patients, doctors, technology.

Kіpіcne. Қазіргі қоғамда мобильді құрылғыларды қолдану үнемі кеңейіп келеді. Жаңа есептеу қуатының пайда болуымен мұндай құрылғылар оларды өнеркәсіпте, медицинада, саудада және жарнамада қолданудың жаңа көрінісін ашады. Медицина саласы да ерекшелік емес. Медицинада ақпараттық технологияның дамуы тоқтаған жоқ. Қазіргі заманда медициналық кәсіпорындардың көп бөлігі медициналық қызметтердің сапасын қамтамасыздандыру үшін көптеген бағдарламалық өнімдерді қолдану үстінде. Осындай құралдардың бірі – емделушілер мен емдеу мекемелері арасында байланыс орнатып ақпаратты қабылдау және тасымалдау, сондай-ақ дәрігерлермен онлайн кеңес беруге мүмкіндік беретін мобильді қосымша болып табылады.

Медициналық ұйымдарға арналған мобильді қосымшаларды құрастыру – бұл қауіпсіздік, ақпараттың сапасы, ресурстарды тиімді пайдалану, техникалық қамтамасыздандыру, икемділік және медицина қызметкерлерімен ынтымақтастық сынды көптеген маңызды факторларды ескеруді талап ететін көп қырлы процесс. Дегенмен, осы маңызды аспектілерді ескере отырып, медициналық ұйымға арналған мобильді қосымша медициналық ақпараттың қолжетімділігін және көрсетілетін қызметтердің сапасын елеулі түрде арттыра алады, бұл медицина саласының алға басуындағы ауқымды қадам болып табылады.



1-сурет. Электрондық денсаулық сақтау саласының компоненттері

Ескерту – автормен құрастырылған

Бұл мақалада емделушілер мен медициналық қызметкерлер үшін арналған мобильді қосымша сарапталады. Қосымша емделушілерге дәрігердің қабылдауына жазылуға, медициналық қызметтер мен жүргізіліп жатқан зерттеулер туралы тиісті ақпарат алуға, сондай-ақ талдау нәтижелері мен басқа да медициналық мәліметтермен танысуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, медициналық қызметкерлер бұл қосымшаны емделушінің медициналық ақпаратын жазу және өңдеу үшін пайдалана алады.

Материалдар мен тәсілдер. Денсаулық сақтауға байланысты мобильді қосымшаларын құрастыру негізінде дәрігерлер мен фармацевттер қауіпсіз және тиімді көмек көрсетуге мүмкіндік алады, ал ем қабылдаушылар емдеуді өз беттерімен бақылаудың арқасында, терапияға деген көзқарастарын өзгертеді (Костромин & Васева, 2021).

Жоғарыда ұсынылған суреттен цифрлық денсаулық сақтау кеңістігінің өте кең екенін көріп отырмыз. Ол бізге ем қабылдаушы халықтың, медициналық қызмет көрсетушінің де игілігі үшін интернет заттар, үлкен деректер және жасанды интеллект сияқты соңғы инновациялық технологиялық үрдістердің маңызды әлеуетін пайдаланады.

Сарапшылардың бағалауы бойынша, бес жылдан кейін чат-боттарды емханалар мен медициналық мекемелердің 80 %-ға жуығы пайдаланады (Аветисянц, 2023). Бүгінгі таңда адамдар әлі де бағдарламалық қосымшалардың көптеген артықшылықтарын қолданғысы келеді, бірақ мекемелер қызметтерді жеткізу үшін пайдаланатын ашық емес әдістерге күмәнмен қарауда. Олар өз деректеріне көбірек иелік етуді және тәжірибені алғысы келеді. 5G мен толықтырылған шындықтың (AR) өркендеуі көшбасшыларды мұны шындыққа айналдыруға мәжбүр етті.

Мобильді денсаулық сақтау қосымшалары күнделікті өміріміздің бір бөлігіне айналды (Рындина, 2022).

Медициналық ұйымдар үшін мобильді қосымшаны құрастыру бірқатар материалдар мен әдістерді пайдалануды талап етеді, олардың ішінде:

- Қолданушы қажеттіліктерін түсіне білу: қосымшаны құрастыруды жасамас бұрын, қолданушылар – ем қабылдаушылар мен медицина мамандарының қажеттіліктерін талдау қажет. Бұл қосымшаның функционалдығын, интерфейсін және ыңғайлылығын анықтайды.

- Прототипті әзірлеу: қолданушылардың қажеттіліктері зерттеліп болғаннан кейін ғана оның ыңғайлылығы мен функционалдылығын тексеруге қол жететін қосымшаның прототипін құрастыру керек.

- Платформаны таңдау үлгісі: берілген тапсырмаларды шешуге ыңғайлы және қолданушылардың мұқтаждықтарын қамтамасыз ете алатын мобильді қосымшаны құрастыруға арналған платформаны таңдау қажет.

- Программалау: мобильді қосымшаны құрастыру үшін таңдап алынған платформаға сәйкес тілде программалау керек.

- Тестілеу: қосымшаны құрастырып аяқтағаннан кейін ғана оның жұмыс жасайтынына және қателердің болмауына көз жеткізу мақсатында тексеру керек.

- Деректердің қорғалуы: мобильді қосымшаны құрастырушылар ем қабылдаушының жеке өмірін қорғап қалу мақсатында және заң талаптарын сақтау мақсатында қосымша арқылы берілген деректердің қауіпсіздігін қамтамасыздандырылулары қажет.

- Қолдау көрсету үлгісі: мобильді қосымша сәтті жұмыс атқаруы үшін жаңартулар мен қателерді түзетумен бірге, қолдау көрсетілуі керек.

Осы материалдар мен берілген әдістер медициналық ұйымдарға арналған мобильді қосымшаны құрастырудың маңызды құрамдас бөліктерінің бірі болып саналады және қосымшаның тиімділігі мен қауіпсіздігіне қол жеткізу мақсатында керек.

Медициналық қызметкерлер мен емхана емделушілері арасындағы өзара әрекетті жеңілдетуге арналған мобильді қосымшаны құру үшін келесі мақсатты әдістер мен тәсілдер қолданылды:

1) Пайдаланушылар талаптарын талдау және функционалды анықтау:

- **Әдіс:** Нысаналы аудитория өкілдерімен (медициналық қызметкерлер мен емделушілер) сұхбаттар мен сауалнамалар жүргізілді. Бұл деректер қосымшаның функционалдық талаптарын анықтауға көмектесті.

- **Тәсіл:** Алынған мәліметтер негізінде негізгі функциялар бөлініп, қабылдауға жазылу, талдаулар нәтижелерін көру, ауру тарихы сияқты мүмкіндіктер анықталды, бұл мүмкіндіктер емделушілер мен дәрігерлер үшін маңызды. Талдау сондай-ақ қабылдауға еске салу хабарламаларын іске асыру қажеттігін көрсетті, бұл медициналық қызметкерлермен өзара әрекетті жақсартып, емделушілердің қанағаттанушылығын арттыруға ықпал етеді.

2) Әзірлеу платформасын таңдау:

- **Әдіс:** Бірнеше жылдам әзірлеу платформалары (no-code/low-code) зерттелгеннен кейін Bubble.io платформасы таңдалды.

- **Таңдау негіздемесі:** Bubble.io интерфейстер мен логиканы код жазбай-ақ тез жасау және өзгерту мүмкіндігін береді, бұл прототип жасауды және тестілеуді жеделдетті. Платформа сондай-ақ емделушілердің медициналық деректерін сақтау және өңдеу үшін маңызды дерекқор құралдарын қолдайды.

3) Прототиптеу және интерфейс әзірлеу:

- **Әдіс:** Әр интерфейс әзірлеу кезеңінде соңғы пайдаланушылар қатысуымен тестілеу жүргізілген итерациялық прототиптеу тәсілі қолданылды.

- **Тәсіл:** Пайдаланушылардың пікірлеріне сүйене отырып, прототипке өзгерістер енгізілді, бұл интерфейсін интуитивтілігін арттырды. Прототиптеу негізгі функционалдан (қабылдауға жазылу, талдаулар нәтижелеріне қолжетімділік) басталып, қосымша функциялар қосу және оңтайландыру арқылы кезең-кезеңімен жүзеге асырылды.

4) Деректер қауіпсіздігін қамтамасыз ету:

- **Әдіс:** Қосымша құпия медициналық деректерді өңдейтін болғандықтан, денсаулық сақтау саласындағы заңдар мен қауіпсіздік стандарттарын ескере отырып, деректерді қорғау талаптарына талдау жүргізілді.

- **Тәсіл:** Деректерді қорғау үшін ақпаратты шифрлау және пайдаланушыларды аутентификациялау функциялары енгізілді, бұл ақпаратқа тек авторландырылған тұлғалардың қол жеткізуін қамтамасыз етеді. Bubble.io платформасы SQL-инъекциялардан қорғау және қолжетімділікті бақылау сияқты қосымша қауіпсіздік шараларын қолдайды, бұл деректердің таралу қаупін азайтады.

5) Тестілеу және оңтайландыру:

- **Әдіс:** Қосымша функционалдылық пен ыңғайлылықты бағалау үшін медициналық қызметкерлер мен емделушілер арасында пайдаланушыға қолайлылық тестілеуінен өтті. Android жүйесіндегі әртүрлі құрылғыларда функционалдық тестілеу де жүргізілді.

- **Тәсіл:** Тестілеу сценарийлері шынайы жағдайларды қамтыды – мысалы, қабылдауға жазылу, кездесуді жою, медициналық деректерді қарау. Енгізілгенге дейінгі және кейінгі мәліметтерді салыстырмалы талдау нәтижесінде қосымша емделушілердің күту уақытын 25 %-ға қысқартып, медициналық ақпаратқа қолжетімділікті жақсартып, пайдаланушылардың қанағаттанушылық деңгейін арттыратыны анықталды.

6) Салыстырмалы талдау және деректер жинау:

- **Әдіс:** Қосымшаның тиімділігін растау үшін енгізуге дейінгі және кейінгі статистикалық деректер жиналды.

- **Тәсіл:** Қабылдауға күту уақыты, тіркеу бөліміне жүгінулер саны және емделушілердің қанағаттанушылық деңгейі сияқты көрсеткіштер тіркелді. Бұл тәсіл қосымшаның оң әсерін бағалауға және емханамен өзара әрекеттің дәстүрлі әдістерімен салыстырғанда оның артықшылықтарын көрсетуге мүмкіндік берді (Дадаева и др., 2021).

Нәтижелер және оларды талқылау. Осы тақырыпты жазу барысында Қазақстанның заманауи медицина саласында бұрыннан қолданыста бар және жұмыс жасап тұрған Damumed қосымшасын, Денсаулық сақтау министрлігі Республикалық электронды денсаулық сақтау орталығымен бірігіп, Цифрлық даму министрлігімен бірге іске қосқан «eDensaulыq» қызметі; «ҚР инновациялық және аэроғарыш өнеркәсібі» және «Ұлттық ақпараттық технологиялар» АҚ; DariKz қосымшалары зерттеліп талдаулар жүргізілді. Талдау жүргізудің нәтижесінде, онда бірқатар кемшіліктер анықталды.

Мысал ретінде DamuMed алынды. Бұл қосымша емделушілер үшін жасалған және кең ауқымды қызметтерді ұсынады, мысалы, дәрігерге қабылдауға жазылу, онлайн кеңес беру, талдаулар нәтижелеріне қолжетімділік және ауру тарихын басқару.

DariKz – Қазақстан республикасында тіркеуде тұрған дәрілік заттар туралы толық мәліметті, оның ішінде медициналық қолдануға байланысты нұсқаулықты, қаптаманың макетін, сертификаттарын және аналогтар тізімін көруге мүмкіндік береді. Қосымшаны қолдану оңай (Мурадянц и др., 2021). Дегенмен, қосымша сөзбе-сөз мағынада медициналық емес және шектеулі функционалдылыққа ие.

Қосымшаларындағы негізгі функциялар:

Damumed:

- Дәрігерге қабылдауға жазылу.
- Дәрігерлермен онлайн кеңес беру.
- Медициналық ақпаратқа, оның ішінде талдаулар нәтижелеріне және ауру тарихына қолжетімділік.
- Визиттер мен басқа да медициналық оқиғалар туралы еске салу жүйесі.
- Емделушілердің кері байланысын алу механизмі, бұл қызмет көрсету сапасын жақсартуға көмектеседі.

DariKz:

- Дәрі-дәрмектер туралы ақпарат іздеу, соның ішінде қолдану жөніндегі нұсқаулық, мүмкін болатын аналогтар мен сертификаттар.
- Дәрі-дәрмектердің құрамын және дозасын көрсету, бұл дәрігерлер мен емделушілер үшін пайдалы.
- Медициналық персоналмен немесе дәрігерге жазылу жүйесімен өзара әрекеттесудің жоқтығы.

Артықшылықтар:

Damumed:

- Кешенділік: Кең ауқымды қызметтер ұсынады, бұл емделушілер үшін тұрақты пайдалану үшін ыңғайлы етеді.
- Жоғары танымалдылық және Қазақстандағы барлық пайдаланушылар үшін қолжетімділік.
- Қолдануға ыңғайлы және интуитивті интерфейс: Емделушілер қажетті ақпаратты оңай табуға және қызметтерді пайдалану жеңілдігіне ие болады.

DariKz:

- Дәрілік құралдарға назар аудару: Бұл қосымша Қазақстанда тіркелген дәрі-дәрмектер туралы толық ақпаратты ұсынатын бірден-бір ресурс, сертификаттау туралы толық мәліметтермен.
- Қарапайым пайдалану: Интерфейс ақпаратты іздеу және қарау үшін арнайы әзірленген, бұл пайдаланушыларға қосымшаны тез игеруге мүмкіндік береді.

Кемшіліктер:

Damumed:

- Медициналық мекемелер мен мамандардың шектеулі тізімі: Бұл кейбір емделушілерге қажетті қызметтерге қол жеткізуді қиындатады.

• Қабылдауға жазылу уақытынан нақты қабылдау уақыттарының сәйкес келмеуі туралы кейбір пайдаланушылардың шағымдары: Бұл қолайсыздық туғызады.

• Тұрақты интернет байланысына тәуелділік: Бұл алыс немесе интернет қамтуы әлсіз аудандарда қосымшаны пайдалану қиындық туғызуы мүмкін.

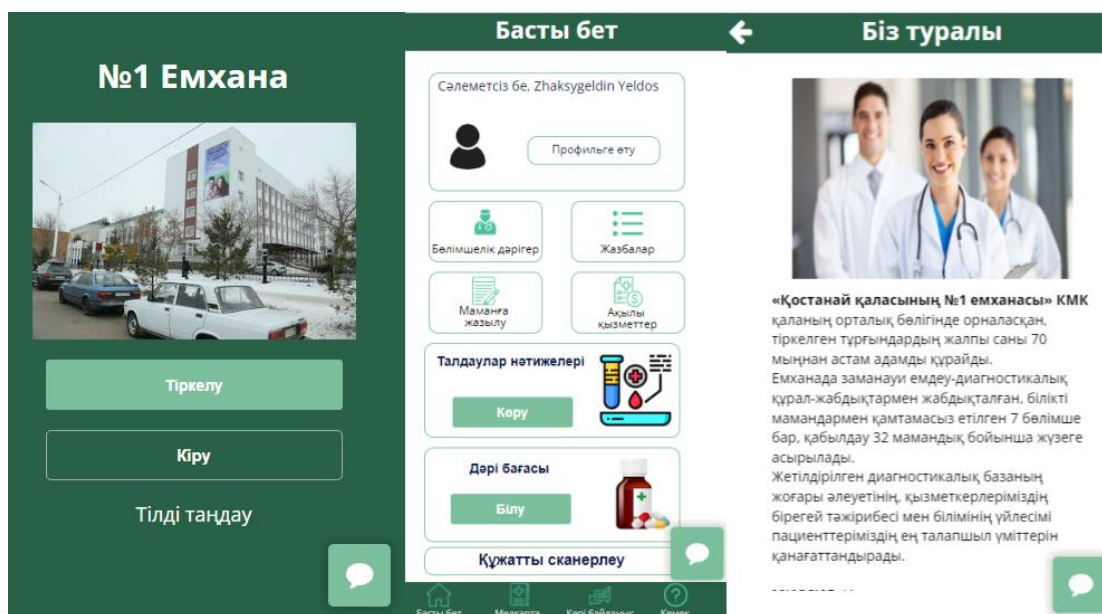
DariKz:

• Шектеулі функционалдық: Қосымша негізінен дәрі-дәрмектер туралы анықтама ақпаратын ұсынады, бірақ дәрігерге жазылуға немесе медициналық деректерге қол жеткізуге мүмкіндік бермейді.

• Емделушілердің денсаулығын басқаруға арналған кешенді шешім іздейтіндерге толық қанағаттанарлық болмайды.

Жоғарыда аталған талдауға негізделе отырып, екі қосымша да әртүрлі функцияларды орындап, өздерінің күшті және әлсіз жақтарына ие екені анық байқалады (Голощапов, 2021). Damed мединалық персоналмен өзара әрекеттесу үшін кешенді қызметтер жиынтығын ұсынғанымен, кейбір кемшіліктері бар, мысалы, қолжетімді мамандар мен медициналық мекемелер санының шектеулілігі. DariKz болса, дәрі-дәрмектер туралы ерекше ақпарат ұсынады, бірақ қабылдаулар мен медициналық деректерді басқару функцияларын қолдамайды (Климашин, 2021).

Жоғарыда айтылғандардың барлығының нәтижесінде мақалада қарастырылып отырған мобильді қосымшасы дайындалды. Бұл қосымша Қостанай қаласында орналасқан № 1 Емхананың медицина қызметкерлері мен ем қабылдаушылары үшін жасалынды (2-сурет).



2-сурет. «Емхана» қосымшасы

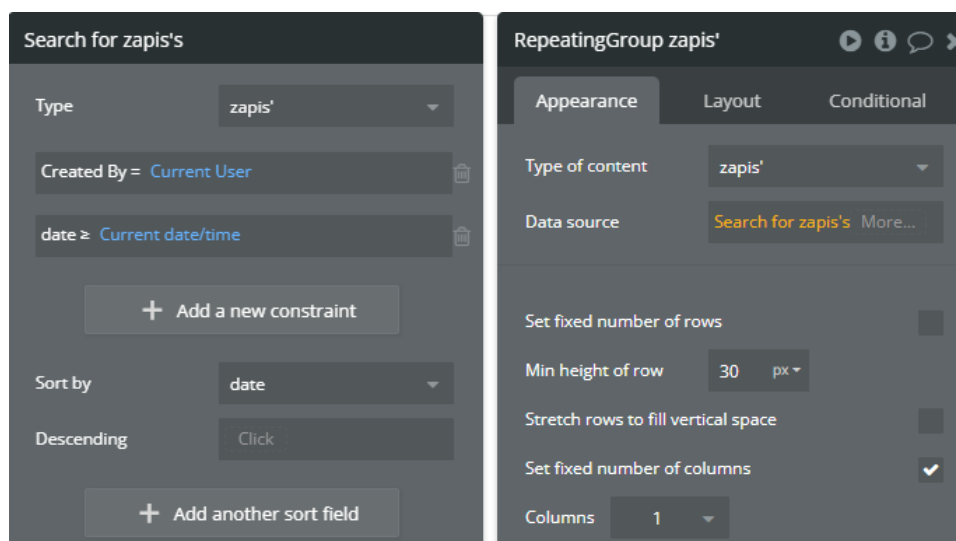
Ескерту – автормен құрастырылған

Құрастырылған қосымша жасаған ортасы ретінде Android операциялық жүйесі таңдалып алынды. Айтылған талаптардың соңғысына, атап айтқанда, қолдау көрсетілетін құрылғылардың ауқымын барынша арттыруға байланысты мүмкіндігі бар болғандықтан алынып отыр. Мобильді операциялық жүйелер нарығындағы Android үлесі 74,43 %, ал iOS 24,99 % (Гордеев, 2021). Қалған 0,58 % басқа операциялық жүйелерге тиісті, оларда берілген тізім осы жұмыстың аясынан тыс.

Қосымшаны жасаудың негізгі құралы ретінде Bubble.io веб-платформасы таңдалып алынды. Bubble.io – бұл программалаусыз веб-қосымшаларды құрастыруға арналған веб-платформа (Мартишин, 2021). Ол бетке апаруға болатын блоктарды, сондай-ақ әртүрлі дизайн элементтерін, деректер базасын және қосымша логикасын қолданып күрделі веб-қосымшаларды құрастыруға мүмкіндік жасайды.

Атап айтқанда, белсенді жазбаларды көрсетуге арналған Қайталанатын топты орнатылды (3-сурет).

Data source (деректер көзі) - талдау, өңдеу, көрсету және т.б. сияқты әртүрлі мақсаттар үшін пайдалануға болатын деректерді береді (Barlybayev et al., 2019). Деректер көзі ретінде Search for zapis's (Zapis' дерекқорында іздеу). Оның ішінде шарттар анықталды: Created by (кім жасаған) = Current User (ағымдағы пайдаланушы) және date \geq Current date/time (ағымдағы күн/уақыт).



3-сурет. Қайталанатын топ параметрлері терезесі

Ескерту – (Стасьшин, 2021) негізінде құрастырылған

Нәтижесінде Zapis' дерекқорында деректерді іздейтін жұмыс тобы болады, мұнда Created by = Current user, date \geq Current date/time және өсу реті бойынша сұрыпталған жазбалар (4-сурет).

Мұнда сіз белсенді жазбаларыңызды көре аласыз

10:00	02/05/23	Краснов Д.М.
10:30	03/05/23	Краснов Д.М.
11:00	10/05/23	Краснов Д.М.
10:30	15/05/23	Краснов Д.М.

4-сурет. Белсенді жазбалар

Ескерту – автормен құрастырылған

Қосымша ең алдымен ем қабылдаушы мен дәрігер арасындағы байланыс үшін құрастырылған. Бұл денсаулық сақтау үшін мобильді қосымшаларды құрастырудың ең танымал түрлерінің бірі болып табылады. Қосымша пайдаланушыларға маман дәрігерлерді тауып алуға, қабылдап жазылуларына, бейнеқоңырауларды ұйымдастыруға көмектеседі. Осындай қызметтер дәрігерлер мен ем қабылдаушылар арасындағы қашықтықты қамтамасыздандыру арқылы ем қабылдаушының қатысуын және медициналық қызмет көрсетушіге деген адалдығын арттыра түседі.

Дәрігерлердің сұралымы бойынша мобильді қосымша төмендегідей мүмкіндіктерді қарастырды:

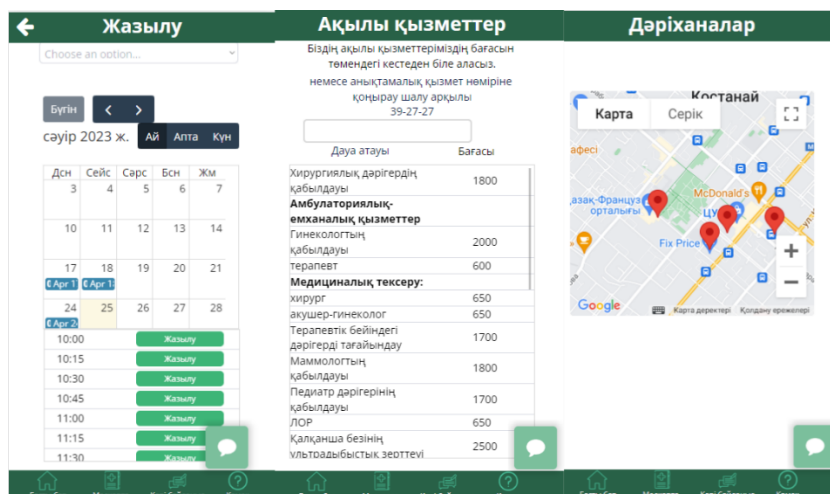
- кірістірілген хабарлама жүйелері;
- талдау нәтижелерін қаралуы;
- дәрілік заттар мен рецепттердің іздеуі;
- белсенді жазу нұсқаларын немесе жазу тарихын қарау;
- виртуалды күтілім залы;
- дәрігерге уақытылы жазылу;
- ақылы қызметтердің бағаларын білу.

Мобильді қосымшаны құрастыру уақытында тағы бір маңызды қауіпсіздік пен мәліметтерді қорғау талаптары ескерілді. Денсаулық сақтау мекемелері көбінесе ем қабылдаушылардың көптеген құпия деректерін, олардың ішінде жеке ақпаратты, ауру тарихын, сынақ нәтижелерін және т.б. сақтайды. Сондықтан деректерді сенімді қорғауды қамтамасыз ету және ақпараттың ағып кетуіне жол бермеу маңызды болды (Glazer J, 2021; Прохоренок, 2019).

Осы мақсатта әртүрлі қауіпсіздік шаралары қолданылды, соның ішінде деректерді шифрлау, пайдаланушының аутентификациясы және авторизациясы, құпия ақпаратқа тек тиісті тұлғалардың қол жеткізуін шектеу, сондай-ақ тұрақты осалдықты тексеру және қауіпсіздік жаңартулары (Ventola, 2014; Boulos et al., 2014).

Қосымшаны әзірлеу және тестілеу барысында келесі нәтижелер алынды:

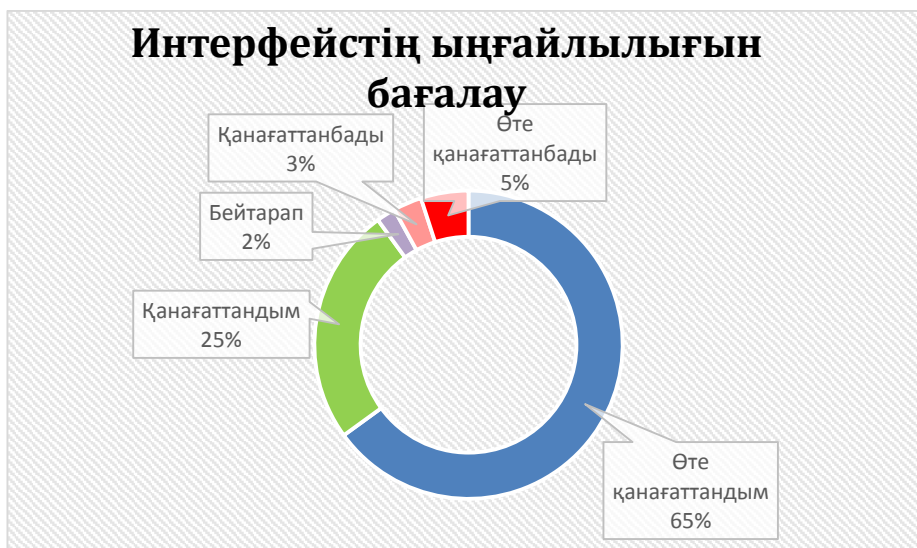
Қосымша талаптарға сәйкес негізгі функцияларды, мысалы, дәрігерге қабылдауға жазылуды, медициналық деректерді қарауды, қабылдаулар туралы хабарламаларды және талдаулар нәтижелерін қамтамасыз етті. Бұл емделушілерге медициналық қызметтерге ыңғайлы әрі жылдам қолжетімділік береді (5-сурет).



5-сурет. «Емхана» қосымшасы

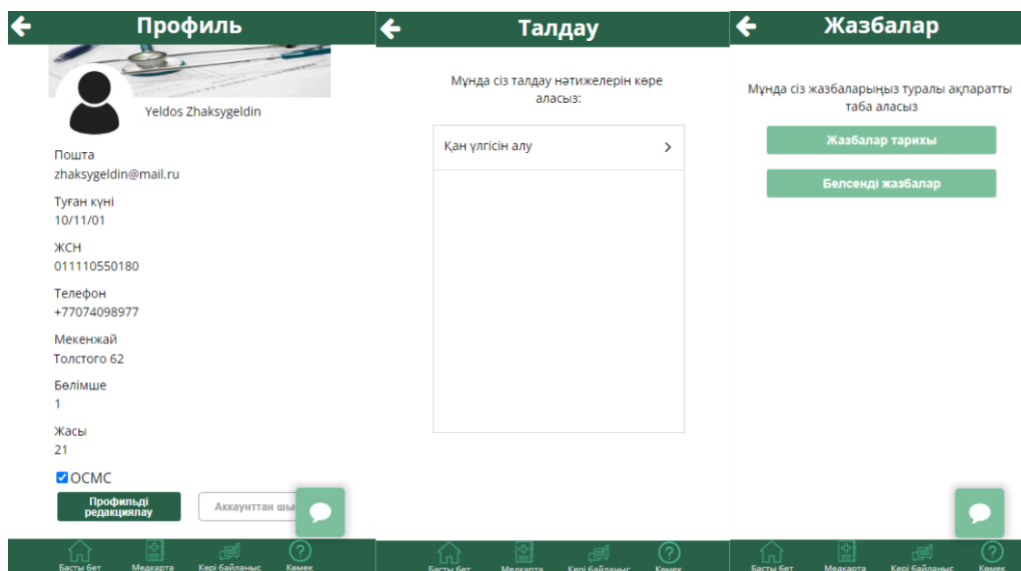
Ескерту – автормен құрастырылған

Интерфейсті тестілеу нәтижелері бойынша, 85 % пайдаланушылар дизайнның интуитивтілігін атап өтсе, 90 % емделушілер қабылдауға жазылу функциясының ыңғайлылығын бағалады (Free et al., 2013; Avancha et al., 2012). Бұл қосымшаның мақсатты аудиторияның талаптарына сай екенін растайды (6-сурет).



6-сурет. Интерфейсті пайдалану ыңғайлылығын бағалау нәтижелері
Ескерту – автормен құрастырылған

Қосымша қабылдауға жазылу және емделушілер мен дәрігерлер арасындағы ақпарат алмасу процесін автоматтандырып, жазбаларды өңдеу уақытын қысқартуға және тіркеу бөлімінің жүктемесін 30 %-ға азайтуға мүмкіндік берді (7-сурет).



7-сурет. «Емхана» қосымшасы
Ескерту – автормен құрастырылған

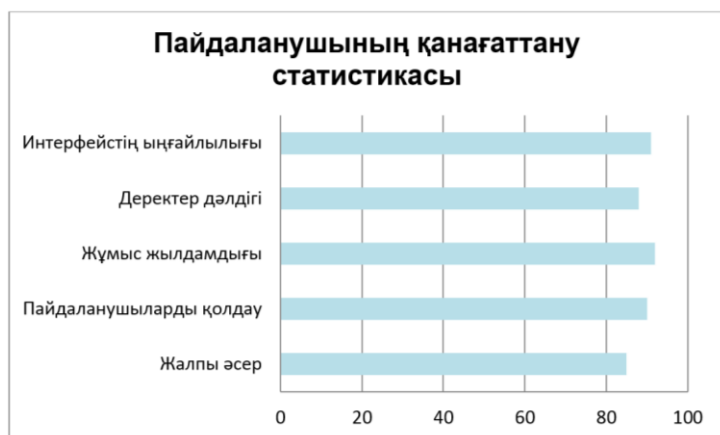
Қосымшаны енгізу емделушілердің орташа күту уақытын 25 %-ға қысқартуға әкелді, себебі қабылдауға жазылу енді тіркеу бөліміне баруды қажет етпейді. Емделушілер өз қабылдауы туралы бірден хабарлама алады, бұл қызмет көрсету сапасын жақсартады (8-сурет).



8-сурет. Емханада орташа күту уақытын қысқаруы

Ескерту – автормен құрастырылған

Тестілеу барысында пайдаланушылар арасында сауалнама жүргізіліп, 92 % респонденттер қосымшаны басқа емделушілерге ұсынуға дайын екенін білдірді. Пайдаланушылар қосымшаның медициналық мекемелермен өзара әрекетін жақсартуға көмектескенін атап өтті (9-сурет).



9-сурет. Қосымшаның негізгі функциялары бойынша пайдаланушылардың қанағаттану статистикасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Қосымшаны тестілеу екі кезеңнен өткізілді: функционалдық тестілеу және қолайлықты тестілеу. Функционалдық тестілеу кезеңінде негізгі функциялар тексерілді, мысалы, қабылдауға жазылу, талдаулар нәтижелеріне қолжетімділік және хабарламалар. Тестілеуге 50 емделуші және 10 медициналық қызметкер қатысып, олар Android операциялық жүйесімен жұмыс істейтін құрылғыларда қосымшаның қолайлылығы мен функционалдығын бағалады. Тестілік сценарийлерде қабылдауға жазылу, ауру тарихын қарау және хабарламалар жүйесін пайдалану қарастырылды.

Тестілеу барысында алынған мәліметтер:

- Қабылдауға жазылудың орташа уақыты 2 минутты құрады, бұл дәстүрлі жүйеге қарағанда 50 % жылдам.
- Интерфейспен қанағаттану деңгейі 90 % болды.
- Қосымшаның стандартты операциялар кезінде орташа жауап уақыты 1,5 секундты құрады.

Қосымшадағы басты шектеулердің бірі – ғаламтор қосылымының болуын айтуға болады. Қосымшаны қолданған кезде тұрақты ғаламтор қосылымы керек, бұл кейбір қолданушылар үшін, әсіресе шалғай аймақтарда немесе желіні қамтуы нашар аймақтарға саяхаттау кезінде қиындықтар тудырулары мүмкін (Седлецкий, 2020; Бирюков, 2018). Сондай-ақ, барлық ем қабылдаушыларда мобильді құрылғы немесе олардың иелігі туралы білімнің болмауы мүмкін, бұл қосымшаны қолдануда біршама кедергі туғызуы мүмкін.

Сондай-ақ, кейбір қолданушыларда мобильді қосымшаларды қолдану барысында өздерінің медициналық деректерінің қауіпсіздігі мен құпиялылығына қатысты алаңдаушылық туғызуы мүмкін екенін атап өткенде жөн. Бұлардың алдын алу үшін жеке мәліметтерді қорғауға және медициналық жазбалардың құпиялылығын ерекше назарда ұстау қажет.

Қорытынды. Медициналық мекемеге арналған мобильді қосымшаны әзірлеу нәтижесінде емделушілерге қызмет көрсету сапасының айтарлықтай жақсаруына, қызметкерлер жұмысының тиімділігінің артуына және мекемедегі процестерді бақылаудың жақсаруына қол жеткізілді. Атап айтатын болсақ, қосымша медициналық ұйымдарда қазіргі заманғы заманауи технологиялар трендіне қалуға және денсаулық сақтау нарығындағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік туғызады.

Мобильді қосымшаны әзірлеудің нәтижелері оның емханада қызмет көрсету сапасын жақсартудағы маңыздылығын көрсетті. Қабылдауға жазылу және медициналық деректерді басқару жүйесін енгізу тек емделушілердің күту уақытын қысқартуға ғана емес, сондай-ақ медициналық қызметкерлердің жұмыс тиімділігін арттыруға да мүмкіндік берді.

Авторлардың үлесі медициналық ақпаратты басқаруға арналған ыңғайлы және сенімді құралды жасауда, сондай-ақ емханадағы коммуникацияны жақсартуда жатыр, бұл ұқсас шешімдерді басқа медициналық мекемелерде қолдану үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Осы нәтижелер цифрлық медициналық қызметтерді цифрландыру және емделушілермен өзара әрекеттесуді оңтайландыру саласында қосымша зерттеулер жүргізу үшін негіз бола алады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Костромин С.Н., Васева Е.С. (2021) Проектирование и разработка мобильного приложения «Сведения о сотрудниках» // Научное обозрение. Технические науки. – № 3. – С. 79-84 // Kostromin S.N., Vaseva E.S. (2021) Design and development of the mobile application «Information about employees» / Scientific review. Technical sciences. – No. 3. – P. 79-84.
- Аветисянц С. (2023) Разработка мобильных приложений для медицинских центров, медклиник [Электронный ресурс] // Avetisyants S. (2023) Development of mobile applications for medical centers, medical clinics [Electronic resource].
- Рындина С. В. (2022) Интеллектуальные информационные системы и технологии: smart-устройства и мобильные приложения: учеб.-метод. пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ // Ryndina S.V. (2022) Intelligent information systems and technologies: smart devices and mobile applications: textbook. - method. manual. Penza: Publishing house of PSU.
- Дадаева В.А., Тельхигова А.А., Ким О.Т., Драпкина О.М. (2021) Мобильные медицинские приложения: возможности, проблемы и перспективы. ПМ.24(7):96-102 // Dadaeva V.A., Telkhigova A.A., Kim O.T., Drapkina O.M. (2021) Mobile medical applications: opportunities, problems and prospects. PM. 24(7): 96 102.

- Мурадянц А.А., Никитин П.В., Шостак Н.А. (2021) Мобильное здравоохранение: возможности, проблемы, перспективы. – № 4. – С. 13-21 // Muradyants A.A., Nikitin P.V., Shostak N.A. (2021) Mobile healthcare: opportunities, problems, prospects // No. 4. – Pp. 13-21.
- Голощапов А. (2021) Программирование для мобильных устройств. – Петербург, 448 с. // Goloshchapov A. (2021) Programming for mobile devices / A. Goloshchapov. St. Petersburg, 448 s.
- Климашин М.К. (2021) Разработка программного приложения для мероприятий организации / Севастопольский государственный университет. – Севастополь, 163 с. // Klimashin, M.K. (2021) Development of a software application for organization events / Sevastopol State University. – Sevastopol, 2021. – 163 p.
- Гордеев С.И. (2021) Организация баз данных в 2 ч. Часть 1: учебник для среднего профессионального образования – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт. – 310 с. // Gordeev, S.I. (2021) Organization of databases in 2 hours. Part 1: textbook for secondary vocational education – 2nd ed., ispr. and add. – Moscow: Yurait Publishing House. – 310 p
- Мартышин С.А. (2021) Базы данных. Практическое применение СУБД SQL- и NoSQL-типа для проектирования информационных систем: учебное пособие / Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М. – 368 с. // Martishin, S.A. (2021) Databases. Practical application of SQL- and NoSQL-type DBMS for the design of information systems: a textbook / S.A. Martishin, V.L. Simonov, M.V. Khrapchenko. — Moscow: FORUM: INFRA-M, 2021. – 368 p.
- Стасышин, В.М. (2021) Базы данных: технологии доступа: учебное пособие для среднего профессионального образования. – Москва: Издательство Юрайт. – 164 с. // Stasyshin, V.M. Databases: access technologies: a textbook for secondary vocational education – Moscow: Yurait Publishing House, 2021. – 164 p.
- Barlybayev A., Abdymanapov S.A., Kuzenbaev B.A. (2019) Quality Evaluation Fuzzy Method of Automated Control Systems on the LMS Example. IEEE Access, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.2943000
- Glazer J. (2021) Multiplayer games. Development of network applications / St. Petersburg, 152 p.
- Прохоренок Н.А. (2019) Разработка приложений. – СПб.: BHV. – 832 с. // Prokhorenok N.A. (2019) Application development / N.A. Prokhorenok. – St. Petersburg: BHV. – 832 p.
- Ventola C.L. (2014). Mobile devices and apps for health care professionals: uses and benefits. Pharmacy and Therapeutics, 39(5), 356-364.
- Boulos MN, Brewer AC, Karimkhani C, Buller DB, Dellavalle RP. (2014) Mobile medical and health apps: state of the art, concerns, regulatory control and certification. Online J Public Health Inform. 5(3):229. doi: 10.5210/ojphi.v5i3.4814.
- Free C, Phillips G, Galli L, Watson L, Felix L, Edwards P, Patel V, Haines A. (2013) The effectiveness of mobile-health technology-based health behaviour change or disease management interventions for health care consumers: a systematic review. PLoS Med. 10(1):e1001362. doi: 10.1371/journal.pmed.1001362.
- Avancha S., Baxi A., & Kotz D. (2012). Privacy in mobile technology for personal healthcare. ACM Computing Surveys (CSUR), 45(1), 1-54. DOI: 10.1145/2379776.2379788.
- Седлецкий К.В. (2020) Анализ технологий разработки мобильных приложений / Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – № 1 (22). – С. 136-138 // Sedleckij K.V. (2020) Analiz tehnologij razrabotki mobil'nyh prilozhenij // Molodezhnyy vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehniceskogo universiteta. № 1 (22). – S. 136-138.
- Бирюков С.В. (2018) Анализ стратегий тестирования программного обеспечения / Известия Южного федерального университета. Технические науки. – № 1 (78). – С. 59-63 // Birjukov S.V. (2018) Analiz strategij testirovaniya programmnoo obespechenija // Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki. № 1 (78). – S. 59-63.

Information about authors

Kuzenbayev Batyrkhan Amanzholovich – doctor PhD, Kostanay regional university named after. A. Baitursynuly, г. Костанай, Казахстан, E-mail: bekz@bk.ru, ORCID:0000-0002-5680-9912, +7 700 726 42 71

Kuzenbaeva Aizhan Aidarkhanovna – master of Engineering Science, Kostanay regional university named after. A. Baitursynuly, Qostanay, Kazakhstan, E-mail: Ayzhan.81@mail.ru, ORCID: 0009-0003-0020-2323, +7 701 857 18 34

Alippayeva Dinara Zhankabylovna – master's degree, Kostanay regional university named after. A. Baitursynuly, Kostanay, Kazakhstan, E-mail: alippaewa@gmail.com, ORCID: 0009-0000-9024-0937 +7 708 890 79 85

Zhaxygeldin Yeldos Amangeldievich – master's student, Kostanay regional university named after. A. Baitursynuly, Qostanay, Kazakhstan, E-mail: zhaksygeldin01@mail.ru, ORCID: 0009-0008-2456-9521, +7 707 409 89 77

АВТОМАТИКА. ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ
АВТОМАТИКА. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
AUTOMATION. COMPUTER TECHNOLOGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_170
MFTAA 50.43.15

К.С. Кульниязова¹, Л.Г. Рзаева², Г.А. Абитова², О.К. Аймухамбетов², Н.К. Ердыбаева³

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

E-mail: k_korlan@mail.ru

²Astana IT University, Астана, Қазақстан

E-mail: l.rzayeva@astanait.edu.kz

*E-mail: abitova.gul@gmail.com**

E-mail: aimukhambetov.o@gmail.com

³Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

E-mail: nyerdybayeva@ektu.kz

СУДЫ ЭЛЕКТР ЭРОЗИЯСЫН ТАЗАРТУ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕССОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОНОЙ
ОЧИСТКОЙ ВОДЫ
CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF ELECTROEROSION
WATER PURIFICATION

Аңдатпа. Табиғи және өндірістік ағынды суларды зиянды қоспалардан тазарту өзекті міндет болып табылады. Суды тазартудың классикалық әдістерінің бірқатар кемшіліктері бар: реагенттердің жоғары шығыны; мембраналарды мезгіл-мезгіл ауыстыру қажеттілігі; мембраналар мен реагенттердің жоғары құны; жабдықты орналастыру үшін үлкен аумақтар қажет; су көздерін улы заттар мен еріген тұздардан тиімді тазарту мүмкін еместігі. Соңғы уақытта суды тазарту үшін электр энергиясын қолдану ерекше қызығушылық тудыруда, соның ішінде суды электроэрозиялық тазарту. Тазарту процесін басқару және тиімділігін арттыру үшін басқару жүйелері жасалады. Мақалада өзірленген басқару жүйесі суды электроэрозиялық тазарту процесінің сызықтық емес моделіне негізделген. Модельдің сызықтануы PID реттеуімен басқару жүйесін құруға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: суды электроэрозиялық тазарту, басқару жүйулер, үйін сөздер, PID реттегіші.

Аннотация. Очистка природных и промышленных сточных вод от вредных примесей является актуальной задачей. Классические способы очистки воды обладают рядом недостатков: высокий расход реагентов; необходимость периодической замены мембран; высокая стоимость мембран и реагентов; требуются большие площади, для размещения оборудования; невозможность эффективно очищать водные источники от токсичных веществ и растворенных солей. В последнее время, особый интерес вызывает применение электрической энергии для очистки воды, в том числе, электроэрозионная очистка воды. Для управления и повышения эффективности процесса очистки разрабатываются системы управления. Разработанная в статье система управления построена на основе нелинейной модели процесса электроэрозионной очистки воды. Линеаризация модели позволила создать систему управления с PID-регулированием.

Ключевые слова: электроэрозионная очистка воды, системы управления, PID-регулятор.

Abstract. Purification of natural and industrial wastewater from harmful impurities is an urgent task. Classical methods of water purification have a number of disadvantages: high consumption of reagents; the need for periodic replacement of membranes; high cost of membranes and reagents; large areas are required to accommodate equipment; the inability to effectively purify water sources from toxic substances and dissolved salts. Recently, the use of electric energy for water purification, including electroerosive water purification, has been of particular interest. Management systems are being developed to manage and improve the efficiency of the cleaning process. The control system developed in the article is based on a nonlinear model of the process of electroerosive water purification. The linearization of the model made it possible to create a control system with PID regulation.

Keywords: electroerosive water treatment, control systems, PID controller.

Kipicne. Суды тазартуға арналған электроэрозиялық тазарту әдісі салыстырмалы түрде жаңа және жақсы зерттелмеген. Ол тазартылған судағы электродтар арасында пайда болатын жоғары вольтты импульстарды қолдануға негізделген. Осы процестің нәтижесінде судағы лақтаушы бөлшектерді механикалық түрде ыдырататын судағы металл шарлардың бетінде жарылғыш разрядтар пайда болады. Бұл процесс судан зиянды қоспаларды кетіре алатын көптеген иондар мен радикалдардың пайда болуына әкеледі.

Бұл әдістің артықшылықтарының бірі суды әртүрлі лақтаушы заттардан, соның ішінде бактериялардан, вирустардан, органикалық және бейорганикалық қосылыстардан тазартудағы жоғары тиімділігі болып табылады. Дегенмен, әдістің тиімділігі лақтаушы заттардың концентрациясы, олардың мөлшері мен пішіні, сондай-ақ қысым мен өңдеу уақыты сияқты параметрлерге байланысты болуы мүмкін.

Әдістің салыстырмалы түрде төмен энергия сыйымдылығына қарамастан, оның экономикалық тиімділігіне әсер етуі мүмкін арнайы жабдықты пайдалану қажет. Сонымен қатар, әдіс суда металл моншақтардың болуын талап етеді, олар өздігінен лақтаушы болуы мүмкін.

Тұтастай алғанда, суды тазартуға арналған электроэрозиялық тазарту әдісі суды тазартудың неғұрлым тиімді және үнемді әдістеріне әкелуі мүмкін зерттеудің перспективасы болып табылады.

Әдебиеттерге шолу. Су көздерін зиянды қоспалардан тазарту өзекті міндет болып табылады. Бұл мәселеге арналған басылымдар саны әр жылмен бірге өсуде (Akter, 2017, Delcolle, 2017). Бұл мәселені шешу үшін суды тазартудың әртүрлі және танымал әдістері қолданылады: кері осмос, коагуляция, ион алмасу тұндыру, аэрация, тұндыру және т.б. (Тменова Т., 2019). Аталған әдістердің әрқайсысының бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Елеулі кемшіліктердің ішінде мыналарды атап өтуге болады: реагенттердің жоғары шығыны; мембраналарды мезгіл-мезгіл ауыстыру қажеттілігі; мембраналар мен реагенттердің жоғары құны; жабдықты орналастыру үшін үлкен аумақтар қажет; және ең маңызды кемшілігі – бұл әдістердің көмегімен су көздерін еріген құрамдағы зиянды қоспалардан тазарту іс жүзінде мүмкін емес (немесе тиімді емес) судағы жағдай.

Жақында, зерттеушілердің қызығушылығы су көздерін тазарту үшін электр энергиясын қолдануға бағытталған (Moilanen, 2019; Rehman, 2015). Электр энергиясын пайдалануға негізделген осындай әдістердің бірі – тазартылатын судағы металл шарлар қабатын электроэрозиялық өңдеу арқылы суды тазарту. Суды тазарту үшін электр эрозиясын қолданудың қызығушылығы-бұл әдіс арзан шикізатқа негізделген (металл шарлар) және салыстырмалы түрде төмен энергия сыйымдылығымен сипатталады. Суды тазартудың электроэрозиялық әдісін қолданудың негізгі бағыты өнеркәсіптік ағынды суларды оларда еріген заттардан тазарту болып табылады.

Сонымен, жұмыста машина жасау кәсіпорындарының ағынды суларын тазарту үшін суды тазартудың электроэрозиялық әдісін қолдану ұсынылады, (Sechi, 2016) мақалада жылу желілерінің су тазарту жүйелерінде суды тазартудың электроэрозиялық әдісін қолдану перспективалары сипатталған, басылымдарда (Krinityn, 2016) өнеркәсіптік ағынды суларды ауыр металл иондарынан суды тазартудың электроэрозиялық әдісі арқылы тазарту бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Сонымен қатар, соңғы жылдардағы зерттеулер табиғи суларды құрамындағы гуминдік заттар, силикаттар және ауыр металл иондары сияқты зиянды қоспалардан тазарту үшін электроэрозия әдісін сәтті қолдануға арналған, олар физика-химиялық әсерлерге төзімді коллоидты ерітінділер түзе алады (Гао, 2020).

Суды тазарту үшін электроэрозия процесін қолданудың негізгі мақсаты-суда еритін зиянды қоспаларды ерімейтін тұнбаға айналдыру, содан кейін оны тұндыру және сүзу сияқты классикалық әдістер арқылы судан шығару (Надеждин, 2020).

Материалдар және зерттеу әдістері. Электроэрозиялық су тазарту қондырғысын басқару жүйесін құру үшін басқару объектісі түріндегі процестің математикалық моделін жасау қажет. Бұл кіріс және шығыс айнымалылар арасындағы байланысты бағалау және процестің ақпараттық моделін құру арқылы жүзеге асырылуы мүмкін (Nadezhdin I.S., Parasidero D., 2016). Суды электроэрозиялық тазартуда жүретін процестердің күрделілігіне байланысты процестің ақпараттық құрылымы электроэрозиялық суды тазарту қондырғысын, тұндырғышты және сүзгіні қамтитын блоктар немесе құрылғылар жиынтығы түрінде көрсетілді. Процестің математикалық моделін жасау үшін әрбір блоктың (аппараттың) кіріс және шығыс айнымалыларын анықтау, әрбір блоктың ішінде болып жатқан физикалық процестерді сипаттау, блоктардың кіріс және шығыс айнымалылары арасындағы байланысты орнату қажет.

Мысалы, электроэрозиялық су тазарту процесінде су тазарту қондырғысының кіріс айнымалылары болуы мүмкін: кернеу, импульс жиілігі, шар диаметрі, шардың айналу жылдамдығы, су температурасы, судағы ластаушы концентрация және т.б. Бұл блоктың шығыс айнымалылары болуы мүмкін: сүзілген судың мөлшері, өңделген шарлар саны, тазартылған судағы ластаушы заттардың концентрациясы және т.б.

Тұндырғыш үшін кіріс айнымалылары болуы мүмкін: тазартылған судың берілу жылдамдығы, эрозия өнімінің концентрациясы, судың температурасы, кешігу уақыты және т.б. Шығарылатын айнымалылар: түзілген шөгінділердің мөлшері, тазартылған судағы ластаушы заттардың концентрациясы және т.б. Сүзгі үшін кіріс айнымалылар болуы мүмкін: тазартылған судың берілу жылдамдығы, толтырғыштың диаметрі, оның тығыздығы және т.б. Шығарылатын айнымалылар: жойылған қалқымалы заттардың мөлшері, тазартылған судағы ластаушы заттардың концентрациясы және т.б.

Осындай деректер негізінде басқару объектісі ретінде процестің математикалық моделін жасауға және оны басқару жүйесін синтездеу үшін келесі параметрлерді (электроэрозиялық су тазарту қондырғысының жұмыс параметрлерін оңтайландыру және суды максималды тазартуды қамтамасыз ету, тиімділігі және т.б.) қолдануға болады. Тұндырғыш пен сүзгі үшін жалпы суды тазарту процесіне әсер ететін тиісті кіріс және шығыс параметрлерін анықтауға болады. Басқару объектісі ретінде процестің ақпараттық моделін блок-схема түрінде көрсетуге болады, онда әрбір блок құрылғылардың біріне сәйкес келеді. Әрбір блоктың ішінде кіріс және шығыс параметрлерін, сонымен қатар процеске әсер ететін басқа факторларды ескере отырып, процестің математикалық модельдері ұсынылуы мүмкін (Надеждин, 2020). Мұндай ақпараттық модельді электроэрозиялық су тазарту қондырғысын басқару жүйесін әзірлеу үшін пайдалануға болады, ол технологиялық параметрлерді автоматты түрде реттейді және оның тиімділігін арттырады.

1-суретте суды тазартудың электроэрозиялық процесінің құрылымдық схемасы процессте қолданылатын құрылғыларды ажырату арқылы көрсетілген (1-кесте).



1-сурет. Суды тазартудың электроэрозиялық процесінің құрылымдық схемасы
Ескерту (Надеждин, 2020) негізінде құрастырылған

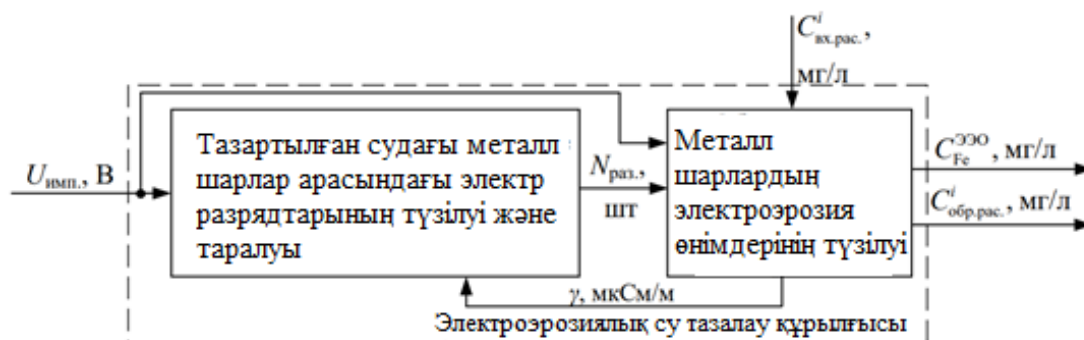
1-кесте. Кіріс және шығыс айнымалылары

Айнымалылар ағыны/вектор	Айнымалы	Айнымалының атауы	Сипаттамасы
$\overline{\text{Фвх.рас.}}$	$Q_{\text{вх.рас.}}$	Кіріс ағыны (ластанған) сулы ерітінді	Кіріс айнымалы
	$T_{\text{вх.рас.}}$	Кіретін (ластанған) судың температурасы	Кіріс айнымалы
	C_i вх.рас.	Қоспалардың концентрациясы кіріс (ластанған) сулы ерітінді	Кіріс айнымалы
$\overline{\text{Пимп.}}$	$U_{\text{имп.}}$	Берілетін электрлік импульстарды қоректендіру кернеуі	Кіріс айнымалы
	$f_{\text{имп.}}$	Электрлік импульстарды қолдану жиілігі	Кіріс айнымалы
	$t_{\text{имп.}}$	Берілетін электрлік импульстардың берілу ұзақтығы	Кіріс айнымалы
$\overline{\text{Фобр.рас.}}$	$Q_{\text{обр.рас.}}$	Өңделген сулы ерітіндіні тұтыну	Шығыс/Кіріс айнымалы
	$T_{\text{обр.рас.}}$	Өңделген сулы ерітіндінің температурасы	Шығыс/Кіріс айнымалы
	C_i обр.рас.	Өңделген сулы ерітіндідегі қоспалардың концентрациясы	Шығыс/Кіріс айнымалы
	$C_{\text{ЭЭО}}$ Fe	Өңделген сулы ерітіндідегі электрлік эрозия өнімдерінің концентрациясы	Шығыс/Кіріс айнымалы
$\overline{\text{Фотс.рас.}}$	$Q_{\text{отс.рас.}}$	Тұндырылған сулы ерітіндінің шығыны	Шығыс/Кіріс айнымалы
	$T_{\text{отс.рас.}}$	Тұндырылған сулы ерітіндінің температурасы	Шығыс/Кіріс айнымалы
	C_i отс.рас.	Тұндырылған сулы ерітіндідегі қоспалардың концентрациясы	Шығыс/Кіріс айнымалы
$\overline{\text{Фвых.рас.}}$	$Q_{\text{вых.рас.}}$	Шығатын суды тұтыну шығыны	Шығыс айнымалы
	$T_{\text{вых.рас.}}$	Шығатын судың температурасы	Шығыс айнымалы
	C_i вых.рас.	Шығатын сулы ерітіндідегі қоспалардың концентрациясы	Шығыс айнымалы
	CH	Құрылғы жұмыс жасайтын орта ауасындағы сутегі концентрациясы (көлем %)	Шығыс айнымалы

Ескерту – автормен құрастырылған

Суды тазартудың электроэрозиялық процесінің математикалық моделін жасау кезінде процестің екі кезеңнен тұратыны анықталды (Надеждин, 2020).

Бірінші кезең – су ерітіндісінде металл шарлар арасында электр разрядтарының пайда болуы және таралуы, ал екінші кезең – олардың арасындағы электр разрядтары нәтижесінде металл шарлардың электр эрозия өнімдерінің бөлінуі. Суды тазартудың электроэрозиялық процесінің математикалық моделі басқару объектісі ретінде ұсынылды және 2-суретте көрсетілген.



2-сурет. Басқару объектісі ретінде суды тазартудың электроэрозиялық процесінің математикалық моделі

Ескерту (Надеждин, 2020) негізінде құрастырылған

Аппараттағы электр эрозия өнімдерінің түзілу процесін сипаттау үшін дифференциалдық-алгебралық тендеулер жүйесін жазуға болады (1) (Nadezhdin, I.S., 2016):

$$\begin{aligned} \frac{dC_{обррас}^i}{dt} &= \frac{Q_{обррас}}{V_{вр}} * (C_{вхрас}^i - C_{обррас}^i) \\ \frac{dC_{Fe}^{ЭЭ0}}{dt} &= \frac{m_{Fe}^{ЭЭ0}}{V_{вр}} - \frac{Q_{обррас}}{V_{вр}} * C_{Fe}^{ЭЭ0} \\ \frac{d\gamma}{dt} &= \frac{C_{обррас}^i}{k_\gamma} \\ \frac{dm_{Fe}^{ЭЭ0}}{dt} &= 2 * N_{раз} * V_{лун} * \rho_{шар} \\ V_{лун} &= 0.5 * \pi * R_{лун}^2 * h_{лун} \\ d_{лун} &= (73,96 * d_{шар}^2 - 930,1 * d_{шар} + 3602) * q_{кан}^{0,2309} + \\ &+ (27,16 * d_{шар}^2 + 218,1 * d_{шар} - 278,4) \\ V_{в.р} &= (W_{ан} * L_{ан} * H_{ан}) - (m_{загр} * \rho_{шар}) \\ h_{лун} &= \frac{q_{плав}}{c_{шар} * (T_{плав} - T_{шар}) * \rho_{шар}}, \\ q_{плав} &= \frac{4,45 * k_{эф} * q_{кан}}{\pi * R_{лун}^2} \end{aligned} \tag{1}$$

Шынында да, суды тазартудың электроэрозиялық процесінің бірінші және екінші кезендерінің математикалық модельдері өзара байланысты, өйткені бірінші кезеңнің нәтижелері екінші кезеңнің параметрлеріне әсер етеді. Атап айтқанда, бірінші кезеңнің нәтижесінде алынған зиянды қоспалардың концентрациясы екінші кезең үшін кіріс параметр болып табылады, өйткені ол екінші кезеңде өңделген сулы ерітіндінің электр өткізгіштігінің өзгеруіне әсер етеді. Бұл өз кезегінде екінші кезеңнің тиімділігіне және алынған өнімдердің концентрациясына әсер етеді. Осылайша, суды тазарту процесін дұрыс болжау үшін осы модельдер арасындағы байланысты ескеру қажет.

3-суретте электроэрозиялық су тазарту қондырғысын басқарудың автоматтандырылған жүйесінің функционалдық схемасы көрсетілген, ол қажетті функционалды элементтерден тұрады. Электроэрозиялық су тазарту қондырғысының резервуар-реакторы басқарудың технологиялық объектісі болып табылады және диэлектрлік материалдан жасалған. Реактор цистернасының ішінде басқару блогына қосылған екі электрод бар.

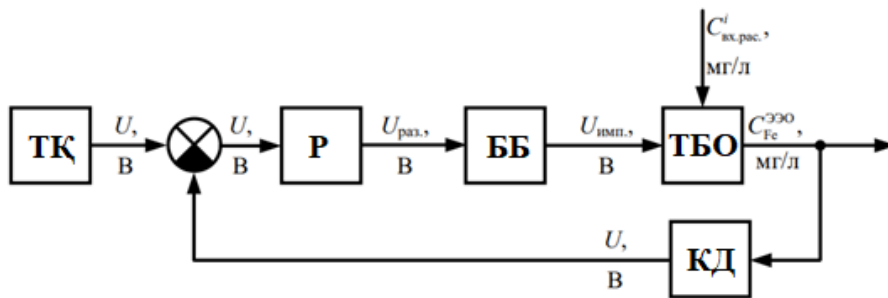
Басқару блогында электроэрозиялық суды тазарту процесін басқару үшін қолданылатын электр импульстік генераторы бар.

Басқару жүйесі келесідей жұмыс істейді: бақыланатын айнымалының қажетті мәні (электр эрозия өнімдерінің концентрациясы) негізгі құрылғының көмегімен орнатылады. Өңделген сулы ерітіндідегі электр эрозия өнімдерінің концентрациясының ағымдағы мәні концентрация датчигі арқылы өлшенеді, ал сенсордан келетін сигнал белгіленген мәнмен салыстырылады.

Қазіргі уақытта болжамды модельдерге негізделген PID контроллерлері мен реттеуіштері Сәйкессіздік сигналы негізінде контроллер берілген электрлік импульстардың қажетті кернеу мәнін есептейді және басқару блогына берілетін сигналды жасайды.

Басқару блогы, өз кезегінде, басқарылатын айнымалының өзгеруіне әсер ететін, белгілі бір амплитуданың электрлік импульстар түрінде технологиялық басқару объектісіне басқару әрекетін жасайды. Процесті басқару үшін ең кең таралған болып табылады. PI және PID контроллерлері орнатудың қарапайымдылығына және техникалық іске асырудың қарапайымдылығына байланысты кеңінен қолданылады (Зарубин, 2020).

Процесті басқарудың әртүрлі тәсілдері бар, олардың бірі болжамды модельдерді пайдалану болып табылады. Осы тәсілдің негізінде ең тиімді реттеушіні анықтау үшін зерттеулер жүргізілді. Кейбір зерттеулер болжамдық модель контроллеріне негізделген басқару жүйелері



3-сурет. Электроэрозиялық су тазарту қондырғысын басқарудың автоматтандырылған жүйесінің функционалдық схемасы: ТҚ – негізгі технологиялық құрылғы, Р – реттеуші, ББ – басқару блогы, ТБО – технологиялық басқару орталығы, КД – түзілетін электр шарының концентрация датчигі
Ескерту – автормен құрастырылған

PID контроллерлеріне негізделген жүйелерге қарағанда әртүрлі технологиялық процестерді басқаруда тиімдірек екенін көрсетті.

Басқару жүйелерінің тиімділігін арттыру үшін анық емес логиканы қамтитын «гибридті» PID контроллерін пайдалануға болады. Суды тазартудың электроэрозиялық процесінің математикалық моделін құру барысында алдымен MatLab бағдарламасының Simulink опциясында жоғарыдағы аппараттағы электр эрозия өнімдерінің түзілу процесін сипаттау үшін қолданылған дифференциалдық-алгебралық теңдеулер жүйесін құрып аламыз. Дифференциалдық-алгебралық теңдеулер жүйесінде құрылған Simulink сызбасы 4-суретте көрсетілген.

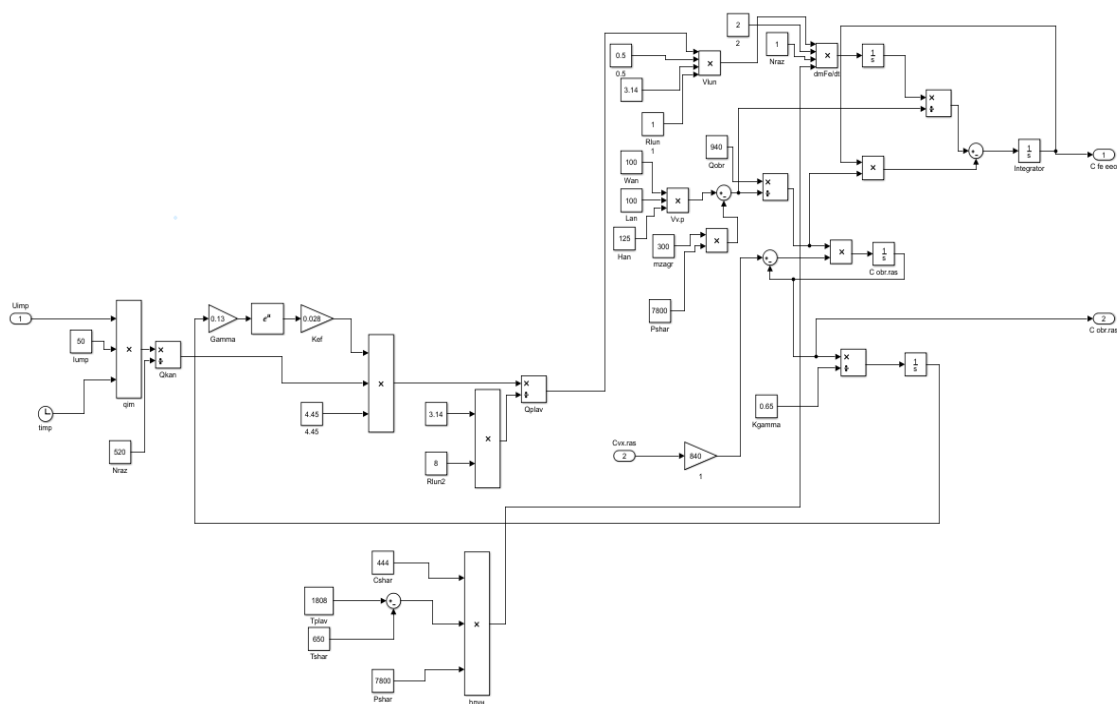
Simulink сонымен қатар сызықтық және сызықтық емес тұрақтылықты талдау, параметрлерді оңтайландыру және басқару жүйесінің оңтайлы синтезі сияқты әртүрлі әдістерді пайдаланып үлгілерді талдауға және оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Simulink-те көптеген дайын блоктар мен кітапханалар бар, бұл автоматты басқаруда, электроникада, механикада және басқа салаларда әртүрлі қолданбаларға

арналған үлгілерді жылдам жасауға мүмкіндік береді. Әрі қарай болжамды модельді қалыптастыру үшін сызықты емес жүйені сызықтық жүйемен ауыстыру әдістері қолданылды. Жалпы жағдайда, сызықтық жүйені талдау және жобалау үшін сызықтық басқару теориясының әдістерін қолдануға мүмкіндік беретін белгілі бір жұмыс нүктесіне жақын орналасқан сызықты емес жүйені сызықтық жүйемен ауыстыруға мүмкіндік береді.

Simulink-те басқару объектілерін сызықтандыру – басқару объектілерінің сызықты емес динамикалық үлгілерін берілген жұмыс нүктесіне жақын жерде сызықтық модельдерге түрлендіру процесі. Сызықтық модельдер басқару жүйесінің тұрақтылығы мен орнықтылығын талдау үшін, реттегіштерді жобалау және баптау үшін және басқа мақсаттарда пайдаланылуы мүмкін.

Simulink бағдарламасында басқару объектілерін сызықтандыру Linearization блогының көмегімен орындалады, ол берілген кіріс және шығыс нүктелері негізінде сызықтық басқару объектісінің үлгілерін автоматты түрде есептейді, сонымен қатар сызықтандыруды баптау опциялары.

Жүйені сызықтандыру процесінде сызықты емес элементтер олардың сызықтық ұқсастарымен ауыстырылады, ал сызықтық күй айнымалыларына, жүйенің кірістері мен шығыстарына қатысты орындалады. Бұл тұрақтылық теориясы, оңтайлы басқару теориясы, реттеу теориясы және т.б. сияқты сызықтық басқару теориясының стандартты әдістерін пайдаланып талдауға болатын сызықтық модельді алуға мүмкіндік береді. Сызықтықтандырудан кейін басқару объектісі моделін басқару жүйесін одан әрі талдау және жобалау үшін пайдалануға болады.



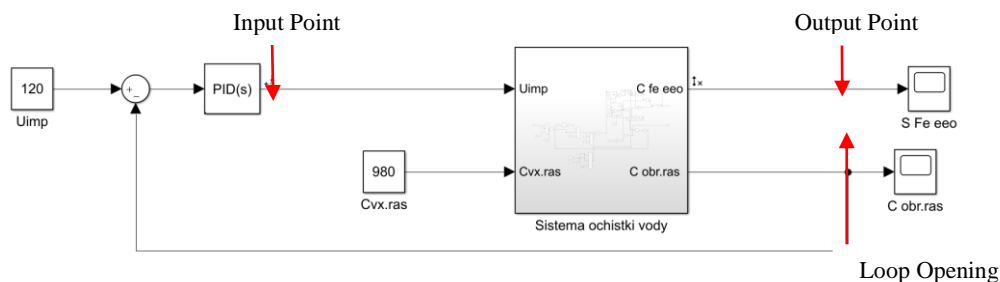
4-сурет. Simulink жүйесінде құрылған схема

Ескерту – автормен құрастырылған

Электроэрозиялық әдіспен суды тазалау процесінің сызықтандырылған үлгісі 5-суретте көрсетілген. Модельдің бұл фрагментінде PID Controller блогы реттеуіш болып

табылады, ал Subsystem блогы басқару объектісі болып табылады. Сызықтандыру үшін кіру және шығу нүктелерін орнату керек. Simulink бағдарламасында кіріс және шығыс сигналдарын анықтау үшін Порттар және ішкі жүйелер кітапханасындағы кіріс және шығыс блоктарын пайдалануға болады. Кіріс блоктарын басқа блоктармен бірге пайдалануға болады, мысалы, Sum блогы. Деректер күй-кеңістік матрицалары түрінде немесе LTI нысаны түрінде болғандықтан, қосымша талдау үшін Control System Toolbox өніміндегі функцияларды пайдаландым.

Сызықтық енгізу кірісін көрсету үшін, PID контроллері блогының шығысын таңдап, Linear Analysis Points > Input Perturbation блогын таңдадым. Сызықтық шығысын көрсету үшін, Су тазалау жүйесі блогының шығысын таңдап, Сызықтық талдау нүктелері > Ашық цикл шығысы тармағын таңдадым.



5-сурет. Электроэрозиялық әдіспен суды тазалау процесінің сызықтандырылған үлгісі
Ескерту – автормен құрастырылған

Simulink – бұл A, B, C және D күй-кеңістік матрицалары түріндегі сызықтық модельдерді шығару үшін *linmod*, *linmod2* және *dlinmod* функцияларын қамтамасыз ететін өнім. Бұл матрицалар кіріс және шығыс векторлары арасындағы сызықтық қатынасты да сипаттайды, жүйенің күйі ретінде және теңдеулер түрінде көрсетуге болады. Мұндағы,

$$x = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Bu$$

Мұнда *x*, *u* және *y* сәйкес күйге, кіріс және шығыс векторларына сәйкес келеді. Мысалы, A, B, C және D матрицаларын пайдаланып Simulink жүйесінде сызықтандырылған үлгі жасау үшін *lmod* функциясын пайдалануға болады.

6-суретте көрсетілген электроэрозиялық әдіспен суды тазалау процесінің үлгісін тағы басқа жолмен сызықтандыру үшін файлды “*lmod*” атауымен сақтап аламыз. Әрі қарай командалық терезеге келесі:

`[A, B, C, D] = linmod('lmod')` командасын береміз.

Нәтижесінде келесі 6-суретте көрсетілгендей электроэрозиялық су тазалау жүйесінің сызықтандырылған түрінің матрицасын аламыз.

```
f =
      9.174 s + 0.7
-----
s^2 + 9.174 s + 0.7
Continuous-time transfer function.
```

Су тазалау жүйесінің берілу функциясын анықталды.

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

A =
      x1      x2      x3      x4      x5      x6
x1      0      0      0      0      0      0
x2      0      0      0      0      0      0
x3      0      0     -100      0      0      0
x4      0     -1      0      0      0      0
x5      0      0      0      0      0      0
x6      0     1.53      0      0      0      0

B =
      u1
x1      0
x2     -9.174e-07
x3      0
x4      0
x5      0
x6      0

C =
      x1      x2      x3      x4      x5      x6
y1      1      0      0      0      0      0
y2      0      1      0      0      0      0

D =
      u1
y1      0
y2      0

Continuous-time state-space model
  
```

6-сурет. Simulink бағдарламасында құрастырылған электроэрозиялық су тазалау жүйесінің пайдасызықтандырылған түрінің матрицасы

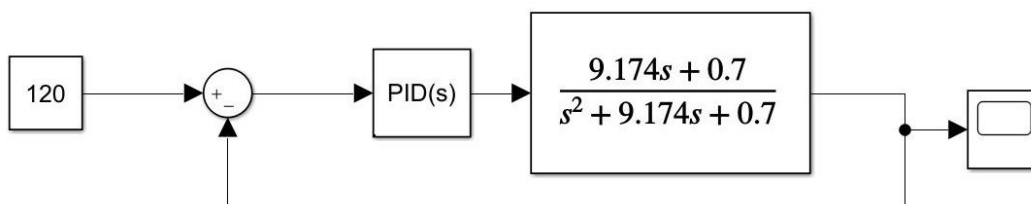
Ескерту – автормен құрастырылған

PID (Proportional-Integral-Derivative) – процестерді автоматты реттеу үшін қолданылатын басқару алгоритмі. Ол қажетті мән мен ағымдағы мән арасындағы айырмашылық негізінде шығыс сигналын басқару үшін үш параметрді, пропорционалды күшейтуді (P), интегралды күшейтуді (I) және туынды күшейтуді (D) пайдаланады. PID тунері процесті оңтайлы басқару үшін осы параметрлерді реттеуге мүмкіндік береді. Ол өнеркәсіптік өндіріс, автоматты басқару, робототехника және т.б. сияқты әртүрлі салаларда қолданылады.

PID тунерін пайдалану үшін басқарылатын процесс туралы деректерді жинау және оны бағдарламаға беру қажет. PID Tuner PID параметрлерін реттеу және шығысты визуализациялау үшін графикалық пайдаланушы интерфейсін қамтамасыз етеді. PID Tuner - ең аз баптау күшімен ең жақсы нәтиже алуға мүмкіндік беретін қуатты автоматты процесті басқару құралы (Леонов, 2019).

PID Tuner қолданбасы тиімділік пен беріктік арасындағы тепе-теңдікті сақтай отырып, PID контроллерінің кірістерін автоматты түрде реттейтін құрал болып табылады. Бұл қолданба арқылы PI, туынды сүзгісі бар PID немесе 2-DOF PID контроллері сияқты контроллер түрін таңдауға болады. PID Tuner көмегімен контурдың өткізу қабілеттілігі мен фазалық маржасын баптау, сондай-ақ белгіленген нүктені қадағалау немесе шуды

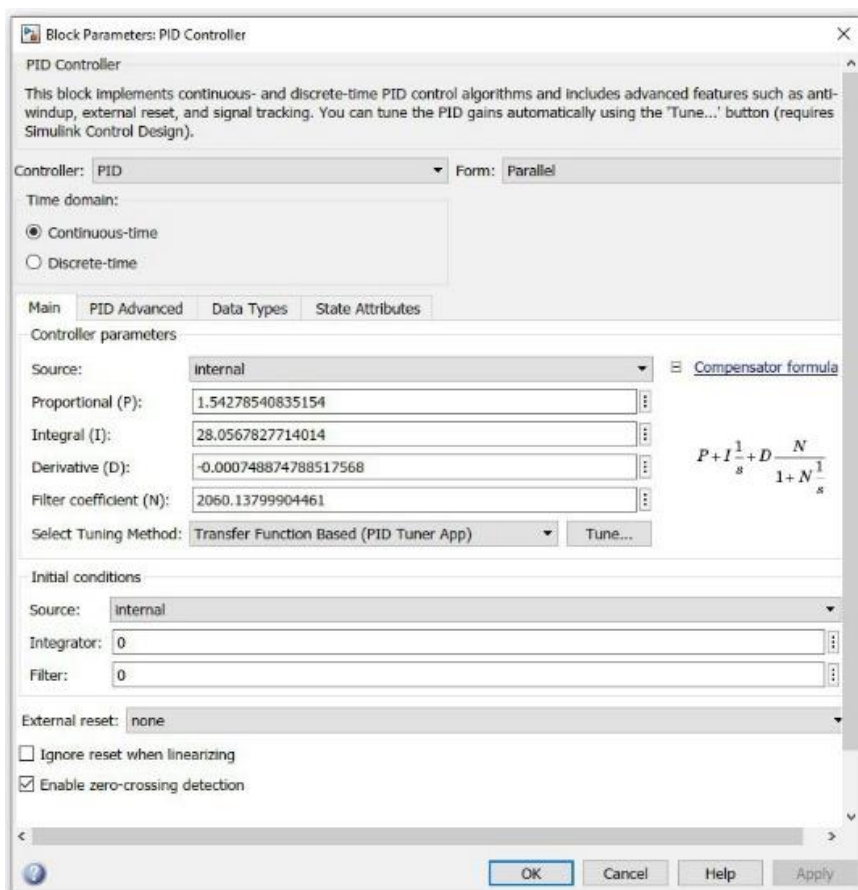
қабылдау арқылы контроллердің жұмысын интерактивті түрде жақсартуға болады. PID Tuner қосымшасын іске қосу үшін алдымен Simulink терезесінде сызбамызды алдыңғы нәтижеден алған беріліс функциясы бойынша қайта жинаймыз. 7-суретте Simulink терезесіндегі беріліс функциясы бойынша құрылған басқару объектісін көруге болады.



7-сурет. Simulink терезесінде құрылған басқару объектісі

Ескерту – автормен құрастырылған

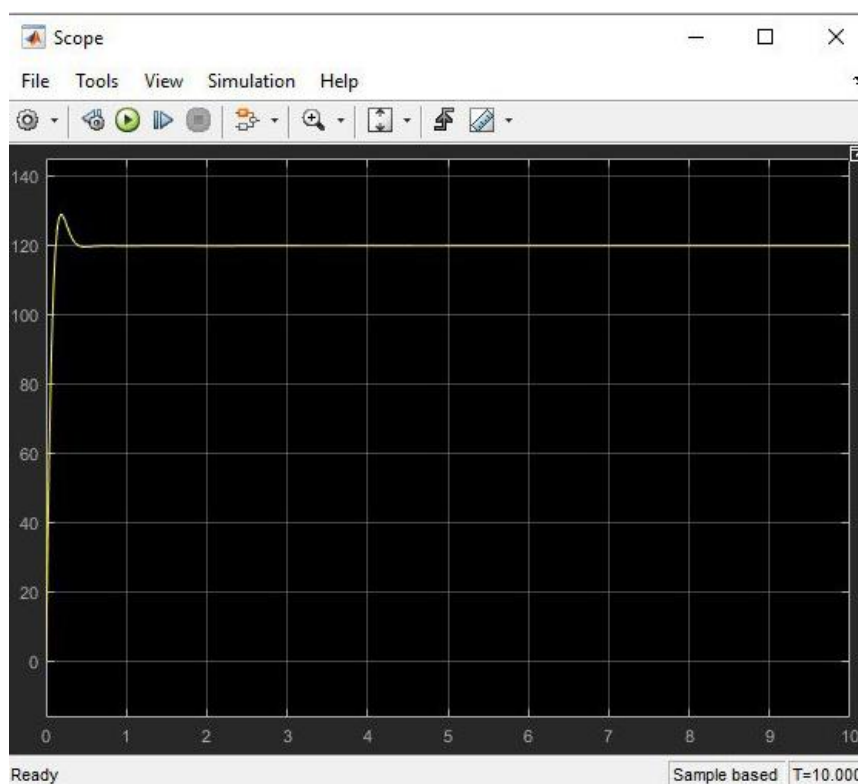
Әрі қарай қосымшаны пайдалану үшін PID контроллердің параметрлерін өзгерту терезесінде қосымшаны іске қосамыз. PID Tuner қосымшасы берілген функция бойынша оңтайлы мәндерді қабылдап, проектке анализ жасайды. PID контроллерінің параметрлері 8-суретте көрсетілген.



8-сурет. PID контроллерінің оңтайлы параметрлері

Ескерту – автормен құрастырылған

Нәтижелері және оларды талқылау. Келесі 9-суретте Simulink терезесінде жасаған сұлбаның нақты шешімі көрсетілген. Яғни, PID Tuner қосымшасының анализі бойынша табылған параметрлер электроэрозиялық су тазалау жүйесін басқару объектісінің оңтайлы шешімі болып табылады.



9-сурет. PID Tuner қосымшасы бойынша табылған электроэрозиялық су тазалау жүйесін басқару объектісінің тиімді шешімі

Ескерту – автормен құрастырылған

Автоматты реттеу жүйелері объектіге жүктемелердің барлық диапазонында тұрақты болуы керек, бірақ олардың жұмыс істеуі үшін белгілі бір сапа көрсеткіштері қажет. Бұл көрсеткіштерге қайта реттеу уақыты, тербеліс көрсеткіші және әлсіреу дәрежесі кіреді. Қайта реттеу уақыты реттелетін шама белгіленген мәнге алдын ала белгіленген мән шегінде дәлдікпен жететін уақыт ретінде анықталады, әдетте тапсырма сигналы бойынша секіру шамасының 3 %-дан 5 %-на дейінгі диапазонда қабылданады. Қайта реттеу дегеніміз салыстырмалы бірліктермен немесе пайыздармен көрсетілген тұрақты мәннен максималды ауытқу болып табылады. Бұзушылық әсерді пысықтау кезінде қайта реттеу шамасы келесі арақатынастан айқындалады (2):

$$\sigma = \frac{H - H_{уст}}{H_{уст}} \cdot 100\% = \frac{130 - 120}{120} \cdot 100\% = 8,33,$$

мұндағы, H_{max1} – өтпелі қисықтың екінші амплитудалық шыңы, $H_{уст}$ – өтпелі қисықтың алғашқы амплитудалық шыңы.

Тербеліс жиілігі тұйық жүйенің жиілік беру функциясының модулінің максимумын сипаттайды және сол арқылы жүйенің тербеліс қасиеттерін сипаттайды. Тербеліс жиілігін келесі анықтаймыз (3).

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{6,28}{10} = 0,628,$$

мұндағы T – тербеліс процестері үшін тербеліс кезеңі.

Әлсіреу дәрежесі – тербелістердің қаншалықты әлсірегенін көрсетеді және формула бойынша анықталады (4).

$$k = \frac{|H_{max1} - H_{уст}|}{|H_{max2} - H_{уст}|} = \frac{|130 - 120|}{|100 - 120|} = 0,5,$$

мұндағы, H_{max1} – өтпелі қисықтың бірінші амплитудалық шыңы, H_{max2} – өтпелі қисықтың екінші амплитудалық шыңы.

Бұл көрсеткіштер автоматты реттеу жүйесінің өнімділігін және оның реттеу процесін тиімді басқару қабілетін бағалау үшін маңызды.

Қорытынды. Процесті басқару жүйесін синтездеу үшін суды тазартудың электро-эрозиялық процесінің математикалық моделі басқару объектісі ретінде қолданылды. Математикалық модель ықтималдық жасушалық автоматтар әдісіне негізделген және берілген электр импульстарының кернеуінің өзгеруіне және өңделетін сулы ерітіндідегі зиянды қоспалардың концентрациясына байланысты электр эрозиясы өнімдерінің концентрациясының өзгеру динамикасын көрсетеді және бейсызықтық алгебралық және дифференциалдық теңдеулер жүйесін ұсынады. Модельді сызықтық ету Matlab көмегімен жүзеге асырылады. PID реттеуі бар сызықтық модель негізінде жасалған басқару жүйесі қажетті сапа көрсеткіштерін көрсетті.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Akter A., Goto M., Mohd Noor M.J.M., Muzahidul Islam A.K.M., Motoo U., Ya Z.Z., Parvez A. (2017) Immobilization of heavy metals in tannery sludge by subcritical water treatment. *Chemical Engineering Transactions*. – 2017. – № 56. – P. 265-270. <https://doi.org/10.3303/CET1756045>
- Delcolle, R. (2017) A comparison between coagulation and ultrafiltration processes for biodiesel wastewater treatment / R. Delcolle, M.L. Gimenes, C. Fortulan, W. Moreira, N. Martins, N. Pereira // *Chemical Engineering Transactions*. – 2017. – № 57. – P. 271-276. <https://doi.org/10.3303/CET1757046>
- Demirci, Y. (2014) Textile wastewater conductivity control of electrocoagulation process using MatLab / Simulink. *Global NEST Journal*. – 2014. – № 16. – P. 348-353. <https://doi.org/10.30955/gnj.001325>
- Krinityn, N.S., N.S. Krinityn, A.D. Uvarova, V.F. Dyadik, A.G. Goryunov, I.S. Nadezhdin (2016) Plant Identification in the Closed-loop Control System. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. – 2016. – Vol. 1. – P. 229-233
- Lutchmiah, K., A.R.D. Verliefde, K. Roest, L.C. Rietveld (2014) Forward osmosis for application in wastewater treatment: A review. *Water research*. 2014. – № 58. – P. 179-197. DOI:10.1016/j.watres.2014.03.045
- Moilanen, P., Paasila, M., & Lappalainen, P. (2019). Water purification system for the Electric Discharge Machine (EDM). VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research Report Vol. VTT-R-05845-15
- Nadezhdin, I.S., Goryunov A.G., F. Manenti, A.O. Ochoa Bique (2016) Mathematical modeling of EDM method of water purification. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. 2016. – Vol. 1. – P. 254-258.
- Nadezhdin I.S., Papisidero D., Goryunov A.G., Manenti F. (2016) Optimisation of EDM process for water purification. *Chemical Engineering Transactions*. – 2016. – Vol. 52. – P. 325-330. <https://doi.org/10.3303/CET165205>
- Rehman, A. Operational parameter influence on heavy metal removal from metal plating wastewater by electrocoagulation process / A. Rehman, M. Kim, A. Reverberi, B. Fabiano // *Chemical Engineering Transactions*. – 2015. – № 43. – P. 2251-2256. <https://doi.org/10.3303/CET1543376>
- Sechi, E., A. Vacca, M. Mascia, S. Palmas (2016) Nickel-based nanoporous electrodes for water treatment. *Chemical Engineering Transactions*. – 2016. – № 47. – P. 97-102 <https://doi.org/10.3303/CET1647017>

- Tmenova T. (2019) Experimental characterization of the underwater pulsed electric discharge Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2019
- Tao J., Ni J., Shih A.J. (2020) Modeling of the Anode Crater Formation in Electrical Discharge Machining. Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2020. – Vol. 134. – P. 207-218. DOI:10.1115/1.4005303
- Upadhyayula V.K.K, S. Deng, M.C. Mitchell, G.B. Smith (2009) Application of carbon nanotube technology for removal of contaminants in drinking water: A review. Science of the Total Environment. – 2009. – № 408. – P. 1-13 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.027>
- Грудяева, Е.К. Математическое моделирование и управление биохимическими процессами очистки сточных вод / Е.К. Грудяева, С.Е. Душин, Н.Н. Кузьмин // Актуальные проблемы гидролитосферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация): Третий национальный научный форум «Нарзан – 2015». – Кисловодск. – 2015. – С. 465-485.
- Зарубин, В.С. (2020) Математическое моделирование в технике: Учебник для вузов. - М.: МГТУ , 2020. – 95 с. // Zarubin, V.S. (2020) Matematicheskoe modelirovanie v tekhnike: Uchebnik dlya vuzov.- М.: МГТУ , 2020.- 95 p
- Кожевников, А.Б. (2020) Промышленная и эпидемиологическая безопасность при обеззараживании питьевой воды – Водоснабжение и сан. техника. – 2020, № 5, 21–24 // Kozhevnikov, A.B. (2020) Promyshlennaya i epidemiologicheskaya bezopasnost' pri obezzarazhivanii pit'evoy vody - Vodosnabzhenie i san.tekhnika.-2020. – № 5, 21–24.
- Леонов С.Н. (2019) Моделирование систем в MATLAB / Ю. Ф. Лазарев. Леонов С.Н. (2019) – Томск: ТПУ, 2019. // Leonov S.N. (2019) Modelirovanie sistem v MATLAB / YU. F. Lazarev. Leonov S.N. (2019) – Tomsk: TPU, 2019.
- Надеждин, И.С. (2020) Автоматизированная система управления электроэрозионной водоочистой установкой с прогнозирующей моделью. - Томск: ТПУ, 2020 // Nadezhdin, I.S. (2020) Avtomatizirovannaya sistema upravleniya elektroerozionnoj vodoochistnoy ustanovkoj s prognoziryuyushchej model'yu.- Tomsk: TPU, 2020.
- Рябчиков Б.Е. (2018) Современная водоподготовка. – М.: ДеЛи принт, 2018.– 679 с. // Ryabchikov B.E. (2018) Sovremennaya vodorodgotovka. – М.: DeLi print, 2018.– 679 s.
- Тимофеев, В.Б. (2020) Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB: Учебное пособие / В.Б. Тимофеев. - СПб.: Лань КПТ, 2020 // Timofeev, V.B. (2020) Komp'yuternoe modelirovanie fizicheskikh processov v pakete MATLAB: Uchebnoe posobie / V.B. Timofeev. - SPb.: Lan' KPT, 2020
- Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Бреус С.А., Пчельников И.В. (2017) Производственные испытания обеззараживания питьевой воды прямым электролизом. ВСТ. - 2017. - N 5, 15-20 // Fesenko L.N., Skryabin A.YU., Breus S.A., Pchel'nikov I.V (2017) Proizvodstvennyye ispytaniya obezzarazhivaniya pit'evoy vody pryamym elektrolizom/. VST. - 2017. - N 5, 15-20.

Information about authors

Kulniyazova K.S. – senior-lector, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; k_korlan@mail.ru, +7 771 0010027

Rzayeva L.G. – associate professor, PhD, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; l.rzayeva@astanait.edu.kz +7 777 5339169

Abitova G.A. – associate professor, PhD, Astana IT University, Astana, Kazakhstan;

Aimukhambetov O.K. – senior-lector, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; aimukhambetov.o@gmail.com +7 778 5424332

Erdybaeva N.K. – professor, East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, nyerdybayeva@ektu.kz, +7 771 414 6494

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

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_183
MFTAA 28.21.19

Ж. Сайлауқызы¹, Г.Т. Даненова², М.М. Коккоз³

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

¹E-mail: zhuldyzsailaukyzy@gmail.com*

²E-mail: guldan72@mail.ru

³E-mail: makhabbat_k@bk.ru

**КӨП ШЕКТІ ДЕКОДЕРДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЦИФРЛЫҚ РАДИОЖҮЙЕЛЕРДІҢ
ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІН ӨЗІРЛЕУ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЦИФРОВЫХ РАДИОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОПороГОВОГО
ДЕКОДЕРА**

**DEVELOPMENT OF METHODS TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF DIGITAL RADIO
SYSTEMS USING A MULTI-THRESHOLD DECODER**

Аңдатпа. Цифрлық радиожүйелердің энергия тиімділігі қазіргі заманғы байланыс жүйелеріндегі негізгі мәселелердің бірі болып табылады. Бұл әсіресе сөніп қалатын каналдарда өзекті, өйткені энергия тұтынуды азайтып, деректерді жеткізудің жоғары сапасын сақтау қажет. Осыған орай зерттеудің мақсаты цифрлық радиожүйелердің энергия тиімділігін арттыру әдістерін өзірлеу және бағалау, бұл үшін көп шекті декодерлер (КШД) мен түйілген кодтауды қолдану қарастырылды. Радиоканалдардың әртүрлі жұмыс жағдайларында олардың тиімділігі тексерілді. КШД үшін жоғары деңгейде деректерді қорғауды қамтамасыз ететін тиімді түйілген кодтар таңдалды. Зерттеу барысында бұл кодтардың аддитивті ақ гаусс шуы бар каналдардағы энергия тиімділігі бағаланды. Түйілген кодтау әдістері КШД өнімділігін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік берді, бұл деректерді жеткізудің сенімділігін арттырады. Сонымен қатар, итеративті демодуляция және декодтау әдістері қолданылды, бұл қателіктерді әрбір итерацияда түзетіп отыруға мүмкіндік береді. Бұл әдіс, әсіресе күрделі жағдайларда демодуляция және декодтау процестерін бірнеше рет қайталау арқылы деректерді беру дәлдігін айтарлықтай жақсартуға ықпал етеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ұсынылған әдістер жүйенің энергия тұтынуын 12-18 пайызға азайтуға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, сигнал/шум қатынасы (SNR) 10 дБ болғанда биттік қателік коэффициенті (BER) 10^{-3} деңгейінен 8×10^{-4} деңгейіне дейін төмендеп, қателіктерді түзету тиімділігі 15-20 пайызға артты. Сондай-ақ, сөніп қалатын каналдарда деректерді беру дәлдігі 10-15 пайызға жақсарып, жүйенің жалпы сенімділігін арттырды. Ұсынылған әдістерді қазіргі заманғы радиожүйелерде сәтті қолдану арқылы олардың энергия тиімділігін арттыруға және байланыс сапасын жақсартуға болады.

Түйін сөздер. Цифрлық радиожүйелер, көп шекті декодер, итеративті демодуляция, энергия тиімділігі, түйілген кодтар.

Аннотация. Энергетическая эффективность цифровых радиосистем является одной из ключевых проблем современных систем связи. Особенно это актуально в условиях замираний, когда требуется минимизировать энергопотребление и при этом поддерживать высокое качество передачи данных. Цель данного исследования заключается в разработке методов повышения энергетической эффективности цифровых радиосистем с использованием многопороговых декодеров (МПД) и сверточного кодирования, а также в оценке их эффективности в различных условиях работы радиоканалов. Для многопорогового декодирования были выбраны эффективные сверточные коды, которые способны обеспечить высокую степень защиты данных при передаче. В ходе исследования была проведена оценка их энергетической эффективности в каналах с аддитивным белым гауссовским шумом. Предложенные методы сверточного кодирования позволили существенно улучшить производительность МПД, что привело к повышению надёжности передачи данных. Использовались итеративные методы

демодуляции и декодирования, которые позволяли постепенно корректировать ошибки с каждой итерацией. Этот подход способствовал значительному повышению точности передачи данных за счёт многократного повторения процессов демодуляции и декодирования, что особенно важно в сложных условиях. Результаты исследования показали, что предложенные методы позволили снизить энергопотребление системы на 12-18%. При этом вероятность битовой ошибки (BER) при отношении сигнал/шум (SNR) в 10 дБ снизилась с 10^{-3} до 8×10^{-4} , что улучшило эффективность коррекции ошибок на 15-20%. Также была значительно улучшена точность передачи данных в условиях замираний на 10-15%, что повышает общую надёжность системы. Предложенные методы могут быть успешно применены в современных радиосистемах для повышения их энергетической эффективности и улучшения качества связи, особенно в сложных условиях передачи.

Ключевые слова. Цифровые радиосистемы, многопороговое декодирование, итеративная демодуляция, энергетическая эффективность, сверточное кодирование.

Abstract. Energy efficiency in digital radio systems is one of the key challenges in modern communication systems. This is especially relevant in fading environments, where it is necessary to minimize energy consumption while maintaining high data transmission quality. The goal of this research is to develop and evaluate methods for improving the energy efficiency of digital radio systems using multi-threshold decoding (MTD) and convolutional coding. The efficiency of these methods was tested under various operating conditions of radio channels. Effective convolutional codes were selected for MTD, which ensure a high level of data protection during transmission. The study evaluated the energy efficiency of these codes in channels with additive white Gaussian noise. The convolutional coding methods allowed for significant improvements in MTD performance, which led to increased reliability of data transmission. Additionally, iterative demodulation and decoding methods were used, enabling the correction of errors with each iteration. This approach contributed to a significant increase in data transmission accuracy by repeatedly performing the processes of demodulation and decoding, especially in complex conditions. The research results showed that the proposed methods allowed for a 12-18% reduction in system energy consumption. Furthermore, with a signal-to-noise ratio (SNR) of 10 dB, the bit error rate (BER) decreased from 10^{-3} to 8×10^{-4} , improving error correction efficiency by 15-20%. The accuracy of data transmission in fading environments also improved by 10-15%, enhancing the overall reliability of the system. The practical significance of this research is that the proposed methods can be successfully applied in modern radio systems to increase their energy efficiency and improve communication quality, particularly in challenging transmission conditions.

Keywords. Digital radio systems, multi-threshold decoder, iterative demodulation, energy efficiency, convolutional coding.

Қысқашы. Цифрлық радиожүйелер қазіргі телекоммуникациялық жүйелердің маңызды және ажырамас бөлігі болып табылады. Мұндай жүйелер ақпаратты тиімді әрі сенімді жеткізуге арналған, бірақ олардың өнімділігі мен энергия тұтыну деңгейі әрдайым жетілдіруді қажет етеді. Радиожүйелерді қолдану кезінде жиі кездесетін мәселелердің бірі – сөнетін каналдар, яғни сигнал амплитудасының өзгеруі деректерді берудің сенімділігін төмендетеді. Бұл құбылыс, әдетте, мобильді құрылғылар мен спутниктік байланыс жүйелерінде жиі байқалады.

Сөнетін каналдар жағдайында деректерді сенімді түрде беру қиынға соғады, себебі сигналдың тұрақсыздығы қателіктердің жиі туындауына себеп болады. Сондықтан, радиожүйелерде қателіктерді түзету әдістерін қолдану – маңызды шешімдердің бірі болып саналады. Көп шекті декодерлер және түйілген кодтау әдістері осы мәселелерді шешу үшін тиімді әдіс ретінде қарастырылады. Бұл әдістер деректердің дәлдігін қамтамасыз етіп қана қоймай, энергия тұтынуды азайтуға мүмкіндік береді, әсіресе сөнетін каналдарда маңызды. Бұл саладағы негізгі әзірлемелер мен ғылыми зерттеулердің тиімділігін алғаш рет 1948 жылы К. Шеннон дәлелдеді (Шеннон, 1963). Қателікке төзімді кодтаудың басты мақсаты – қателік ықтималдығын қажетті деңгейде сақтай отырып, энергия тұтынуды барынша төмендету және түзету қабілеті жоғары кодтарды құру. Сонымен қатар, осы кодтарды декодтау үшін тиімді әрі практикалық алгоритмдерді жасау міндеті тұрды. Қателікке төзімді кодтау теориясын дамытуға айтарлықтай үлес

қосқан ғалымдар қатарында Р. Галлагер, В. Питерсон, Э. Уэлдон, А.Д. Витерби, Р.К. Боуз, Дж. Месси, И.С. Рид, Г. Соломон, Д. Форни. Сондай-ақ, ресейлік ғалымдар В.Д. Колесник, В.В. Зяблов, В.В. Золотарев, Г.В. Овечкин және басқа да зерттеушілер қателерге қарсы тұру қабілеті жоғары, мәліметтерді сенімді жеткізуге мүмкіндік беретін тиімді әдістерді дамытуға негіз қалады.

КШД Месси ұсынған қарапайым шекті декодердің жетілдірілген нұсқасы болып табылады (Massey, 1963). Бұл декодер итерациялық декодтау үшін әрбір декодталатын символ өзгерген кезде КШД шешімі оңтайлы декодердің шешіміне жақындай түсетініне кепілдік беріледі (Zolotarev et al., 2015). Месси декодерінің қарапайымдылығы оны басқа зерттеушілер де өзгертуге тырысты (Filimonov et al., 2020; Филимонов және т.б., 2019; Yatribi et al., 2020). КШД декодтау идеялары басқа ғылыми топтардың зерттеулерінде де дамыды (Mullah et al., 2011).

Классикалық флукуациялық кедергілер жағдайындағы қателерді түзету кодтаудың теориясы, оның негіздері В.А. Котельников, К. Шеннон және басқа да ғалымдардың фундаменталды еңбектерінде қаланған, қазіргі кезде де арналардың, сигналдардың және кедергілердің нақты сипаттамаларын ескерумен одан әрі дамып келеді (Шеннон, 1963). Кедергіге төзімді радио жүйелерді құрудағы негізгі қиындық – радио және сымды байланыс желілерінің түрлі стандарттарын біріктіру қажеттілігі және оларды келістірудің қиындығы. Осыған байланысты жаңа буын мобильді байланысы әртүрлі байланыс жүйелерін функционалды интеграциялауды қамтуы тиіс, онда пайдаланушы бірнеше байланыс жүйесіне қол жеткізу үшін бір ғана терминалды қолдана алады (Harada, 2005). Осындай терминалдарды құрудағы ең перспективалы технология – бағдарламалық анықталатын радио жүйелерінің (SDR, Software-Defined Radio) технологиясы, яғни пайдаланушыларға бағдарламалық жасақтаманы өз бетінше өзгерте отырып, әртүрлі байланыс және хабар тарату жүйелері арасында ауысуға мүмкіндік береді (Mitola et al., 1999; Dillinger et al., 20023). Зерттеуде SDR радио жүйелердің аппараттық бөлігінен максималды тәуелсіздікке қол жеткізуге бағытталған. SDR жүйелерінде қабылдағыш пен таратқыштың (клиент және сервер) негізгі функциялары бағдарламалық деңгейде жүзеге асырылды, яғни олардың икемділігі мен әмбебаптығын қамтамасыз етеді.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Қазіргі уақытта КШД сипаттамалары тәуелсіз қателіктері немесе сөнетін арналар үшін кеңінен зерттелді. Мұндай арналарда бұл әдістер тіпті өте ұзын кодтарды декодтау кезінде оңтайлы декодердің тиімділігіне жақын нәтиже береді. Осы арналар үшін КШД тиімділігін жақсартудың бірнеше тәсілдері белгілі, олар КШД жұмысының тиімді аймағын арнаның өткізу қабілетіне жақындатады. Нәтижесінде, КШД аппараттық және бағдарламалық нұсқалары Турбо-кодтау және төмен тығыздықтағы кодтарды (LDPC) декодтаудың ең үздік әдістерімен салыстырмалы деңгейде энергетикалық ұтыс береді, ал жұмыс жылдамдығы ондаған есе жоғары болады (Seksembayeva et al., 2022; Satybaldina et al., 2021; Sailaukyzy et al., 2023; Satybaldina et al., 2024). Сонымен қатар, қазіргі заманғы байланыс желілері сигналдардың көпсәулелі таралуы, доплер ығысуы және басқа да көптеген себептерге байланысты әлдеқайда күрделі жағдайда жұмыс істейді (Satybaldina et al., 2024; Seksembayeva et al., 2021). Нәтижесінде, арнадағы қателіктер топталып, пакеттерге бірігеді. Мұндай жағдайларда кодтауды қолдану әсері тәуелсіз қателіктері бар арналарға қарағанда әлдеқайда жоғары, өйткені кейбір жағдайларда таратқыштың қуатын арттыру арқылы деректердің сенімділігін арттыру мүмкін емес.

КШД жұмыс істеу қағидасы.

Тексеру қосындысы. Декодер деректерді тексеру үшін арнайы ережелерді қолданады. Әрбір тексеру нәтижесінде символ дұрыс па, жоқ па, оны анықтайды. Егер тексеру нәтижесі 0 немесе 1 болса, мәндер қосылады.

$$L_k = \sum_{m=1}^J S_{g_m} + r_k, \quad (1)$$

Мұнда $J = d-1$ тексерулер саны; r_k декодталатын u_k символына қатысты айырма регистрінің символы (0 немесе 1); S_m символына қатысты тексерулер жиынына кіретін синдромдық регистрдің m -ші элементі.

Шектік тексеру: Егер тексерулердің қосындысы белгілі бір шектік мәннен (шектен) жоғары болса, декодер қабылданған символды өзгертеді яғни $L_k > T$ болса, мұндағы $T \geq (d-1)/2$ элементтің шегі, онда u_k символы және онымен байланысты барлық тексерулер $\{S_{g_m}\}_{m=1..J}$ мен r_k символы кері мәнге өзгереді.

Келесі символды тексеру: Жоғарыда сипатталған процесс әрбір символ үшін қайталанатын. Егер байланыс жүйесінде қолданылатын кодтау жүйесі қателердің таралуын азайтатын критерийге сәйкес таңдалып, КШД параметрлері дұрыс реттелсе, онда шу деңгейі жоғары болған жағдайда КШД нәтижелері оңтайлы декодердің нәтижесіне жақындайды. 1 суретте КШД жұмыс алгоритмі ұсынылған.



1-сурет. КШД жұмысының алгоритмі

Ескерту – авторлармен құрастырылған

КШД артықшылығы деректердегі қателерді тиімді түрде түзетіп, артық энергия жұмсамай, сигнал-шум қатынасы нашар болған жағдайда да деректердің дұрыс берілуін қамтамасыз ете алады.

Декодерді қолдану кезінде, әртүрлі параметрлерді дұрыс баптап, декодтау қателерін минимизациялау үшін жүйе оңтайлы болуы керек. КШД бағдарламалық қамтамасыздандыру жағынан да, аппараттық тұрғыдан да өте икемді, және оны әртүрлі байланыс арналарында қолдануға болады (Zolotarev et al., 2017). Ұсынылған әдістер үлкен шу кезінде жұмыс істегенде бағдарламалық және аппараттық тұрғыдан өте күрделі болып келеді, бұл олардың жоғары жылдамдықты деректерді беру жүйелерінде практикалық қолданылуын қиындатады. Сонымен қатар, бұл кодтар оңтайлы емес, сондықтан олардың тиімділігін байланыс арнасының өткізу қабілетіне жақындату қиынға соғады. Қатені түзету алгоритмдерін әзірлеудегі тиімді бағыттардың бірі – ресейлік ғалымдар, соның ішінде біздің зерттеу тобымыз бірлесіп дамытып жатқан көп шекті декодерлер. Гаусс арнасындағы КШД бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижелері бұл әдістер өте ұзын кодтарды сызықты күрделілікпен декодтауға мүмкіндік беретінін, сонымен қатар қатені

түзетудің жақсы мүмкіндіктерін көрсететінін анықтады. КШД алгоритмі екілік Гаусс арнасында түйілген кодтар түрінде жүзеге асырылған, демодулятордағы сигналдың 4 биттік квантталуында.

КШД алгоритмінің тағы бір ерекшелігі – күрделілігі төмен бола отырып, күрделі алгоритмдерден асып түсуі. Мысалы, $E_b/N_0 = 1,8$ дБ кезінде 40 итерациялы қарапайым КШД декодері Витерби және Рид-Соломон кодының каскадтық схемасынан да жақсы нәтиже көрсетеді. Бұл энергия тиімділігі мен кідірісті азайту мүмкіндігін береді, яғни жоғары жылдамдықты жүйелерде өте маңызды.

Нәтижелер және оларды талқылау. Цифрлық радио жүйелердің деректерді жеткізу тиімділігін арттыру мақсатында КШД қолдана отырып, бірлескен итерациялық демодуляция/декодтау әдістері жүзеге асырылды. Итерациялық демодуляция/декодтау схемасының қателерді түзету жұмысының эксперименттік сипаттамалары Python тілінде имитациялық модельдеу техникасы арқылы алынды. SDR жүйелерінде қабылдағыш пен таратқыштың негізгі функциялары бағдарламалық деңгейде жүзеге асырылды. Wi-Fi арқылы клиент-сервер қосымшасы негізінде радиоканалдар арқылы деректерді беру процесі қарастырылады, онда ақ гаусс шуылын (AWGN) қосу арқылы өшу немесе шу жағдайы моделденеді.

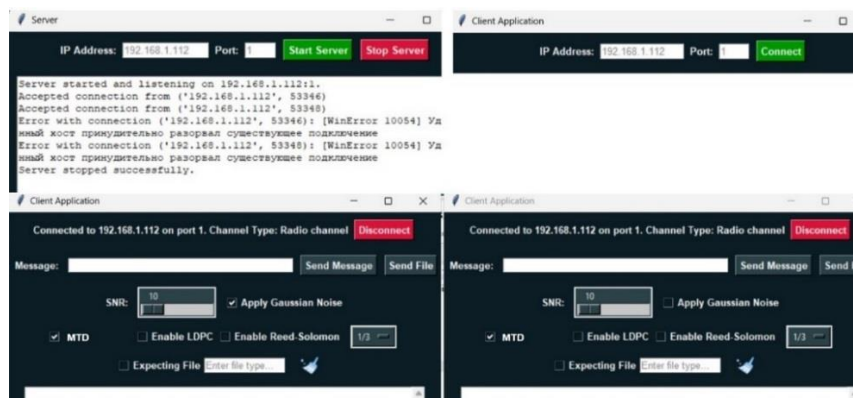
Wi-Fi желісі арқылы клиент пен сервер арасында деректер алмасу жүзеге асырылады, деректер арнасын құру сервер сокетын инициализациялаудан басталады (2 сурет):

Сервер

```
def start_server(ip, port):
    with socket.socket(socket.AF_INET,
socket.SOCK_STREAM) as server_socket:
        server_socket.bind((ip, port))
        server_socket.listen()
        log(f"Server is listening on {ip}:{port}\n")
        while True:
            conn, addr = server_socket.accept()
            clients[conn] = addr
            threading.Thread(target=handle_client,
args=(conn, addr)).start()
        def log(message):
            log_text.insert(tk.END, message)
```

Клиент

```
def handle_client(conn, addr):
    log(f"New connection from {addr}\n")
    try:
        while data := conn.recv(1024):
            broadcast(data, addr)
    except ConnectionResetError:
        log(f"Connection reset by {addr}\n")
    finally:
        conn.close()
        remove_client(conn)
        log(f"Connection closed by {addr}\n")
    def log(message):
        log_text.insert(tk.END, message)
```

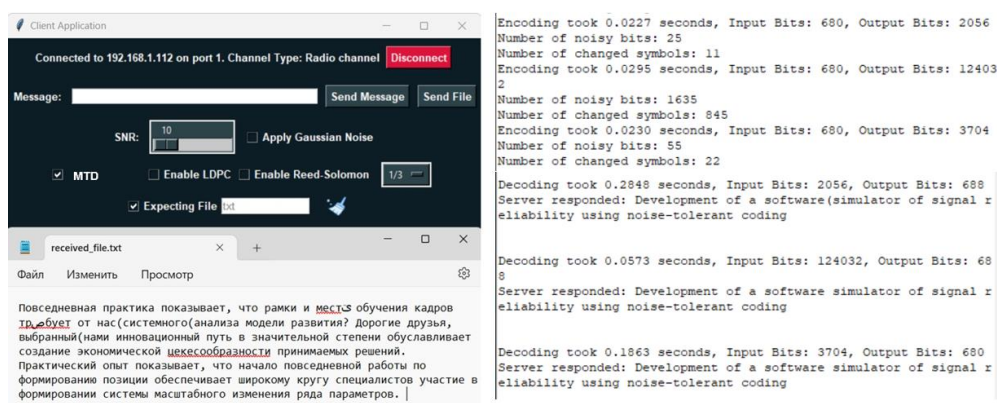


2-сурет. SDR жүйелерінде қабылдағыш пен таратқыштың негізгі функциялары
Ескерту – авторлармен құрастырылған

Сөну және шуды модельдеу:

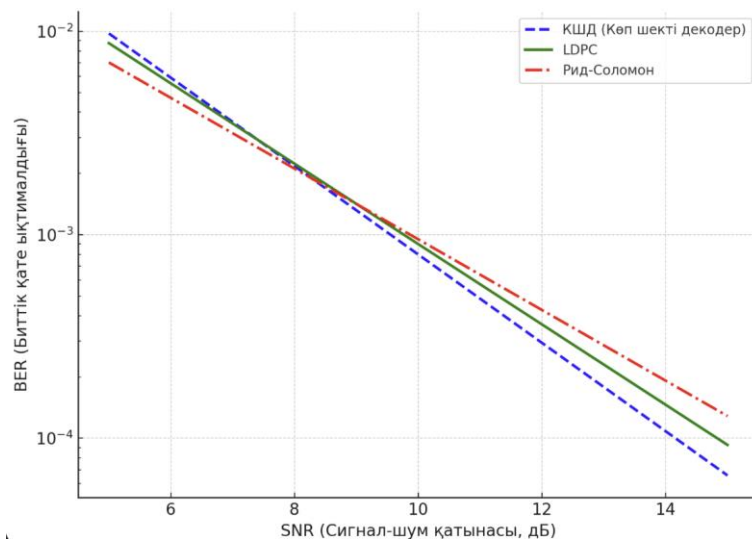
```
import random
def add_noise_to_text(encoded_message, n_errors=5, fading_prob=0.1):
    message_list = list(encoded_message)
    for i in range(len(message_list)):
        if random.random() < fading_prob:
            message_list[i] = 0 # Байттарды 0-ге теңестіру арқылы немесе кездейсоқ мәнмен
ауыстыруға болады
    for _ in range(n_errors):
        index = random.randint(0, len(message_list) - 1)
        message_list[index] ^= random.randint(0, 255)
    return bytes(message_list)
```

Деректерді беру және өңдеу: Клиент серверге деректерді жібереді, онда деректер шуға ұшырап, қайтадан өңделіп клиентке жіберіледі (3-сурет).



3-сурет. Деректерді беру және өңдеу

Ескерту – авторлармен құрастырылған



4-сурет. BER мен SNR арасындағы тәуелділік

Ескерту – авторлармен құрастырылған

Ұсынылған бағдарламалық қамтамасыз ету көмегімен КШД, LDPC және Рид-Соломон кодтау әдістерін қолдану арқылы сөнетін каналдардағы деректерді жеткізу тиімділігін талдауға мүмкіндік берді (4-сурет). Әрбір әдіс бойынша модельдеу жүргізіліп, SNR деңгейі өзгергенде биттік қате ықтималдығы (BER) бағаланды.

1-кесте. Кодтау әдістерін қолдану арқылы сөнетін каналдардағы деректерді жеткізу тиімділігін талдау нәтижесі

Параметр	КШД	LDPC	Рид-Соломон
Энергия тұтынуды төмендету	12-18 %	8-12 %	5-8 %
BER азаюы (SNR = 10 дБ)	$10^{-3} \rightarrow 8 \times 10^{-4}$	$10^{-3} \rightarrow 9 \times 10^{-4}$	$10^{-3} \rightarrow 9.5 \times 10^{-4}$
Сөну жағдайларындағы дәлдік	10-15 %-ға жақсарту	8-12 %-ға жақсарту	5-10 %-ға жақсарту
<i>Ескерту – авторлармен құрастырылған</i>			

Алынған нәтижелер көрсеткендей, КШД ең жоғары тиімділікті көрсетті. Әсіресе төмен SNR мәндерінде КШД басқа әдістермен салыстырғанда биттік қате ықтималдығын айтарлықтай төмендетті. Бұл КШД-ның жоғары тиімділігін және қателерді түзету қабілетін айқындайды. LDPC және Рид-Соломон кодтау әдістері де жақсы нәтижелер көрсетті, бірақ олардың тиімділігі КШД-ға қарағанда сәл төмен болды. Бұл әсіресе күрделі сөну жағдайларында айқын байқалды (1-кесте).

Қорытынды. Зерттеу барысында цифрлық радио жүйелердің энергетикалық тиімділігін арттырудың түрлі әдістері қарастырылды. Зерттеу үш негізгі әдісті қамтыды: Көп шекті декодер, LDPC және Рид-Соломон кодтары. Алынған нәтижелер КШД-дың басқа әдістермен салыстырғанда энергетикалық тұрғыдан ең тиімді әдіс екенін көрсетті.

Зерттеу нәтижелері бойынша, КШД-ды қолдану жүйенің энергия тұтынуын 12-18 %-ға төмендетуге мүмкіндік берді. LDPC және Рид-Соломон кодтары да жақсы нәтижелер көрсеткенімен, олардың энергетикалық тиімділігі КШД-дан төмен болды. Бұл КШД-дің күрделі радиоканалдардағы, әсіресе сөнетін жағдайларында, деректерді жеткізу сапасын жақсартуда маңызды рөл атқаратынын көрсетеді.

Сонымен қатар, алынған нәтижелер көрсеткендей, КШД өте ұзын кодтарды тіпті төмен есептеуіш күрделілікпен іс жүзінде оңтайлы декодтауға қабілетті болғандықтан, сөнетін түрлері, соның ішінде көпсәулелі арналардағы аралас сигналдар кезінде жоғары тиімділікті қамтамасыз етеді. Мұндай жағдайларда қысқа кодтар тиімсіз болып қалса да, КШД жоғары тиімділік көрсетеді. КШД күрделі қателер сипаттамалары бар заманауи жоғары жылдамдықты цифрлық деректерді беру жүйелерінде қолдануға жарамды екенін дәлелдейді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрілігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант AP19679505 – «Тізбекті кодтардың көп шекті декодтау алгоритмдерін зерттеу мен дамыту және оларды жоғары жылдамдықта сөнетін радиоарналар үшін бағдарламалық-аппараттық имплементациялау»).

Әдебиеттер тізімі

- Dillinger M., Madani K., Alonistioti N. (2003). Software Defined Radio: Architectures, Systems, and Functions. Wiley, 454 p
- Filimonov A.A., Slipenchuk K.S. (2020). The processing of OFDM system signals in dispersion channel. Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – Pp. 1428-1432.

- Harada H. (2005). Software defined radio prototype toward cognitive radio communication systems. Proceedings of the First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN 2005), Baltimore, MD, USA, pp. 539-547. doi: 10.1109/DYSPAN.2005.1542667.
- Massey J.L. (1963). Threshold Decoding. Massachusetts Institute of Technology, Research Laboratory of Electronics.
- Mitola J., Maguire G.Q. (1999). Cognitive radio: making software radios more personal. IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 13-18. doi: 10.1109/98.788210.
- MUllah A., Ogiwara H. (2011). Performance improvement of multi-stage threshold decoding with difference register. IEICE Trans. Fundam. Electron. Commun. Comput. Sci., vol. 94, no. 6, pp. 1449-1457.
- Satybaldina D.Zh., Zolotarev V.V., Ovechkin G.V. (2021). New concatenation schemes based on the multithreshold decoders of convolutional self-orthogonal codes for gaussian channels. Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, vol. 9, no. 4, pp. 51-62.
- Sailaukyzy Zh., Satybaldina D., Danenova G., Kokkoz M., Tashatov N. (2023). Design of Majority Decoded Codes and Decoding Algorithm Based on Error Propagation Analysis. 7th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS 2023).
- Satybaldina D., Zolotarev V., Ovechkin G., Khassenova Z. (2024). Specifics of applying multi-threshold decoding methods to correct errors in fading communication channels. Journal of Electrical Systems, vol. 20, special issue, pp. 4003-4012.
- Seksembayeva M.A., Tashatov N., Ovechkin G.V., Seitkulov Y.N. (2022). Modeling of communication channels with multipath propagation of signals by noise-immunity coding procedures in the frameworks of LTE standard. Journal RENSIT.
- Seksembayeva M.A., Tashatov N., Ovechkin G.V., Satybaldina D., Seitkulov Y.N. (2021). Study of the principles of error correcting code in a multipath communication channel with intersymbol interference. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 99, no. 18.
- Yatribi A., Belkasmı M., Ayoub F. (2020). Gradient-descent decoding of one-step majority-logic decodable codes. Physical Communication, vol. 39, article no. 100999.
- Zolotarev V.V., Satybaldina D.Zh., Chulkov I.V., et al. (2017). Review of achievements in the optimization coding theory for satellite channels and Earth remote sensing systems: 25 years of evolution. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, vol. 14, issue 1, pp. 9-24. doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-9-24.
- Zolotarev V.V., Zubarev Y.B., Ovechkin G.V. (2015). Optimization Code Theory and Multithreshold Algorithms. Geneva, ITU, 159 p. (E-book: <http://www.itu.int/pub/S-GEN-OCTMA-2015>).
- Филимонов А.А., Карташевский В.Г., Беспалов А.Н., Котков К.В. (2019). Прием сигналов OFDM со сверточным кодированием в каналах с памятью и быстрыми замираниями. Радиотехника, № 6, С. 48-53.// Filimonov A.A., Kartashevskij V.G., Bepalov A.N., Kotkov K.V. (2019). Priem signalov OFDM so svertochnym kodirovaniem v kanalah s pamyat'yu i bystryimi zamiraniyami. Radiotekhnika, № 6, S. 48-53
- Шеннон К.Е. (1963). Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике: сб. ст. М., 1963, С. 243-332.// SHennon K.E. (1963). Matematicheskaya teoriya svyazi. Raboty po teorii informacii i kibernetike: sb. st. M., 1963, S. 243-332

Information about authors

Sailaukyzy Zhuldyz – Ph.D., Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: zhuldyzsailaukyzy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7605-7634, +7 7027269206

Danenova Gulmira Tulendievna – Ph.D., Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: guldan72@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3301-7282, +7 701 745 4519

Kokkoz Mahabbat Meiramovna – Ph.D., Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: mahabbat_k@bk.ru, ORCID: 0000-0002-6232-1868, +7 700 461 8846

ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ
СВЕТОВОДНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ
FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_191
MFTAA 49.44.31

И.Б. Шедреева¹, Р.Д. Джанузакова¹, Ф.Ж. Карнакова¹, Қ.Ж. Наурыз²

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

E-mail: indisher@mail.ru

E-mail: rdd-taraz@mail.ru

E-mail: gaini.karnakova@mail.ru

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті КеАҚ,
Астана қ., Қазақстан

E-mail: naurizastana@mail.ru*

ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ҚИҒАШ БРЭГГ ТОРЛАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ НАКЛОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

**INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE PARAMETERS
OF TRANSVERSE BRAGG GRATINGS**

Аңдатпа. Ұсынылып отырған мақалада оптикалық технологияларға негізделген әртүрлі басқару әдістерінің қазіргі таңда өзекті екендігі және техника мен ғылым салаларынан басқа да бағыттарда қолданылатындығы айтылады. Брэгг торларына, оның ішінде қиғаш Брэгг торларына деген қызығушылықтың бар екендігі айтылады. Қиғаш Брэгг торының пайда болған тарихына қысқаша тоқталып, оның анықтамасына орын берілген. Ерекшеліктеріне тоқталып, негізгі формулалары жан-жақты қаралды. Зерттеу барысында алынған кішігірім мәліметтер алынып, сол бойынша температуралық диапазондарда жасалған эксперименттер бойынша мәліметтер берілген. Спектрлік сипаттамалардың топтамалары жайлы деректер мен Брэгг, сонымен қатар хост толқын ұзындықтары бойынша қиғаш Брэгг торының (ҚБТ) температураға тәуелділігін көрсететін графиктері де ұсынылды. Сонымен қатар ҚБТ-ның температуралық сезімталдығы мен коэффициенттері есептеліп, нәтижелері кесте түрінде көрсетілді.

Түйін сөздер: қиғаш Брэгг торы (ҚБТ), спектральды сипаттамасы, талшықты Брэгг торы, өткізу спектрлері, тиімді сыну көрсеткіші, толқын ұзындығы.

Аннотация. В представленной статье говорится, что различные методы управления на основе оптических технологий в настоящее время актуальны и используются не только в технике и науке. Также, рассматривается существующий интерес к решеткам Брэгга, в том числе к наклонным решеткам Брэгга. Кратко рассмотрена история наклонной брэгговской решетки и дано ее определение. Ориентируясь в их особенности, были подробно рассмотрены основные формулы. Приведены краткие сведения о проведенных исследованиях, а также данные об экспериментах, проведенных в определенных температурных диапазонах. Приведены наборы спектральных характеристик и графики температурной зависимости брэгговской и основной (хост) длин волн НБР. При этом были рассчитаны температурная чувствительность и коэффициенты НБР и результаты представлены в виде таблицы.

Ключевые слова: наклонная брэгговская решетка (НБР), спектральная характеристика, волоконная решетка Брэгга, спектры пропускания, эффективный показатель преломления, длина волны.

Abstract. The presented article states that various control methods based on optical technologies are currently relevant and are used in areas other than engineering and science. It is said that there is interest in Bragg gratings, including oblique Bragg gratings. The history of the oblique Bragg grating is briefly discussed, and its definition is given. Focusing on their features, the main formulas were reviewed in detail. Brief details of the conducted research are given, and data on experiments performed in certain temperature ranges are given. Sets of spectral characteristics are given, and graphs of temperature dependence of Bragg and host wavelengths of OBG are given. At the same time, the temperature sensitivity and coefficients of OBG were calculated and the results were presented in the form of a table.

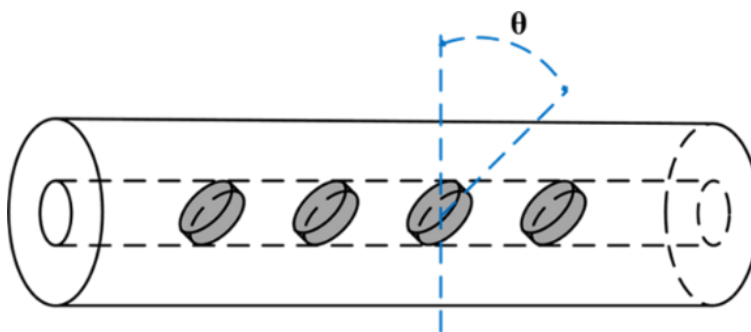
Keywords: *oblique Bragg grating (OBG), spectral characteristic, fiber Bragg grating, transmission spectra, effective refractive index, wavelength.*

Кіріспе. Қазіргі таңда оптикалық сәулеленуді басқару әдістері ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында кеңінен қолданылады. Осыған байланысты жарық толқындарының келесідей параметрлерін ауыстыруға болады: амплитудасын, жиілігін, фазасын, поляризациясын және таралу бағыттарын. Модуляторлар, дефлекторлар және сүзгіштер сияқты оптикалық аспаптар аса жылдам әрекетімен, төмен қуатпен басқарылуымен, құрылымының қарапайымдылығымен және жоғары сенімділігімен ерекшеленеді. Осы артықшылықтары, олардың тек лазерлік физикада ғана емес, сонымен бірге өлшеу техникасында, экологияда, медицинада, әскери салада және т.с.с. орындарда кеңінен қолдануын қамтамасыз етті (Zhao N., Zhang Z. & Lin Q., 2022; Волошин А.С., 2016).

Әдебиеттерге шолу. Бүгінде қиғаш Брэгг торларының оптикалық параметрлеріне температураның әсері іс жүзінде жеткіліксіз зерттелген. Сонымен температура әсеріне қатысты қиғаш Брэгг торларының оптикалық параметрлерінің қалай өзгередігін бағалайтын жан-жақты зерттеулер жүргізілгендігі жайлы толық ақпарат жоқ. Қиғаш Брэгг торларының (ҚБТ) спектральды сипаттамалары мен параметрлері температура тәуелді, сондықтан оларды температура сенсоры (датчигі) ретінде қолдану мүмкін (Morana A., Marin E. & Lablonde L., 2022; Кадирбаева Г.К., Чежимбаева К.С., 2022).

1990 жылы алғаш рет, Optical Fiber Communication конференциясында Г.Мельца теориялық модель ұсынды, аталған үлгі (модель) ҚБТ-лары көмегімен оптикалық талшықтардағы (ОТ) модааралық байланысты дәлелдеді. Қиғаш Брэгг торы (ҚБТ) - жарықты бағыттайтын орта қимасына сәйкес нөлге тең емес көлбеу бұрышты штрихтар болып табылады. Қиғаш торлардың кәдімгі торлардан айырмашылығы, мұнда өзекшенің негізгі модасымен қатар (қарсы бағытта таралатын), жарықты бағыттайтын ортаның қабықшасы модасы мен өзекше модасы арасындағы байланысты да орындайды, яғни оптикалық талшық (ОТ) өзешесіндегі сәулеленудің (моданың) бір бөлшегін оның қабықшасына қайтара алады (Крыкбаев М., Шедреева И., Тлешова А., 2020; Delgado-Pinar M., Díez A., Cruz J. L., & Andrés M. V., 2022).

Материалдары мен зерттеу әдістері. ҚБТ-ларындағы оптикалық талшықта өз осі бойынша сыну көрсеткішінің периодты түрдегі модуляциясы қарастырылған, оның қарапайым талшықты Брэгг торынан айырмашылығы келесідей: күрделі модалық өзара байланысқа (әрекеттесуге) әкелетін талшықтың көлденең қимасы мен тор жазықтығы арасында нақты көлбеу бұрышының орын алуы болып табылады. Қиғаш Брэгг торының (ҚБТ) сұлбалық көрінісі 1-суретте көрсетілген (Шедреева И., 2024; Крыкбаев М., Шедреева И., Тлешова А., 2020).



1-сурет. Қиғаш Брэгг торының сұлбалық көрінісі

Ескерту – авторлармен (Шедреева И., 2024) негізінде құрастырылған

Брэгг торының талшықтарына кең спектрлі жарық шоқтары жіберілгенде, әрбір сегмент бейнесі жарық шоғының тек нақты толқын ұзындығына әсер етеді. Сыну көрсеткішінің тиімділігіне температураның ыдырауы мен өзгеруі әсер етеді. Бұл шағылысқан толқын ұзындығының ығысуына әкеледі. ҚБТ-ның келтірілген жағдайын келесідей формула көмегімен сипаттауымызға болады (Paschotta R., 2023; Зеленовский П.С., 2019; Dionísio R., 2022):

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

мұндағы: Λ – тордың периоды; $\Delta\lambda_B$ – Брэгг толқыны ұзындығының ығысуы (жылжуы); λ_B – берілген Брэгг толқынының ұзындығы; k – беріктік коэффициенті; ε – кернеу; ΔT – температура өзгерісі; n_{eff} – өзекшенің тиімді сыну көрсеткіші.

Теңдеудің (1) бірінші бөлігі тиімді сыну көрсеткішінің және тор периодының Брэгг толқыны ұзындығына әсерін сипаттаса, екінші бөлігі кернеу мен температураның толқын ұзындығының ығысуына әсерін бейнелейді.

(1) теңдеуіне сәйкес Брэгг толқыны ұзындығының өзгеруін оның ұзаруы мен температураның өзгеруімен байланысын келесідей көрсетуге болады (Dionísio R., 2022):

$$\lambda_B = 2 \left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial l} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial l} \right) \vartheta \Lambda + 2 \left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right) \Delta T \quad (2)$$

Теңдеудің (2) бірінші бөлігінде ұзарудың әсері, ал екінші бөлігінде температура өзгерісінің жарық бағыттауышқа әсері көрсетілген.

Брэгг торының деформациялануы мен температурасының өзгеруі келесілердің өзгеруіне алып келеді, атап айтсақ сыну көрсеткіші және тор периодының. Өзгерісті келесі формула түрінде көрсетуге болады (Fernández-Medina A., Frövel M. & López Heredero R., 2023):

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B \{ (1 - pe)\varepsilon + (\alpha_\Lambda + \alpha_n)\Delta T \} \quad (3)$$

мұндағы: ε – салыстырмалы деформация; $\alpha_\Lambda = \left(1/\Lambda \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right)$ – кеңею коэффициенті (температуралық), мысалы кварц шынысы үшін оның мәні $\alpha_\Lambda = 0,55 \cdot 10^{-6}$; $\alpha_n = \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial T} \right)$ – температуралық-оптикалық коэффициент (германий қосылған кварц өзекшесі үшін $\alpha_n = 8,6 \cdot 10^{-6}$); pe – деформациялық-оптикалық коэффициенті, ал pe – келесі теңдеумен анықталады (Зеленовский П.С., 2019; Dionísio R., 2022):

$$pe = \frac{n_{eff}^2}{2} [P_{12} - \vartheta(P_{11} + P_{12})] \quad (4)$$

мұндағы: P_{11} және P_{12} – эластикті оптикалық коэффициенттер; ϑ – Пуассон тұрақтысы.

Германий қосылған кварц шынысы үшін олардың мәндері $P_{11} = 0,113$, $P_{12} = 0,252$, $\vartheta = 0,16$, ал $n_{eff} = 1,482$.

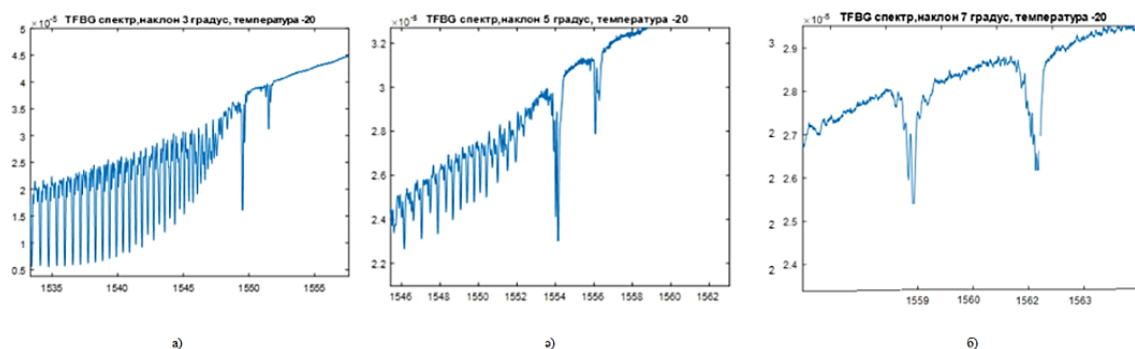
Жоғарыда келтірілген (2) формулаға сай Брэгг торының K_T – температурасын және K_ε – деформацияның салыстырмалы сезімталдық коэффициентін табуымызға болады. Деформациялану жағдайындағы тордың K_T – температуралық салыстырмалы сезімталдық коэффициентін келесідей формула көмегімен көрсетуге болады [Fernández-Medina A., Frövel M. & López Heredero R., 2023; Tolegenova A., Kisala P. A., Zhetpisbayeva A. & Mamyrbayev O., 2019):

$$K_T = \frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B \Delta T} = (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \approx 9,15 \cdot 10^{-6}, K^{-1} \quad (5)$$

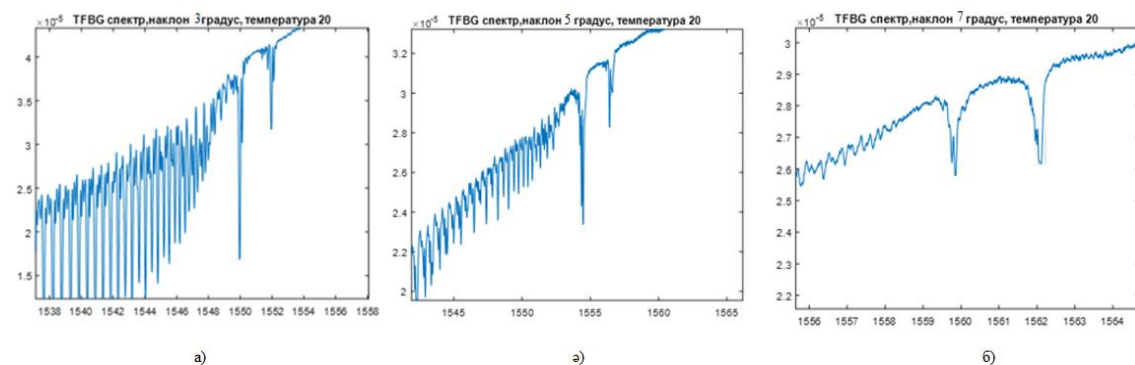
Бұл дегеніміз, толқын ұзындығы 1550 нм болғанда Брэгг тордың сезімталдық өлшемі келесідей болатыны білдіреді (Зеленовский П.С., 2019; Dionísio R., 2022):

$$K_T = \frac{\Delta\lambda_B}{\Delta T} = K_T \cdot \lambda_B \approx 14,2 \text{ па/К.} \quad (6)$$

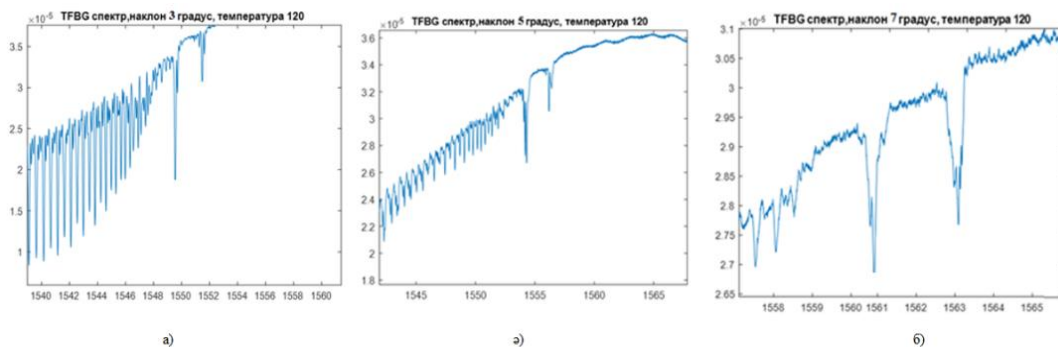
Арнайы зертханалық аппаратта келесі температуралық диапазондарда (-20 °С-тан 120 °С дейінгі) эксперименттік зерттеулер жүргізілді, зерттеуде келесі өзгеру қадамы алынды: 10 °С (қыздыруда) және 120 °С-тан -20 °С дейін (суыту бойынша). Зерттеу барысындағы тарату сипаттамаларын өлшеуге спектр анализаторы пайдаланылса, температураларды өлшеу үшін арнайы климатикалық камера қолданылды. Оптикалық спектр анализаторы спектрлік жауабы ретінде ҚБТ шағылысу сигналының амплитудасын, ал толқын ұзындығының ығысуы ретінде температураның өзгеруін пайдаланылады. Температураға байланысты Брэгг және хост (ghost) резонансының толқын ұзындығы байқалды. ҚБТ-ның толқын ұзындығы резонанстық ығысу (жылжуы) 0,1 нм бөлінуі кезінде өлшеніп алынды. Тордың спектрі бойынша келесі температуралық диапазондарда өлшеулер жүргізілді (қыздыру үшін: -20 °С-тан 120 °С; суыту үшін: 120 °С-тан -20 °С дейін). Төмендегі суреттерде (2-сурет (а, ә, б), 3-сурет (а, ә, б), 4-сурет (а, ә, б)) берілген температураға байланысты Брэгг пен хост толқын ұзындығының өзгеру графиктері келтірілген (Шедреева И., 2024; Шедреева И.Б., Джанузакова Р.Д., Темирғалиев Т.К., 2023).



2-сурет. -20 °С (қыздыру) кезіндегі ҚБТ спектрлі сипаттамасы
Ескерту – авторлармен (Шедреева И., 2024) негізінде құрастырылған



3-сурет. 20 °С (қыздыру) кезіндегі ҚБТ спектрлі сипаттамасы
Ескерту – авторлармен (Шедреева И., 2024) негізінде құрастырылған

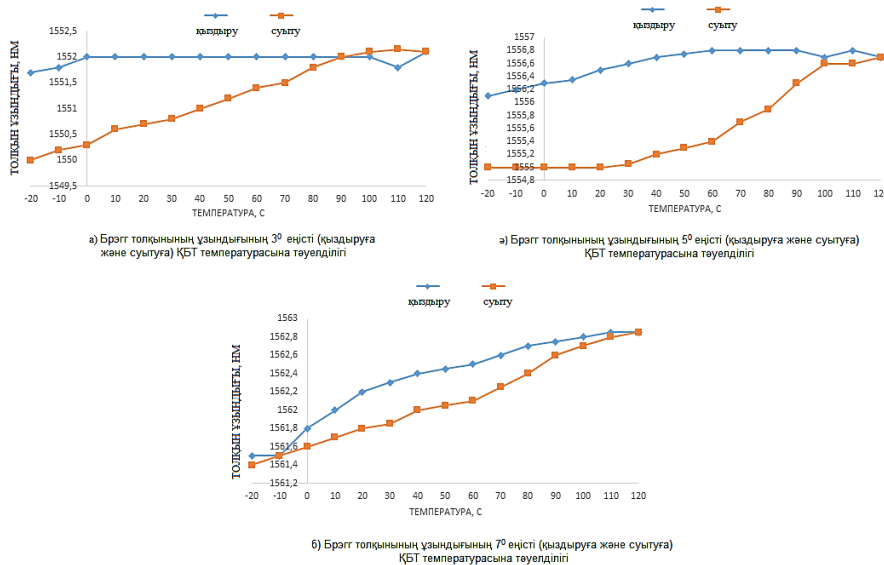


4-сурет. 120 °С (қыздыру) кезіндегі ҚБТ спектрлі сипаттамасы

Ескерту – авторлармен (Шедреева И., 2024) негізінде құрастырылған

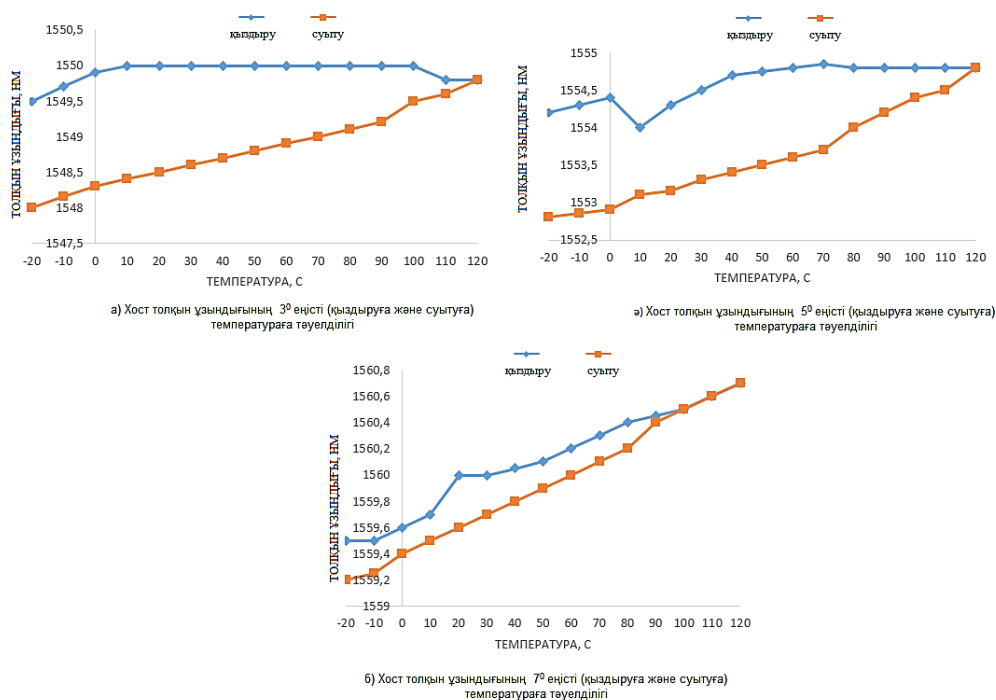
Нәтижелері және оларды талқылау. Жоғарыда келтірілген мәліметтер негізінде кестелер түзіліп, 3⁰, 5⁰, 7⁰ еңісті қиғаш Брэгг торларындағы Брэгг және хост толқын ұзындықтарының өзгеруіне температура әсерінің графигі тұрғызылды (температура -20⁰ тан +120⁰ және +120⁰-тан -20⁰ дейін). Графиктер келесі 5-6-суреттерде көрсетілген (зерттеу барысында анықталғандай Брэгг және хост толқын амплитудалары мүлде өзгермеген, графиктері сондықтан берілмеді) (Шедреева И., 2024; Қрыкбаев М., Шедреева И., Тлешова А. (2020).

5-6 суреттерде әрбір 10 градуска арналған, яғни -20-дан 120 дейін (қыздыруға) және 120-дан -20 дейін (суытуға) Брэгг және хост толқындарына арналған ҚБТ өлшеу нүктелері белгіленген. 3⁰, 5⁰, 7⁰ еңістіктің әрқайсысына Брэгг және хост толқын ұзындықтарының тәуелділік графиктері құрылған. Бір графикте қиғаш Брэгг торының әрбір еңістігіне арналған қыздыру және суыту үрдісі ұсынылған. Барлық тәуелділіктерден температура өзгергенде толқынның ұзындығының сызықты өзгеруін байқауға болады (Шедреева И., 2024; Шедреева И.Б., Джанузакова Р.Д., Темиргалиев Т.К., 2023; Қусаинова К.Т., Кабибулатов А.А., Хамзина Б.Е. & Жетписбаева А.Т., 2021).



5-сурет. Брэгг толқын ұзындығының ҚБТ температурасына тәуелділігі (3⁰ - 7⁰ ралығындағы еңісті, қыздыруға және суытуға арналған)

Ескерту – авторлармен (Шедреева И., 2024) негізінде құрастырылған



6-сурет. Хост толқын ұзындығының ҚБТ температурасына тәуелділігі (3^о - 7^о аралығындағы еңісті, қыздыруға және суытуға)

Ескерту – авторлармен (Шедреева И., 2024) негізінде құрастырылған

Салыстырмалы температура коэффициентін K_T келесідей түрде көрсетуге болады (Шедреева И., 2024; Зеленовский П.С., 2019; Dionisio R., 2022):

$$k_T = \frac{\frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B}}{\Delta T} = (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \approx 9,15 \cdot 10^{-6} K^{-1} \tag{7}$$

мұндағы: $\alpha_\Lambda = \frac{1}{\Lambda} \cdot \frac{\partial \Lambda}{\partial T}$ – оптикалық талшық кенеюінің температуралық коэффициенті, кварц шынысы үшін оның мәні $0,55 \cdot 10^{-6}$ тең; Λ – период (Брэгг торынын); $\alpha_n = \frac{1}{n_e} \cdot \frac{\partial n_e}{\partial T}$ – температуралық-оптикалық коэффициент (мысалы, германий қосылған кварц шынысы үшін оның мәні $8,6 \cdot 10^{-6}$ тең.

Брэгг торының температуралық сезімталдығын келесі формула (8) көмегімен анықтауымызға болады (Шедреева И., 2024; Tolegenova A., Kisafa P. A., Zhetpisbayeva A. & Mamyrbayev O., 2019):

$$K_T = \frac{\Delta \lambda_B}{\Delta T} = k_T \cdot \lambda_B, \tag{8}$$

мұндағы: λ_B - Брэгг толқынының ұзындығы;

$\Delta \lambda_B$ – толқын (Брэгг толқыны) ұзындығының өзгеріске ұшырауы.

Зерттеуде келесілер ескерілді: әрбір температуралық бөліктің сезімталдығы әрқилы, сондықтан, алынған нәтижелер барлық температуралық аралықтар үшін әрбір тордың дара орташа мәнін есептеу көмегімен анықталды (Шедреева И., 2024; Кусаинова К.Т., 2021).

Алынған, есептелген мәндер (температуралық сезімталдық, температуралық коэффициент) кесте түрінде ресімделді (Шедреева И., 2024).

Кесте. ҚБТ температуралық сезімталдығы мен температуралық коэффициенттері

Еңістік	Температура [$^{\circ}\text{C}$]	$k_T[\text{K}^{-1}]$		$K_T[\text{нм/К}]$	
		Брэгг	Хост	Брэгг	Хост
3 $^{\circ}$	-20 $^{\circ}$ ÷ 120 $^{\circ}$	2,31·10 $^{-6}$	2,33·10 $^{-6}$	3,56·10 $^{-3}$	3,57·10 $^{-3}$
	120 $^{\circ}$ ÷ -20 $^{\circ}$	5,91·10 $^{-6}$	5,95·10 $^{-6}$	9,21·10 $^{-3}$	9,28·10 $^{-3}$
5 $^{\circ}$	-20 $^{\circ}$ ÷ 120 $^{\circ}$	2,52·10 $^{-6}$	2,57·10 $^{-6}$	3,87·10 $^{-3}$	3,89·10 $^{-3}$
	120 $^{\circ}$ ÷ -20 $^{\circ}$	6,84·10 $^{-6}$	6,87·10 $^{-6}$	10,3·10 $^{-3}$	10,7·10 $^{-3}$
7 $^{\circ}$	-20 $^{\circ}$ ÷ 120 $^{\circ}$	2,71·10 $^{-6}$	2,74·10 $^{-6}$	4,22·10 $^{-3}$	4,28·10 $^{-3}$
	120 $^{\circ}$ ÷ -20 $^{\circ}$	7,51·10 $^{-6}$	7,54·10 $^{-6}$	10,9·10 $^{-3}$	11,3·10 $^{-3}$

Ескерту – авторлармен (Шедреева И., 2024) негізінде құрастырылған

Қорытынды. Зерттеулер бойынша мақалада келесідей қорытынды жасауымызға болады: Брэгг толқын ұзындығының температураға байланысты өзгеруі сызықты тәуелділікке ие, «хост» толқын ұзындығы да сызықты тәуелділікке ие. Алынған сызықты тәуелділік келесі температуралар диапазонында алынды: -20 $^{\circ}\text{C}$ -тан 120 $^{\circ}\text{C}$ дейін, 120 $^{\circ}\text{C}$ -тан -20 $^{\circ}\text{C}$ дейін. Температураның Брэгг және хост толқындарының амплитудасына әсері аз, іс жүзінде қолдануға жарамсыз. Сондықтан мақалада мұндай тәуелсіздік график түрінде көрсетілмеді, яғни тек ғана кестеге енгізілді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Ғылыми мақаланы жазу процесінде генеративті ЖИ және оның көмегімен технологияны қолдану туралы хабарлама. Бұл жұмысты дайындау кезінде автор(лар) ЖИ және оның көмегімен технологияны қолданданбағандығын хабарлайды.

Әдебиеттер тізімі

- Delgado-Pinar M., Díez A., Cruz J.L., & Andrés M.V. (2022). Bragg gratings and BIO-Bragg-gratings in tapered optical fibers. In EPJ Web of Conferences (Vol. 266, p. 11015). <https://doi.org/10.1051/epjconf/202226611015>.
- Dionísio R. (2022). Bragg Grating Tuning Techniques for Interferometry Applications. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106735>.
- Fernández-Medina A., Frövel M., López Heredero R., Belenguer T., de la Torre A., Moravec C., San Julián R., Gonzalo A., Cebollero M., & Álvarez-Herrero A. (2023). Embedded Fiber Bragg Grating Sensors for Monitoring Temperature and Thermo-Elastic Deformations in a Carbon Fiber Optical Bench. Sensors (Basel, Switzerland), 23 (14), 6499. <https://doi.org/10.3390/s23146499>.
- Morana A., Marin E., Lablonde L., Blanchet T., Robin, T., Cheymol, G., Laffont G., Boukenter A., Ouerdane Y., & Girard S. (2022). Radiation Effects on Fiber Bragg Gratings: Vulnerability and Hardening Studies. Sensors (Basel, Switzerland), 22(21), 8175. <https://doi.org/10.3390/s22218175>.
- Paschotta, R. Fiber bragg gratings. Internet. 25.12.2023. URL: http://www.rp-photonics.com/fiber_bragg_gratings.html.
- Tolegenova A., Kisała P. A., Zhetpisbayeva A., Mamyrbayev O., & Medetov B. (2019). Experimental determination of the characteristics of a transmission spectrum of tilted fiber Bragg gratings. Metrology and measurement systems, 26 (3), pp. 581-589. <https://doi.org/10.24425/mms.2019.129585>.
- Zhao N., Zhang Z., Lin Q., Yao K., Zhu L., Chen Y., Zhao L., Tian B., Yang P., Jiang Z. (2022). Research on the High Temperature and High-Pressure Gold-Plated Fiber Grating Dual-Parameter Sensing Measurement System. Micromachines. 13 (2):195. <https://doi.org/10.3390/mi13020195>.
- Волошин А.С. (2016) Особенности акустооптического взаимодействия в кристаллах с сильной акустической анизотропией: дис. 132 // Voloshin A.S. (2016) Osobennosti akustoopticheskogo vzaimodejstviya v kristallah s sil'noj akusti-cheskoj anizotropiej. dis. 132.
- Зеленовский П.С. (2019) Основы интегральной и волоконной оптики: учеб. пособие: Изд-во Урал. ун-та. 132. // Zelenovskij P.S. (2019) Osnovy integral'noj i volokonnoj optiki: ucheb. posobie: Izd-vo Ural. un-ta. 132.

- Кадирбаева Г.К., Чежимбаева К.С. (2022) Талшықты Брэгг торларын қолдана отырып оптикалық сенсорлардың жазу әдістерін талдау. Вестник АУЭС. Т. 4, №. 59. 90-100. // Kadirbaeva G.K., Chezhibaeva K.S. Talshyqy Brjegg torlaryn qoldana otырur optikalыq sensorlardyң zhazu әdisterin taldau. Vestnik AUJeS. T. 4. №. 59. 90-100.
- Кусаинова К.Т. (2021). Зависимость минимума спектра пропускания наклонных волоконных решеток Брэгга от температуры. Техника и технология современных производств. 96-101. // Kusainova K.T. (2021). Zavisimost' minimuma spektra propuskaniya naklonnyh volokonnyh reshe-tok Brjeggа ot temperatury. Tehnika i tehnologija sovremennyh proizvodstv. 96-101.
- Кусаинова К.Т., Кабибулатов А.А., Хамзина Б.Е., Жетписбаева А.Т., Иманмадилов Д.К. (2021) Применение волоконных Брегговских решеток. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 4. 58-62. // Kusainova K.T., Kabibulatov A.A., Hamzina B.E., Zhetpisbaeva A.T., Imanmadirov D.K. (2021) Primene-nie volokonnyh Breggovskikh reshetok. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issle-dovaniy. № 4. 58-62.
- Крыкбаев М., Шедреева И., Тлешова А. (2020) Практическая реализация эффекта самоадаптации в решетке Брэгга, показывающая отрицательный наклон характеристики. Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. Т. 131. №. 2. 94-100. // Krykbaev M., Shedreeva I., Tleshova A. (2020) Prakticheskaja realizacija jeffekta samoadaptacii v reshetke Brjeggа, pokazыvajushhaja otricatel'nyj naklon harakteristiki. Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N.Gumileva. Serija: Tehnicheskie nauki i tehnologii. T. 131. №. 2. 94-100.
- Шедреева, И. (2024) Анализ влияния температуры на оптические параметры косых решеток Брэгга. Монография. Алматы: Дарын. 106. // Shedreeva, I. (2024) Analiz vlijaniya temperatury na opticheskie parametry kosyh reshetok Brjeggа. Monografija. Almaty: Daryn. 106.
- Шедреева И.Б., Джанузаква Р.Д., Темиргалиев Т.К. (2023) Система измерения влияния температуры на спектральные характеристики косых Брегговских решеток. Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110-летию М.А. Гендельмана». Т. I, Ч. V. 155-156. // Shedreeva I.B., Dzhanzakova R.D., Temirgaliev T.K. (2023) Sistema izmerenija vlijaniya temperatury na spektral'nye harakteristiki kosyh Brjeggovskikh reshetok. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sejfullinskie chtenija – 19», posvjashhennoj 110-letiju M.A. Gendel'mana». T. I, Ch. V. 155-156.

Information about authors

Shedreyeva Indira – Phd Doctor, Taraz Regional University named after Dulati M.K., Taraz city, Kazakhstan, e-mail: indisher@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3911-0237, +77479333020

Raushan Dzhanuzakova – PhD Doctor, acting associate professor, Taraz Regional University named after Dulati M.K., Taraz city, Kazakhstan, e-mail: rdd-taraz@mail.ru, ORCID:0000-0001-7168-2676 87476816254, 87778715227

Karnakova Gaini – Phd Doctor, Taraz Regional University named after Dulati M.K., Taraz city, Kazakhstan, e-mail: gaini.karnakova@mail.ru, ORCID: +77051042003

Nauryz Kanysh – м.т.с., senior lecturer, NJSC "Kazakh Agrotechnical research University named after S. Seifullin", Astana, Kazakhstan, naurizastana@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7623-0767 +77024933159, +77784524973



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

ҚҰРЫЛЫС
СТРОИТЕЛЬСТВО
CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_199
MFTAA 67.01.00

Б.М. Абдеев¹, А.В. Хапин¹, Б.Е. Махиев¹, А.К. Алдунгарова², А.К. Айтказина¹

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

E-mail: babdeyev@edu.ektu.kz

E-mail: ahapin@edu.ektu.kz

E-mail: bmahiev@edu.ektu.kz*

E-mail: aaytkazina@edu.ektu.kz

²Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, г. Көкшетау, Қазақстан

E-mail: liya_1479@mail.ru

ҚАТТЫ ЦЕНТРИ БАР ДӨҢГЕЛЕК ОСЬТІК СИММЕТРИЯЛЫҚ МЕМБРАНАНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

ОПТИМИЗАЦИЯ ФИЗИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРУГЛОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ МЕМБРАНЫ С ЖЕСТКИМ ЦЕНТРОМ

OPTIMIZATION OF PHYSICAL AND GEOMETRICAL PARAMETERS OF A CIRCULAR AXISYMMETRIC DIAPHRAGM WITH A RIGID CENTER

Аңдатпа. Сызықтық қойылымда изотропты дөңгелек пластинаның – біркелкі таралған статикалық жүктемемен жүктелген, деформацияланбайтын, қозғалмайтын орталық дискісі бар мембрананың математикалық моделі қарастырылған. Осы негізде Губер-Генки-Мизестің классикалық беріктік гипотезасы түріндегі екі байланыс теңдеуімен және Кирхгофтың пластиналарының аз иілуінің техникалық теориясының белгілі негізгі болжамдарына сәйкес мембрананың қалыңдығын шектейтін геометриялық қатынаспен тарту (ауыстыру) күшінің мақсатты функциясының максимумынан серпімді элементтің ұтымды физика-геометриялық сипаттамаларын анықтау бойынша экстремалды есеп шешілді. Ұсынылған алгоритм мен есептеу техникасын көрсету үшін қалыңдығы мен сыртқы радиусы көрсетілген калий перманганатының мембранасының оңтайлы параметрлерін таңдаудың сандық мысалы келтірілген. Жұмыс нәтижелерін газдың немесе сұйықтықтың артық қысымы бақыланатын қысымды резервуарларды жобалау кезінде машина жасауда, авиацияда, аспап жасауда және құрылыста кеңінен қолданылатын жоғары дәлдіктегі мембраналық типтегі манометрлерді жобалау процесінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: кернеу, аққыштық шегі, орын ауыстыру, жүктеме, беріктік шарты.

Аннотация. В линейной постановке рассмотрена математическая модель изотропной круглой пластинки – мембраны с недеформируемым неподвижным центральным диском, нагруженной равномерно распределенной статической нагрузкой. На этой основе решена экстремальная задача определения рациональных физико-геометрических характеристик упругого элемента из условия максимума целевой функции тягового (перестановочного) усилия с двумя уравнениями связи в виде классической гипотезы прочности Губера-Генки-Мизеса и геометрического соотношения, ограничивающего толщину мембраны в соответствии с известными фундаментальными допущениями Кирхгофа технической теории малого изгиба пластин. Для иллюстрации предложенного алгоритма и методики расчета представлен

численный пример подбора оптимальных параметров мембраны из марганцовистой стали с заданными размерами толщины и внешнего радиуса. Результаты работы можно использовать в процессе проектирования высокоточных манометров мембранного типа, широко применяемых в машиностроении, авиации, приборостроении и строительстве при конструировании напорных резервуаров с контролируемым избыточным давлением газа или жидкости.

Ключевые слова: напряжение, предел текучести, перемещение, нагрузка, условие прочности.

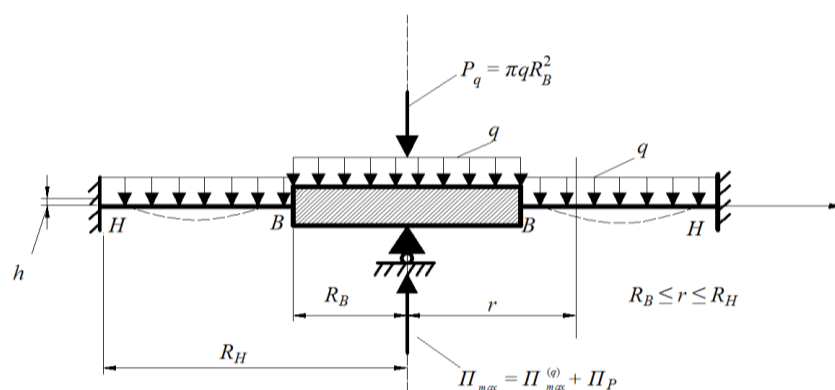
Abstract. The mathematical model of an isotropic circular plate-membrane with a non-deformable fixed central disk loaded by a uniformly distributed static load is considered in a linear formulation. On this basis, the extreme problem of determining the rational physical and geometrical characteristics of an elastic element from the condition of the maximum of the target function of the thrust (permutation) force with two coupling equations in the form of the classical Huber-Genke-Mises strength hypothesis and a geometrical relation limiting the membrane thickness in accordance with the known fundamental Kirchhoff assumptions of the technical theory of small plate bending is solved. To illustrate the proposed algorithm and calculation procedure, a numerical example of the selection of optimum parameters of a manganese steel diaphragm with given dimensions of thickness and outer radius is presented. The results of the work can be used in the process of designing high-precision membrane-type pressure gauges, widely used in mechanical engineering, aviation, instrumentation, and construction in the design of pressure tanks with controlled excess pressure of gas or liquid.

Keywords: stress, yield stress, displacement, load, strength condition.

Kіpіcne. Технологиялық жабдықтардың, машиналар мен аспаптардың есептік схемаларын жетілдіру және нақтылау соңғы онжылдықтарда оңтайлы жобалау әдістерінің қарқынды дамуына түрткі болды (Фролов, 1984). Бұл деформацияланатын қатты механика мен оңтайлы басқару теориясының түйіскен жерінде орналасқан салыстырмалы түрдегі жаңа ғылыми-техникалық бағыт (Абдеев, 2011). Бұл теориялық алғышарттар мен есептеу сатысында конструкциялардың материал сыйымдылығын айтарлықтай төмендетуге, олардың жоғары сенімділігі мен функционалдық сипаттамаларын сақтауға мүмкіндік береді (Филатов, 2021).

Орталық қатты дискісі бар сақина тәрізді мембрана аспап жасауда, авиацияда, машина жасауда, кеме жасауда және құрылыста кеңінен қолданылады. Бұл типтегі серпімді элементтер жоғары дәлдіктегі манометриялық аспаптар мен күш өлшегіш датчиктердің сезімтал бөлшектері ретінде қолданылады.

Манометрлердегі пластина-мембрананың қозғалуына кедергі келтіретін, қатты дискінің ортасында тіреу болған кезде сыртқы жүктемеден q туындайтын ауысу немесе тарту күші Π_T оның маңызды жұмыс параметрі болып табылады (1-сурет) (Пономарев, Андреева, 1980). Π_T шамасы серпімді элементтің сезімталдық шегін сипаттайды және белгілі бір құрылғыда мембрананы қолдану мүмкіндігін анықтайды.



1-сурет. Мембрананың есептелген теориялық моделі
Ескерту – (Пономарев, 1980) автор негізінде құрастырылған

Манометриялық серпімді деформацияланатын элемент таралған жүктемені q орын ауыстыруға түрлендіретін жағдайларда аспап механизмінің кедергі күшінен асатын ауысу күшін P_T дамытуы тиіс. Сонымен қатар, таралған жүктемені q оған пропорционал ауысу күшіне P_T айналдыратын мембраналық типтегі манометриялық құрылғылар бар. Мембрананы осындай пайдалану жағдайында құрылғының сапасын анықтайтын манометрдің негізгі өзгермелі (оңтайландыру процесінде) жұмыс сипаттамалары $P_T(q)$ тәуелділігі және оның ең үлкен мәні P_{max} болады.

Материалдар және зерттеу әдістері. Біртекті изотропты жұқа пластиналардың кернеулі деформацияланған күйінің сызықтық теориясының формулаларына (Вайнберг, 1970) сүйене отырып, мембрананың рационалды параметрлерін (X_1 , X_2 , X_3 айнымалылары) таңдаудың экстремалды оссимметриялық есебі (Лесин, Лисовец, 1998) қарастырылды:

$$X_1 = \frac{R_B}{R_H}; \quad X_2 = X_2(X_1) = \frac{h}{R_H} > 0; \quad X_3 = X_3(X_1, X_2) = q > 0; \quad (0 \leq X_1 \leq 1). \quad (1)$$

Бұл параметрлер пластинаның деформацияланатын сақина бөлігіне жүктеме q әсер еткенде $P_{max}^{(q)}$ тарту күшінің мақсатты функциясының максимумын қамтамасыз етеді (1-сурет) [9]:

$$P_q = P_q(X_1, X_3(X_1, X_2)) \quad (2)$$

Екі байланыс теңдеуі беріктік пен геометриялық шектеулерді ескереді және келесі өрнектерді білдіреді:

1) Құрылымның жүк көтергіштігін қамтамасыз ететін Губер – Генки – Мизес шарты. Ол материалдың аққыштық шегі σ_T және машина жасауда қолданылатын (Анурьев, 2001) нормативтік коэффициенті $[n_T]$ бар жазық кернеу күйі үшін төртінші беріктік теориясы (классикалық оңтайландыру) бойынша құрылғын теңдік түріне ие болады (Kharin, Abdeev, Makhiyev, 2020).

$$\sigma_{IV} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\theta^2} - \sigma_r \cdot \sigma_\theta = \frac{\sigma_T}{[n_T]}, \quad (3)$$

мұндағы σ_r , σ_θ – радиальды (σ_r) және тангенциальды (σ_θ) қалыпты кереулер.

2) Пластиналардың иілуінің техникалық теориясының Кирхгоф гипотезаларына сәйкес мембрананың қалыңдығын шектейтін геометриялық қатынас (Вайнберг, 1970):

$$h = \alpha \cdot (R_H - R_B), \quad (4)$$

немесе, (1) белгілеулерге сәйкес

$$X_2 = \alpha \cdot (1 - X_1) \quad (5)$$

мұндағы α – (Вайнберг, 1970) шектерде өзгертін өлшемсіз параметр

$$0 < \alpha \leq \frac{1}{3}. \quad (6)$$

1-суретте қалыңдығы $h = const$ сақиналы пластина – мембрананың моделінің меридиандық қимасы берілген. Қима радиусы R_H сыртқы контурмен және радиусы R_B деформацияланбайтын дискінің ортасында қатаң қысылған. Қимаға біркелкі таралған жүктеме q түседі.

1-суретте көрсетілген серпімді элементтің беріктігі абсолютті қатаң қозғалмайтын центрге түсетін жүктемеге байланысты емес. Осы алғышарттың салдарынан салыстырмалы экстремумды $P_{max}^{(q)}$ анықтау үшін қарастырылып отырған мәселені шешудің маңызды ерекшелігі бар. (3) байланыс теңдеуімен оңтайландыру процесі (яғни тарту күшінің функциясының аналитикалық максимумын есептеу) оның $r = R_H$ параметрі мен

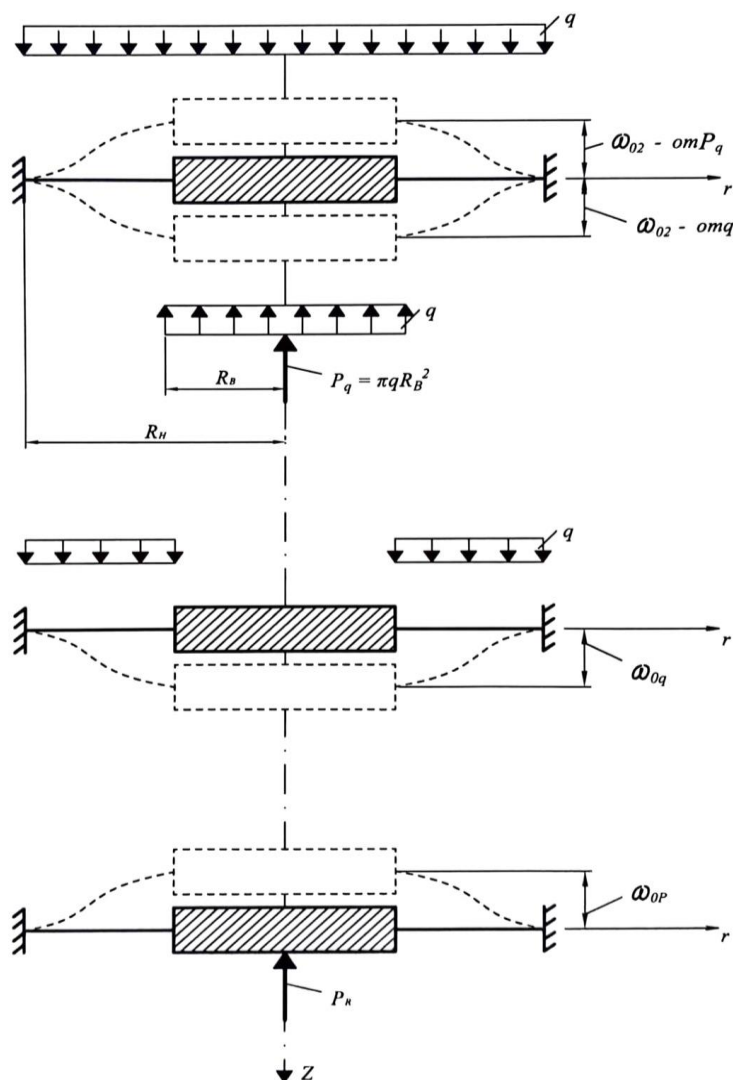
диск арасында орналасқан мембрананың тек иілген бөліктері жүктелген жағдайда жүзеге асырылуы керек. Бұл нақты жағдай математикалық түрде (1) – (6) формулаларында көрінеді.

Қойылған оңтайландыру мәселесін шешу үшін мембрананың орталық бөлігін және кернеулерді σ_r , σ_θ сәйкесінше радиалды (r) және сақиналы (θ) бағыттарда жылжыту ω_0 үшін қажетті белгілі аналитикалық тәуелділіктерді түрде қосу арқылы суперпозиция әдісі қолданылды. Бұл 2-суреттің сызбалары бойынша жүзеге асырылды. Әріптік таңба $P_R = P_q$ анықтамалық реакциямен белгіленеді, ол қажетті ауысу күшіне P_q тең. Мұндағы P_q – тек дискіге түсірілетін жүктемеге тең әсер етуші, яғни

$$P_q = \pi \cdot q \cdot R_B^2. \tag{7}$$

Осыдан, (1), алынады:

$$P_q = \pi \cdot R_H^2 \cdot X_1^2 \cdot X_3. \tag{8}$$



2-сурет. Мақсатты функция түріндегі тірек реакциясын анықтауға мембрананың деформацияланатын бөлігінің иілу схемалары

Ескерту – (Kharin, 2020) автор негізінде құрастырылған

Алдыңғы зерттеулердің нәтижелерін пайдалана отырып (Kharin, Abdeev, Makhiyev, 2020), қабылданған rOz есеп жүйесінде қатты дискінің әртүрлі қолдану тәсілдерінен және күштердің бағытынан қозғалысын анықтау үшін келесі формулалар қолданылады (2-сурет):

– пластинаның бүкіл бетіне әсер ететін q қысымында,

$$\omega_{01} = \frac{3 \cdot q \cdot R_H^4 \cdot (1 - \mu^2)}{16 \cdot E \cdot h^3} \cdot (4 \cdot X_1^2 \cdot \ln X_1 - X_1^4 + 1), \quad (9)$$

мұндағы μ , E – мембрана материалының Пуассон коэффициенті (μ) мен серпімділік модулі (E);

– дискке қойылған q жүктемесінен оның нәтижесі түрінде $-P_q = -\pi \cdot q \cdot R_B^2 = -\pi \cdot q \cdot R_H^2 \cdot X_1^2$,

$$\omega_{02} = -\frac{3 \cdot q \cdot R_H^4 \cdot X_1^2 \cdot (1 - \mu^2)}{E \cdot h^3} \cdot \left(\frac{1 - X_1^2}{4} - \frac{X_1^2 \ln^2 X_1}{1 - X_1^2} \right); \quad (10)$$

– пластинаның ортаңғы бетін – мембрананы Z осіне қарама-қарсы бағытта майыстыратын шоғырланған күш ($-P_R$) жағдайында,

$$\omega_{0P} = -\frac{3 \cdot P_R \cdot R_H^2 \cdot (1 - \mu^2)}{\pi \cdot E \cdot h^3} \cdot \left(\frac{1 - X_1^2}{4} - \frac{X_1^2 \ln^2 X_1}{1 - X_1^2} \right). \quad (11)$$

Тіректің қозғалмайтын жағдайынан, яғни қозғалыстардың үйлесімділік теңдеуінен (абсолютті иілу деформациялары) ω_{01} , ω_{02} , ω_{0P}

$$\omega_{01} + \omega_{02} + \omega_{0P} = 0, \quad (12)$$

(9) – (11) ескере, P_q тарту күшіне максатты байланыс (2)

$$P_q = P_R = \pi \cdot R_H^2 \cdot X_3 \cdot f_1 \cdot (f_2)^{-1}. \quad (13)$$

мұндағы $f_1 = f_1(X_1)$, $f_2 = f_2(X_2)$ – функционалды өрнектер:

$$f_1 = 4 \cdot X_1^2 \ln X_1 - 4 \cdot X_1^4 \ln X_1 + 16 \cdot X_1^4 \ln^2 X_1 + 7 \cdot X_1^4 - 3 \cdot X_1^6 - 5 \cdot X_1^2 + 1, \quad (14)$$

$$f_2 = 4 - 8 \cdot X_1^2 + 4 \cdot X_1^4 - 16 \cdot X_1^2 \cdot \ln X_1. \quad (15)$$

Деформацияланбайтын орталық дискі және сыртқы контурдың қатты қысылуы бар сақина пластиналарының нормативтік формулалары (Пономарев, Андреева, 1980) бойынша беріктікті есептеу нәтижелерін талдау анықтауға мүмкіндік береді: мембранаға q , P_q және P_R (1-ші және 2-суреттер) жүктемелері ең үлкен қалыпты σ_{rB} , σ_{rH} , $\sigma_{\theta B} = \mu \cdot \sigma_{rB}$, $\sigma_{\theta H} = \mu \cdot \sigma_{rH}$ және

$$\sigma_{IVB} = \sqrt{\sigma_{rB}^2 + \sigma_{\theta B}^2 - \sigma_{rB} \cdot \sigma_{\theta B}} = |\sigma_{rB}| \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2}, \quad (16)$$

$$\sigma_{IVH} = \sqrt{\sigma_{rH}^2 + \sigma_{\theta H}^2 - \sigma_{rH} \cdot \sigma_{\theta H}} = |\sigma_{rH}| \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2} \quad (17)$$

эквивалентті кернеулер "B" және "H" серпімді элементтің $r = R_B$ және $r = R_H$ болатын цилиндрлік қималарының шеткі талшықтарында $z = \pm \frac{h}{2}$ пайда болады (1-сурет).

Жоғарыда келтірілген формулалармен анықталған экстремалды радиалды кернеулерді σ_r қосуды (суперпозиция) [9]-ға келтіріп орындау, сәйкесінше (9) – (11) q жүктемелерімен үйлесімді, $-P_q = -\pi \cdot q \cdot R_B^2 = \pi \cdot R_H^2 \cdot X_1^2 \cdot X_3$, $-P_R$ (2-сурет), (13) – (17) ескере отырып эквивалентті кернеулер σ_{IVB} мен σ_{IVH} үшін төменгі байланыстар алынды:

$$\sigma_{IVB} = K_{\sigma} \cdot \left[\frac{X_1^2}{2} + \frac{2 \cdot X_1^2 \ln X_1}{1 - X_1^2} + \frac{1}{2} + \frac{f_1 \cdot (2 \ln X_1 + 1 - X_1^2)}{f_2 \cdot (1 - X_1^2)} \right], \tag{18}$$

$$\sigma_{IVH} = K_{\sigma} \cdot \left[\frac{3 \cdot X_1^2}{2} + \frac{2 \cdot X_1^4 \ln X_1}{1 - X_1^2} - \frac{1}{2} + \frac{f_1}{f_2} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot X_1^2 \ln X_1}{1 - X_1^2} \right) \right]. \tag{19}$$

Мұндағы $K_{\sigma} > 0$ – X_2, X_3 оңтайландырылған айнымалыларға тәуелді және $\sigma_{IVB}(X_1), \sigma_{IVH}(X_1)$ функциялардың өзгеру сипатына әсер етпейтін коэффициент

$$K_{\sigma} = \frac{3 \cdot X_3}{2 \cdot X_2^2} \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2}. \tag{20}$$

3-суретте өлшемсіз тәуелділіктердің графиктері келтірілген.

$$\sigma^*_{IVB} = \frac{\sigma_{IVB}}{K_{\sigma}}, \sigma^*_{IVH} = \frac{\sigma_{IVH}}{K_{\sigma}}, \tag{21}$$

(18) – (19) сәйкес, мембрананың қауіпті қимасын көрсетеді, мұндағы

$$\sigma_{IV} = \sigma_{IVB} = \sigma_{max}, \tag{22}$$

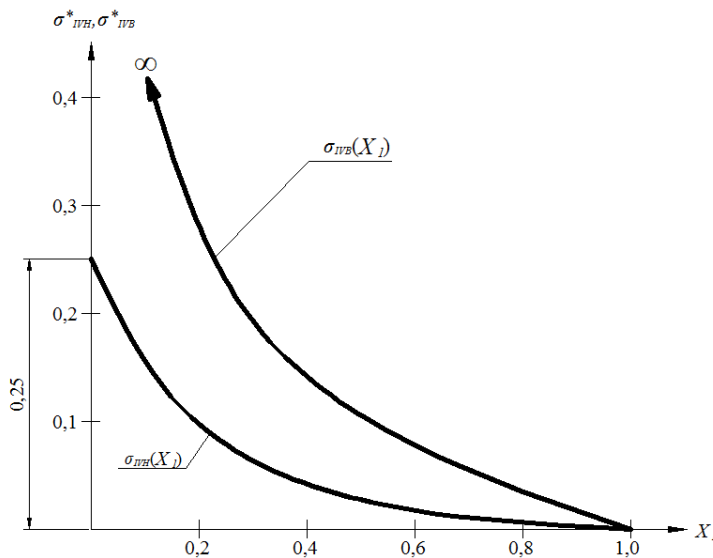
ол қатты дискінің сақина бөлігімен жұптасқан жерінде, яғни "В" қимасында орналасқан (1-сурет).

(5), (18), (20) және (22) қолданып, байланыс теңдеуінің соңғы (есептік) түрін анықтаймыз (3):

$$\frac{3 \cdot X_3}{2 \cdot \alpha^2 \cdot (1 - X_1)^2} \cdot \left[\frac{X_1^2}{2} + \frac{2 \cdot X_1^2 \ln X_1}{1 - X_1^2} + \frac{1}{2} + \frac{f_1 \cdot (2 \ln X_1 + 1 - X_1^2)}{f_2 \cdot (1 - X_1^2)} \right] = \frac{\sigma_T}{[n_T]} \tag{23}$$

(23) беріктік шартынан X_3

$$X_3 = \frac{2 \cdot \sigma_T \cdot \alpha^2 \cdot (1 - X_1)^2}{3 \cdot [n_T] \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2} \cdot \left[\frac{X_1^2}{2} + \frac{2 \cdot X_1^2 \ln X_1}{1 - X_1^2} + \frac{1}{2} + \frac{f_1 \cdot (2 \ln X_1 + 1 - X_1^2)}{f_2 \cdot (1 - X_1^2)} \right]} \tag{24}$$



3-сурет. (18), (19) аналитикалық өрнектермен жуықталған (3) байланыс теңдеуінің графикалық интерпретациясы

Ескерту – (Абдеев, 2011) автор негізінде құрастырылған

(24) өрнекті (13) формулаға қойып, (1) – (6) сызықтық емес бағдарламалаудың жалпы есебінің орнына (Фролов, 1984) мақсатты функцияның шартсыз максимумын анықтауға арналған қарапайым экстремалды есебін аламыз (Абдеев, 2011)

$$\Pi_q = \Pi_q(X_1) = K \cdot \frac{f_1 \cdot (1 - X_1)^2}{f_2 \cdot \left[\frac{X_1^2}{2} + \frac{2 \cdot X_1^2 \ln X_1}{1 - X_1^2} + \frac{1}{2} + \frac{f_1 \cdot (2 \ln X_1 + 1 - X_1^2)}{f_2 \cdot (1 - X_1^2)} \right]}, \quad (25)$$

мұндағы $K = const > 0$ – тұрақты параметр

$$K = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha^2 \cdot \sigma_T \cdot R_H^2}{3 \cdot [n_T] \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2}}. \quad (26)$$

(25) функционалды тәуелділікті зерттеу тікелей әдіспен (Лесин, Лисовец, 1998) орындалды (экстремум үшін қажетті және жеткілікті шарттарды қолданбай), график 4-суретте көрсетілген. Табылған байланыс

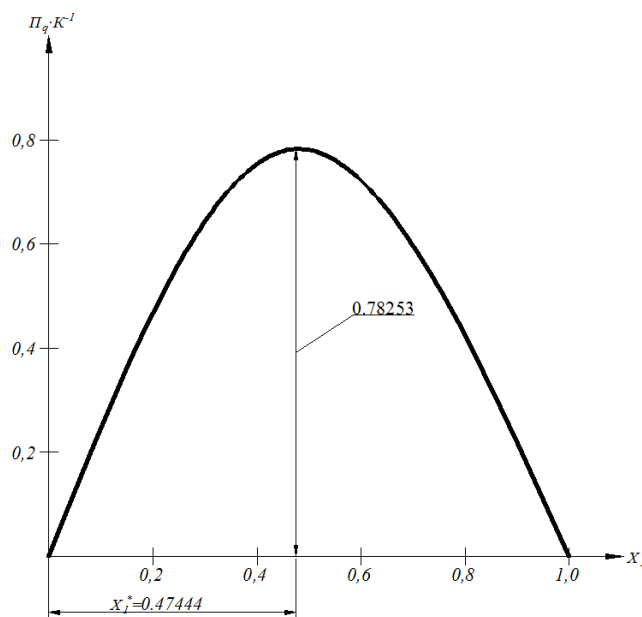
$$X_1^* = \frac{R_B}{R_H} = 0,47444, \quad (27)$$

$$\frac{\Pi_{\max}^{(q)}}{K} = \frac{\Pi_q(X_1^*)}{K} = 0,78253, \quad (28)$$

ең көп тарту күшін қамтамасыз етеді

$$\Pi_{\max}^{(q)} = 0,78253 \cdot K, \quad (29)$$

бұл мембраналық манометрлердің сенімділігі мен дәлдігін едәуір арттыра алады. Бұл жағдайда қысымның оңтайлы (шекті) мәні $q^* = X_3^*$ (24) формуласымен жуықталады, міндетті түрде шектеу тексеріледі (6).



4-сурет. (25) мақсатты функционалды тәуелділіктің өлшемсіз графигі
Ескерту – (Абдеев, 2011) автор негізінде құрастырылған

$P_q(X_1)$ функциясын максимизациялау үшін белгілі бір (нақты) оңтайландыру мәселесін шешу алгоритмінде әр түрлі модификациялар мен нұсқалар болуы мүмкін, бірақ есептеудің барлық жағдайлары үшін (27) – (29) сандық мәндер негізгі және өзгермейтін болып қалады. Әдетте, қатты центрлі сақиналы мембраналарды жобалау кезінде құрылымның физикалық-механикалық және геометриялық сипаттамалары бастапқы мәліметтер ретінде қабылданады, олар: серпімді элементтің көтергіштігі; құрылғының жалпы өлшемдері және оның жұмысының қажетті дәлдігі; мембраналық құрылғыны жасау технологиясы және пайдалану режимі; ең үлкен бақыланатын (манометрмен өлшенетін) қысым q^* [9]. Осы тапсырманың ерекшеліктерін ескере отырып, берілген параметрлер ретінде σ_T , $[n_T]$, μ , h , R_H және $X_1^* = 0,47444$ пайдалануға болады. Бұл жағдайда қажетті оңтайлы қысым q^* мен ауыстыру күші $P_{\max}^{(q)}$ (6) теңсіздікті ескере отырып (5), (26) және (29) тәуелділіктермен есептеледі.

Сонымен қатар, мембраналық пластинаны бүкіл бетке біркелкі таралған q жүктемесімен жүктеу кезінде (4-сурет) алынған реактивті күш P_{\max} (толық тарту күші) (29) сәйкес, қосымша оңтайландырылған ауыстыру күшімен $P_P = P_q^{(onm)}$ немесе (8) сәйкес анықталады,

$$P_P = P_q^{(onm)} = \pi \cdot R_H^2 \cdot (X_1^*)^2 \cdot X_3^*, \quad (30)$$

яғни

$$P_{\max} = 0,78253 \cdot K + \pi \cdot R_H^2 \cdot (X_1^*)^2 \cdot X_3^*. \quad (31)$$

Ұсынылған экстремалды мәселенің жалпы шешімін көрсету үшін қалыңдығы $h = 1$ мм, радиусы $R_H = 100$ мм, 65Г марганецті серіппелі болаттан жасалған, келесі механикалық сипаттамалары бар мембрананың оңтайлы параметрлерін есептеу мысалы қарастырылады (Анурьев, 2001): $\sigma_T = 80$ кг/мм²; $E = 20000$ кг/мм²; $G = 8200$ кг/мм² – ығысу модулі; $[n_T] = 2$.

Пуассон коэффициентін μ есептеу, G , E , μ тұрақтылар арасындағы байланыс [14]

$$\mu = \frac{E}{2 \cdot G} - 1 \quad (32)$$

(5) екінші байланыс теңдеуінен (1) белгілерді және белгіленген мәнді $X_1^* = R_B \cdot (R_H)^{-1} = 0,47444$ ескере отырып, (27) сәйкес α коэффициенті анықталады.

$$\alpha = \frac{X_2}{1 - X_1^*} \quad (33)$$

(24) формула бойынша әр түрлі өлшем бірліктеріндегі шекті рұқсат етілген қысым q^* анықталады (Яворский, Детлаф, 1979):

$$q^* = X_3^* = \frac{\sigma_T \cdot \alpha^2}{[n_T] \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2}} \cdot 1,66205 \quad (34)$$

Нәтижелері және оларды талқылау.

$$\mu = \frac{E}{2 \cdot G} - 1 = \frac{20000}{2 \cdot 8200} - 1 = 0,22.$$

$$\alpha = \frac{X_2}{1 - X_1^*} = \frac{0,01}{1 - 0,47444} = 0,019027,$$

(6) шартты қанағаттандырады:

$$0 < \alpha = 0,019027 < \frac{1}{3}.$$

$$q^* = X_3^* = \frac{\sigma_T \cdot \alpha^2}{[n_T] \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2}} \cdot 1,66205 = \frac{80 \cdot (0,019027)^2}{2 \cdot \sqrt{1 - 0,22 + (0,22)^2}} \cdot 1,66205 =$$

$$= 0,0264438 \text{ кг/мм}^2 \approx 2,64 \text{ ат} = 26443,8 \text{ мм.вод.ст.} = 1945,4 \text{ мм.рт.ст.} \quad (34)$$

(29) – (31) байланыстар мен (26) формуланы, (27), (32) – (34) мәндерді ескере отырып $P_{\max}^{(q)}$ анықталады:

$$P_{\max}^{(q)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha^2 \cdot \sigma_T \cdot R_H^2}{3 \cdot [n_T] \cdot \sqrt{1 - \mu + \mu^2}} \cdot 0,78253 = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot (0,019027)^2 \cdot 80 \cdot (100)^2}{3 \cdot 2 \cdot 0,910165} = 333,23 \text{ кг};$$

$$P_P = \pi \cdot R_H^2 \cdot (X_1^*)^2 \cdot X_3^* = 3,1416 \cdot (100)^2 \cdot (0,47444)^2 \cdot 0,0264437 = 187 \text{ кг};$$

$$P_{\max} = P_{\max}^{(q)} + P_P = 333,23 + 187 = 522,23 \text{ кг}.$$

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша:

1) Дөңгелек осимметриялық мембрананың және оның қозғалмайтын орталығында біркелкі таралған жүктемеден туындайтын, тиісінше, деформацияланатын сақина бөлігіне әсер ететін ең үлкен тарту күштерінің $P_{\max}^{(q)}$, P_{\max} ұтымды жобалық сипаттамаларын X_1 , X_2 , X_3 ((1) формуланы қараңыз) анықтау бойынша материалдардың кедергісі мен оңтайлы басқару теориясының кешенді сызықтық іргелі-қолданбалы мәселесінің инновациялық шешімі алынды.

2) Ұсынылған механикалық-математикалық модель (1), (5), (18), (19), (25), (27), (29), (31), (32), (34) қарапайым функционалдық тәуелділіктерге, сандық мысалмен сыналған (4-сурет); констант K_σ , K_α , α , (20), (26) жуықталған формулалармен және міндетті болып табылатын (6) шекаралық теңсіздікке жеткізілді.

3) Алынған теңдеулер мен формулаларды қолдана отырып, берілген максималды q^* қысымына есептелген мембрананың ұтымды құрылымдық параметрлерін (соның ішінде P_{\max}) таңдаудың кері процедурасын жүзеге асыруға болады. Бұл міндет практикалық тұрғыдан өзекті болады.

4) Өзірленген алгоритм мен есептеу техникасын жүздеген атмосферадан бірнеше миллиметрге дейінгі су бағанының қысымын өлшеуге арналған жоғары дәлдіктегі манометрлерді оңтайлы жобалау кезінде тікелей қолдануға болады ($1 \text{ мм вод. ст.} = 10^{-4} \text{ кг/см}^2 \approx 10_{\text{AT}}^{-4} = 0,073566 \text{ мм. рт. ст.}$ [15]).

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Фролов К.В. (1984). Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с. // Frolov K.V. (1984). Metody sovershenstvovaniya mashin i sovremennye problemy mashinovedeniya. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 224 s.
- Абдеев Б.М. (2011). Вопросы и классические задачи оптимального проектирования в сопротивлении материалов: Учебное пособие для вузов /Под ред. д.т.н., проф. Ж.О. Кульсеитова. – Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2011. – 206 с. // Abdeev B.M. (2011). Voprosy i klassicheskie zadachi optimal'nogo proektirovaniya v soprotivlenii materialov: Uchebnoe posobie dlya vuzov / Pod red. d.t.n., prof. Zh.O. Kul'seitova. – Ust'-Kamenogorsk: Izd-vo VKGTU, 2011. – 206 s.
- Гилл Ф., Муррей У., Райт М. (1985). Практическая оптимизация / Пер. с англ. В.Ю. Лебедева под ред. А.А. Петрова. – М.: Мир, 1985. – 509 с. // Gill F., Murrej U., Rajt M. (1985). Prakticheskaya optimizaciya / Per. s angl. V.YU. Lebedeva pod red. A.A.Petrova. – М.: Mir, 1985. – 509 s.
- Филатов Г.В. (2021). Оптимальное проектирование подкрепленных цилиндрических оболочек при совместном осевом сжатии и внутреннем давлении. ISSN 2709-2984. Journal of Mechanical Engineering – Problemy Mashynobuduvannia, 2021. – Vol. 24. – No.2. // Filatov G.V. (2021).

- Optimal'noe proektirovanie podkreplennyh cilindricheskikh obolochek pri sovместном osevom szhatii i vnutrennem davlenii. ISSN 2709-2984. Journal of Mechanical Engineering – Problemy Mashynobudovannia, 2021. – Vol. 24. – No. 2.
- Алиев Дамад Ахмед Оглы (2021). Оптимальное проектирование слоистой пластинки, изгибающейся под действием кольцевой нагрузки. Физико-математические науки. ОФ «Международный научно-исследовательский центр «Endless Light in Science». 2021. – P. 513-517 // Aliiev Damad Ahmed Ogly (2021). Optimal'noe proektirovanie sloistoj plastinki, izgibayushchejsya pod dejstviem kol'cevoj nagruzki. Fiziko-matematicheskie nauki. OF "Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij centr "Endless Light in Science". 2021. – P. 513-517.
- Романова Т.П. (2016). Предельный анализ и оптимальное проектирование трехслойных армированных круглых пластин из разнородных материалов при неравномерном нагружении / Вестник Сам. гос. техн. ун-та. Сер. физ.-мат. науки, 2016. – Т. 20. – № 3. – С. 508-523. doi: 10.14498/vagtu 1467 // Romanova T.P. (2016). Predel'nyj analiz i optimal'noe proektirovanie trekhslojnyh armirovannyh kruglyh plastin iz raznosoprotivlyayushchih materialov pri neravnomernom nagruzhenii / Vestnik Sam. gos. tekhn. un-ta. Ser. fiz.-mat. nauki, 2016. – Т. 20. – № 3. – С. 508-523. doi: 10.14498/vagtu 1467.
- Коренева Е.Б., Гросман В.Р. (2015). Аналитическое решение задачи о неосесимметричной деформации круглой ортотропной пластины радиально-переменной толщины на точечных опорах // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. – № 11. с. 94-100 // Koreneva E.B., Grosman V.R. (2015). Analiticheskoe reshenie zadachi o neosesimmetrichnoj deformacii krugloj ortotropnoj plastiny radial'no-peremennoj tolshchiny na tochechnyh oporah. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. – № 11. – С. 94-100.
- Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. (1980). Расчет упругих элементов машин и приборов. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с. // Ponomarev S.D., Andreeva L.E. (1980). Raschet uprugih elementov mashin i priborov. – М.: Mashinostroenie, 1980. – 326 s.
- Khapin A.V., Abdeev B.M. and Makhiyev B.E. (2020). Optimal size of an axisymmetric perfectly flexible membrane with a rigid centre loaded with a concentrated static force. IOP Conf. Series: Materials Science and Engeneering 775 (2020)012138, Samara, SSTDY.
- Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. (1970). Расчет пластин. – Киев: Будівельник, 1970. – 944 с. // Vajnberg D.V., Vajnberg E.D. (1970). Raschet plastin. – Kiev: Budivel'nik, 1970. – 944 s.
- Лесин В.В., Лисовец Ю.П. (1998). Основы методов оптимизации. – М.: Изд-во МАИ, 1998. – 344 с. // Lesin V.V., Lisovec YU.P. (1998). Osnovy metodov optimizacii. – М.: Izd-vo MAI, 1998. – 344 s.
- Анурьев В.Н. Справочник конструктора-машиностроителя. Том 1 – 8-е изд., перераб. и дополн., под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с. // Anur'ev V.N. Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya. Tom 1 – 8-e izd., pererab. i dopoln., pod red. I.N. ZHestkovej. – М.: Mashinostroenie, 2001. – 920 s.
- Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. (1986). Сопrotivление материалов: Учебное пособие. – М.: Наука, 1986. – 560 с. // Birger I.A., Mavlyutov R.R. (1986). Soprotivlenie materialov: Uchebnoe posobie. – М.: Nauka, 1986. – 560 s.
- Яворский Б.М., Детлаф А.А. (1979). Справочник по физике / Для инженеров и студентов вузов. – М.: Наука, 1979. – 944 с. // YAvorskij B.M., Detlaf A.A. (1979). Spravochnik po fizike / Dlya inzhenerov i studentov vuzov. – М.: Nauka, 1979. – 944 s.

Information about authors

Abdeev Boris – candidate of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: babdeyev@edu.ektu.kz, +7 705 522 37 92

Khapin Alexander – candidate of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: ahapin@edu.ektu.kz, +7 777 222 81 70

Makhiyev Bekbolat – candidate of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: bmahiev@edu.ektu.kz, +7 777 742 46 71

Aldungarova Alia – PhD, Associate Professor (Prof.) NPLC «Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov» Kokshetau, Kazakhstan, E-mail: liya_1479@mail.ru, +7 701 570 43 81

Aitkazina Ayazhan – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: aaytkazina@edu.ektu.kz, +7 771 512 32 27

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_209
MFTAA 67.11.31

Б.Б. Ахметов¹, Р.Ф. Серова²

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

¹E-mail: Beibit.bakiuly@mail.ru*

²E-mail: roza_serova@mail.ru

ТҰРҒЫН ҮЙЛЕРДІҢ ТЕМІРБЕТОН ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ МОНИТОРИНГІ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

MONITORING AND ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF RESIDENTIAL BUILDINGS

Аңдатпа. Тұрғын үй ғимараттарының темірбетон құрылымдарының эксплуатациялық сенімділігін кешенді зерттеу жобалық құжаттаманы талдауды, учаскені тексеруді, беріктік пен деформациялық сынақтарды, сондай-ақ қоршаған ортаға әсерді бағалауды қамтиды. Бұл ақауларды анықтауға, құрылымдардың ағымдағы жағдайы мен сенімділігін анықтауға, сондай-ақ жөндеуді немесе ауыстыруды қажет ететін элементтерді анықтауға мүмкіндік береді. Негізгі аспектілер - құрылымдардың сипаттамалары, күтілетін операциялық жүктемелер және сыртқы факторлардың әсері. Кешенді тәсіл темірбетон құрылымдарының жай-күйі мен сенімділігін кешенді бағалауды қамтамасыз етеді.

1.04.101-2012 ҚР ЕЖ сәйкес бес қабатты тұрғын үйдің темірбетон құрылымдарының (іргетас және еден плиталары) техникалық жағдайына кешенді тексеру жүргізілді. Құрылымдардың қалыпты жағдайда екені анықталды, алайда техникалық пайдалану ережелерін сақтауды талап ететін кейбір ақаулар анықталды.

Бес қабатты тұрғын үйдің темірбетон құрылымдарына сараптама жүргізу олардың техникалық жағдайын бағалауға мүмкіндік берді. Іргетас пен еден плиталары жақсы жағдайда, күрделі ақаулары жоқ. Дегенмен, жүк көтеру қабілетіне әсер етпейтін плиталардағы шаш сызықтары сияқты кейбір ұсақ ақаулар анықталды. Құрылымдардың беріктігін қамтамасыз ету үшін техникалық пайдалану ережелерін сақтау қажет.

Түйін сөздер: темірбетон, құрылым, сенімділік, шектік күй, тұрғын үй, шектік жағдайда, көтергіштік қабілеті

Аннотация. Комплексное исследование эксплуатационной надежности железобетонных конструкций жилых зданий включает в себя анализ проектной документации, осмотр объекта, проведение испытаний на прочность и деформацию, а также оценку воздействия окружающей среды. Это позволяет выявить дефекты, определить текущее состояние и надежность конструкций, а также идентифицировать элементы, требующие ремонта или замены. Ключевыми аспектами являются характеристики конструкций, предполагаемые эксплуатационные нагрузки и воздействие внешних факторов. Комплексный подход обеспечивает всестороннюю оценку состояния и надежности железобетонных конструкций.

Проведено комплексное обследование технического состояния железобетонных конструкций (фундамента и плит перекрытия) пятиэтажного жилого дома в соответствии с СП РК 1.04.101-2012. Установлено, что конструкции находятся в исправном состоянии, однако выявлены некоторые дефекты, требующие соблюдения правил технической эксплуатации.

Проведенное обследование железобетонных конструкций пятиэтажного жилого дома позволило оценить их техническое состояние. Фундамент и плиты перекрытий находятся в исправном состоянии, без серьезных дефектов. Однако выявлены некоторые мелкие дефекты, такие как волосяные трещины в плитах, которые не влияют на несущую способность. Для обеспечения долговечности конструкций требуется соблюдение правил технической эксплуатации.

Ключевые слова: железобетон, конструкция, надежность, предельное состояние, корпус, предельное состояние, несущая способность.

Abstract. A comprehensive study of the operational reliability of reinforced concrete structures of residential buildings includes an analysis of design documentation, inspection of the site, strength and deformation tests, and an assessment of the impact of the environment. This allows you to identify defects, determine the current condition and reliability of structures, and identify elements that require repair or replacement. The key aspects are the characteristics of the structures, expected operational loads and the impact of external factors. An integrated approach ensures a comprehensive assessment of the condition and reliability of reinforced concrete structures.

A comprehensive survey of the technical condition of reinforced concrete structures (foundation and floor slabs) of a five-story residential building was carried out in accordance with SP RK 1.04.101-2012. It was found that the structures are in good condition, but some defects were identified that require compliance with the rules of technical operation.

The conducted survey of the reinforced concrete structures of the five-story residential building made it possible to assess their technical condition. The foundation and floor slabs are in good condition, without serious defects. However, some minor defects have been identified, such as hairline cracks in the slabs, which do not affect the load-bearing capacity. To ensure the durability of the structures, compliance with technical operation rules is required.

Keywords: reinforced concrete, structure, reliability, limit state, housing, limit state, bearing capacity.

Kipicne. Тұрғын үйлердің темірбетон құрылымдарының эксплуатациялық сенімділігін кешенді зерттеу жұмыстың көптеген аспектілері мен кезеңдерін қамтиды. Бірінші қадам, дизайн ерекшеліктері мен құрылымға түсетін жүктемелермен танысу үшін жобалық құжаттаманы талдау керек.

Құрылымдар және оларға түсетін жүктемелер инженерия мен құрылыстың әртүрлі салаларында қарастырылатын маңызды мәселелер болып табылады.

Құрылымдар объектінің беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Олар пайдалану кезінде ұшырайтын барлық күтілетін жүктемелерге төтеп беруге арналған болуы керек. Бұл жүктемелерге статикалық жүктемелер (құрылымның, жиһаздың және жабдықтың салмағы), динамикалық жүктемелер (діріл, соққы) немесе тіпті маусымдық өзгерістер (мысалы, ауа-райы, температураның өзгеруі) кіруі мүмкін.

Құрылымдарды жобалау кезінде құрылыс үшін қолданылатын материалдар, құрылымның пішіні мен геометриясы, сондай-ақ жоспарланған жұмыс ортасы сияқты факторларды ескеру қажет. Мысалы, егер ғимарат құрылысы туралы айтатын болсақ, онда оның құрылымдары аумақтың сейсмикалық белсенділігі, жел жүктемелері және ықтимал су тасқыны сияқты факторларды ескере отырып жобалануы керек.

Дизайн ерекшеліктері жобаның нақты қажеттіліктері мен талаптарына байланысты өзгеруі мүмкін. Мысалы, көпірді жобалау кезінде өтіп бара жатқан көліктер мен жаяу жүргіншілердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін оның аралығы мен беріктігіне ерекше мән беріледі. Ал радиоактивті аймақтар немесе көп қабатты құрылыстар сияқты ерекше жағдайларға арналған ғимараттарды жобалағанда, құрылымдар олардың осы жағдайларда беріктігін қамтамасыз ету үшін арнайы бейімделуі керек.

Ақырында, құрылымның қауіпсіз және тиімді жұмысын қамтамасыз ету үшін есептеулер мен талдаулар негізінде күтілетін жүктемелері анықталады. Бұл құрылым төтеп бере алатын максималды жүктемені, мүмкін болатын шамадан тыс жүктемелерді және тірі немесе тұрақты жүктемелерді қамтуы мүмкін. Бұл ақпарат инженерлер мен дизайнерлерге белгілі бір қауіпсіздік шегі бар құрылымды жобалауға көмектеседі, осылайша ол кез келген жоғары ықтималды жүктемелерді шектен тыс асырмай қызмет ете алады (ҚР ЕЖ EN 1992-1-1:2004/2011 Темірбетон конструкцияларды жобалау).

Содан кейін ықтимал ақауларды, зақымдануды немесе қолданыстағы стандарттар мен талаптарға сәйкес келмеуін анықтау үшін объектіні тексеру қажет. Бұған бетонның сапасын, арматура дәрежесін, жарықтардың, ауытқулардың немесе вертикальды ауытқулардың болуын тексеру кіреді.

Неғұрлым егжей-тегжейлі зерттеу үшін қабырғалар, тіректер, жолақтар және плиталар негіздері сияқты негізгі құрылымдық элементтердің беріктігін, өтімділігін және деформациясын тексеру қажет. Мұндай сынақтар осы элементтердің ағымдағы жағдайы мен сенімділігін анықтайды.

Кешенді зерттеудің маңызды аспектілерінің бірі қоршаған орта мен пайдалану жағдайларының құрылымдарға әсерін бағалау болып табылады. Бұл құрылымның беріктігі мен беріктігіне әсер етуі мүмкін ылғалдың, температураның өзгеруінің, тербелістің, химиялық заттардың және басқа факторлардың әсерін талдауды қамтиды.

Келесі кезең деректерді талдау болады және құрылымдық сенімділіктің ағымдағы жағдайы туралы қорытындылар жасалады. Бұл жөндеуді немесе ауыстыруды қажет ететін проблемалық аймақтарды немесе элементтерді анықтауға мүмкіндік береді.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Мысал ретінде бес қабатты тұрғын үйдің темірбетон материалынан жасалған іргетасы мен еден плиталарының нақты техникалық жағдайын қарастырайық.

Сараптама ҚР ЕЖ 1.04-101-2012 «Ғимараттар мен құрылыстардың, техникалық жағдайын тексеру және бағалау» сәйкес жүргізілді.

Негіз мониторингі. Құрастырмалы темірбетон жолақ іргетасын тексеру үшін бес қабатты тұрғын үйдің темірбетон материалынан жасалған жолақ іргетасының ішкі жағынан бақылау шұңқыры қазылды».



1-сурет. Бес қабатты тұрғын үйдің темірбетон материалынан жасалған сынақ шұңқыры
Ескерту – автормен құрастырылған

Шұңқырды визуалды және аспаптық тексеру келесілерді анықтады:

- қиыршық тас негізі $b_{нег.} = 50\text{мм}$;
- өлшемдері 140x30см ауыр бетон негізінде трапеция тәрізді құрамалы темірбетонды іргетас төсемі;
- ФБС-6 2 іргетас блоктары;
- монолитті күшейтілген белдік $h = 300\text{мм}$;
- 2 қабаттың көлденең гидроизоляциясы, битуммен тік қаптау.

ИПС МГ – 4.04. құрылғысымен анықталатын монолитті арматураланған таспаның бетонының беріктігі В20...В30 класына сәйкес келеді.

Қарау кезінде көзге көрінетін ақаулар мен бұзылулардың болмауына байланысты жалпы және аспаптық сараптама нәтижелері бойынша темірбетон іргетас құрылымдарының техникалық жағдайы жұмысқа жарамды деп бағаланды. Қолданыстағы стандарттарға сәйкес құрылымдарды техникалық пайдалану ережелерін одан әрі сақтау қажет.

Жалпы алғанда, темірбетонды іргетастарда келесі ақаулар орын алады:

1) Жеткіліксіз беріктік: темірбетон іргетасы күшті қысым немесе діріл әсерінен жүктемеге төтеп бермеуі және сынуы мүмкін.

2) Жарықтар: темірбетонды іргетастың дұрыс емес бетон құрамы, дұрыс орналас-тырмау немесе дұрыс күтім жасамау салдарынан жарықтар пайда болуы мүмкін.

3) Сусымалы: кейбір жағдайларда темірбетонды іргетас дұрыс жұмыс істемеуіне немесе іргетас астына судың түсуіне байланысты сырылып, бастапқы пішінін жоғалтуы мүмкін.

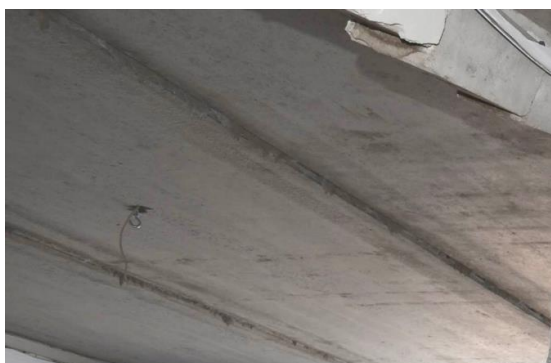
4) Арматураның зақымдануы: арматураның зақымдалуы немесе тот басуы мүмкін, бұл іргетастың беріктігі мен тұрақтылығын жоғалтуға әкелуі мүмкін.

5) Дұрыс емес дизайн: іргетастың дұрыс жасалмауы жеткіліксіз беріктік пен тұрақтылыққа әкелуі мүмкін. Мысалы, жүктемелерді дұрыс есептемеу немесе белгілі бір топырақ түрі үшін іргетас түрін дұрыс таңдамау.

6) Су басу: егер іргетас тұрақты су тасқынына немесе су астында қалса, ол қатты зақымданып, беріктігі мен тұрақтылығын жоғалтуы мүмкін.

Нысанның төбелері мен жабыны құрастырмалы темірбетон плиталарынан жасалған. Еден құрылымдарын визуалды және егжей-тегжейлі аспаптық тексеру кезінде олардың жүк көтеру қабілетіне әсер етпейтін шаш сызығының жарықтары түрінде шағын ақаулар анықталды (В.И.Г анжара, А.В.А тякшева, 2017).

Таңдалған учаскелерде ИПС МГ – 4.04. құрылғысын қолданатын бұзылмайтын қысу сынақтарының нәтижелері бойынша темірбетон плиталарының бетон беріктігі В30...В35 кластарына сәйкес келеді (2 және 3-суретті қараңыз).

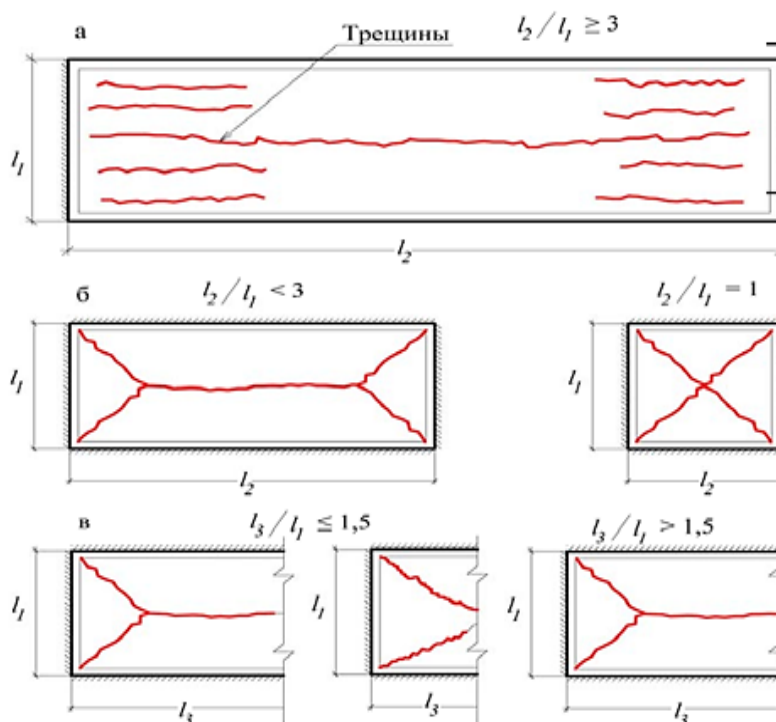


2-сурет. Бес қабатты тұрғын үйге арналған темірбетон материалынан жасалған құрама темірбетон еден плиталары
Ескерту – автормен құрастырылған



3-сурет. ИПС МГ – 4.04. құрылғысының көмегімен бұзбайтын әдіспен құрастырмалы темірбетон плиталарының бетон беріктігін анықтау
Ескерту – автормен құрастырылған

Едендер мен жабындардың құрама темірбетон құрылымдарының техникалық жағдайы тексеру кезінде көрінетін ақаулар мен зақымданулардың болмауына байланысты жұмысқа жарамды деп бағаланды. Қолданыстағы стандарттарға сәйкес құрылымдарды техникалық пайдалану ережелерін одан әрі сақтау қажет.



4-сурет. Әртүрлі жұмыс жүйесі бар темірбетон плиталарын бұзу кезіндегі жарықтар:
 а – $l_2/l_1 \geq 3$ арқалық; б – контур бойымен тіреуішпен; в – үш жағынан тіреуішпен
 Ескерту – (В.В. Леденев, В.П. Ярцев, 2017) негізінде құрастырылған

Плиталарда келесі жарықтар болуы мүмкін:

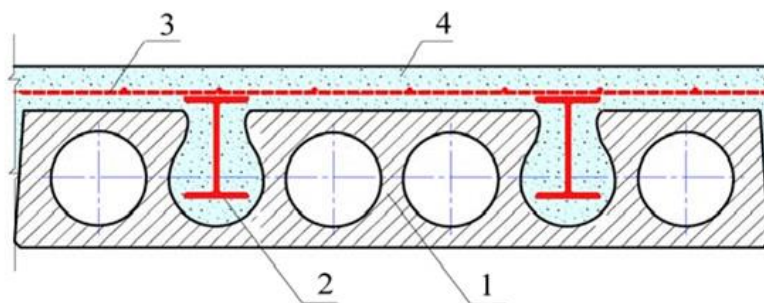
- тақта өрісінің ортаңғы бөлігінде;
- төменгі бетінде максималды ашылуы бар плитаның өрісі бойынша;
- тактайшаның үстіңгі бетінде саңылауы бар жұмыс аралығының көлденең бағыттағы тіреу учаскелерінде;
- бетонның қорғаныс қабатының жоғалуы бар радиалды және соңғы жарықтар;
- плитаның төменгі жазықтығы, арматура бойындағы жарықтар жиі кездеседі
- әртүрлі арақатынастары бар күштерден пайда болған жарықтар (В.В. Леденев, В.П. Ярцев, 2017).

Еден плиталарын нығайту жолдары:

- тіректерді, тіректерді қамтамасыз ету (үй-жайлардың икемділігін төмендетеді);
- плиталардың көлденең қимасының ауданын ұлғайту;
- түсіру элементтерін жеткізу (материалдың жоғары шығыны);
- еденді қосымша күшейту;

Қосымша арматурамен плиталарды нығайтудың кезектілігі

1. Еден плиталарының арматурасын белгілеңіз (1).
2. І-сәулелерінің өтуін қамтамасыз ету үшін бос орындардың үстіндегі плиталардың бөліктерін бөлшектеңіз.
3. І-арқалықтарды (2) тесілген бос орындарға орнатыңыз.
4. Арматура торын (3) еден плиталарының үстіңгі жағына салыңыз, торды І-арқалықтарға дәнекерлеңіз.
5. Дірілдейтін стяжкамен нығыздалған ұсақ түйіршікті бетон қабатын (4) төсеңіз.



5-сурет. Темірбетонды қуыс өзекшелерді нығайту:

1 – еден плитасы; 2 – екі бос қуыстар арқылы; 3 – 150x150 мм қадаммен диаметрі 8 мм АІ арматурасынан жасалған тор; 4 – ұсақ түйіршікті бетон

Ескерту – (В.В. Леденев, В.П. Ярцев, 2017) негізінде құрастырылған

Қорытынды. Жарықтардың пайда болуы: темірбетон құрылымдары топырақтың шөгуі, шамадан тыс жүктеме немесе жүктеменің дұрыс бөлінбеуі, температураның ауытқуы және т.б. сияқты әртүрлі факторларға байланысты жарықтарға сезімтал болуы мүмкін. Жарықтар көрінетін немесе жасырын болуы мүмкін, бұл құрылымның беріктігі мен тұрақтылығының төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Арматураның коррозиясы: темірбетон конструкциясы ылғалдан және химиялық заттардан қорғалмаған жағдайда арматура коррозияға ұшырауы мүмкін. Коррозия құрылымдардың беріктігін төмендетуі мүмкін.

Стандарттар мен талаптарды сақтамау: темірбетон құрылымдары сенімділік пен қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін белгілі бір стандарттар мен талаптарға сай болуы керек. Егер құрылымдар осы талаптарға сәйкес келмесе, олар жеткілікті берік немесе тұрақты болмауы мүмкін, бұл төтенше жағдайға әкелуі мүмкін.

Осы факторлардың барлығы үйлердегі темірбетон құрылымдарының пайдалану сенімділігін зерттеу кезінде ескерілуі керек. Жобалық құжаттарды талдауды, құрылымдық тексеруді, тестілеуді, қоршаған ортаға әсерді бағалауды және деректерді талдауды қамтитын кешенді тәсіл ғана құрылымның жай-күйі туралы толық түсінік береді және оны күтіп ұстау, жөндеу немесе ауыстыру бойынша қажетті шараларды анықтайды.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- ҚР ЕЖ EN 1992-1-1:2004/2011 Темірбетон конструкцияларды жобалау // ҚР ЕЖ EN 1992-1-1:2004/2011 Temirbeton konstrukciyalardy zhabalau
- ҚР ЕЖ 1.04-101-2012 «Фимараттар мен құрылыстардың, техникалық жағдайын тексеру және бағалау» // ҚР ЕЖ 1.04-101-2012 «Fimarattar men құrylystardуң, tekhnikalық zhardajyn tekseru zhәne бағalau»
- «Обследование и мониторинг с троительных к онструкций з даний и с ооружений». В.В. Леденев, В.П. Ярцев, Тамбов, Издательство Ф ГБОУ ВШ «ТГТУ», 2017 г. // «Obsledovanie i manitoring stroitel'nyh konstrukcij zdanij i sooruzhenij». V.V. Ledenev, V.P. YArcev, Tambov, Izdatel'stvo FGBOU VSHCH «TGTU», 2017 g
- ҚР Үкіметінің 08.02.2011 ж. № 91 қаулысымен бекітілген «Темірбетон, бетон құрылымдардың қауіпсіздік талаптары» техникалық регламенті // ҚР Үкіметінің 08.02.2011 zh. № 91 қаулысымен бекітілген «Temirbeton, beton құrylymdardуң қаuipsizdik talaptary» tekhnikalық reglamentі.
- «Технология железобетонных и зделий и конструкций». В.И. Ганжара, А.В. Атыкшева. Фолиант, 2017 // «Tekhnologiya zhelezobetonnыh izdelij i konstrukcij». V.I. Ganzhara, A.V. Atyaksheva. Foliant, 2017.
- Liu X, Wang C, Liu T, Wei Y, Lv J 2009 Fiber Grating Water pressure sensor and system for mine. ACTA Photonica Sinica. – V. 38 pp.112–114

- Айме К.А. Мониторинг зданий и котлованов / К.А. Айме // Строительные материалы, оборудование, технологии века. – 2005. – Ч. 2, № 11. // Ajme K.A. Monitoring zdanij i kotlovanov / K. A. Ajme // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii veka. – 2005. – Ч. 2, № 11.
- Александров А.С. Совершенствование расчёта дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу. Состояние вопроса: монография / А.С. Александров. – Омск: СибАДИ, 2015. // Aleksandrov A. S. Sovershenstvovanie raschyota dorozhnyh konstrukcij po soprotivleniyu sdvigu. Sostoyanie voprosa: monografiya / A.S. Aleksandrov. – Omsk: SibADI, 2015.
- Амбарцумян С.А. О мониторинге состояния строительных конструкций на некоторых уникальных объектах / С.А. Амбарцумян, Н.Г. Нерсисян // Бетон и железобетон. – 2005. – № 4. // Ambarcumyan S.A. O monitoringe sostoyaniya stroitel'nyh konstrukcij na nekotoryh unikal'nyh ob"ektah / S.A. Ambarcumyan, N.G. Nersesyan // Beton i zhelezobeton. – 2005. – № 4.
- Бедов А.И. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / А.И. Бедов В.Ф. Сапрыкин. – М.: Изд-во АСВ, 1995 // Bedov A.I. Obsledovanie i rekonstrukciya zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij ekspluatiruemyh zdanij i sooruzhenij / A.I. Bedov V.F. Saprykin. – M. : Izd-vo ASV, 1995.
- Драпалюк Д.А. Мониторинг состояния жилого фонда и его физический износ, проведение обследований строительных материалов и конструкций: учеб.-метод. пособие / Воронежский ГАСУ. – г. Воронеж, 2013 82 с. // Drapalyuk D.A. Monitoring sostoyaniya zhilogo fonda i ego fizicheskij iznos, provedenie obsledovanij stroitel'nyh materialov i konstrukcij: ucheb.-metod. posobie / Voronezhskij GASU. – g. Voronezh, 2013 82 s.
- Оценка технического состояния железобетонных конструкций по внешним признакам https://www.steps.ru/article/otsenka_tekhnicheskogo_sostoyaniya_zhelezobetonnyh_konstruktsiy_po_vneshnim_priznakam/ // Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po vneshnim priznakam https://www.steps.ru/article/otsenka_tekhnicheskogo_sostoyaniya_zhelezobetonnyh_konstruktsiy_po_vneshnim_priznakam/
- Определение прочности бетона методом отрыва со скалыванием <https://sksatisexpert.com/articles/opredelenie-prochnosti-betona-metodom-otryva> // Opredelenie prochnosti betona metodom otryva so skalyvaniem <https://sksatisexpert.com/articles/opredelenie-prochnosti-betona-metodom-otryva>
- Улыбин А.В. Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций https://www.ozis-venture.ru/files/publications/Ulybin_kp_arm.pdf // Ulybin A.V. Metody kontrolya parametrov armirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij https://www.ozis-venture.ru/files-publications/Ulybin_kp_arm.pdf
- Математическое моделирование напряженно-деформируемого состояния конструкций и материалов. <https://ranv.ru/2022/11/26/matematicheskoe-modelirovanie-napryazhenno-deformiruемого-sostoyaniya-konstrukcij-i-materialov/> // Matematicheskoe modelirovanie napryazhenno-deformiruемого-sostoyaniya konstrukcij i materialov. <https://ranv.ru/2022/11/26/matematicheskoe-modelirovanie-napryazhenno-deformiruемого-sostoyaniya-konstrukcij-i-materialov/>

Information about authors

Akhmetov Beibit Bakievich – Doctoral student of the educational program - Construction, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: Beibit.bakiuly@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1697-70067, 87077374374

Serova Rauza – Ph.D., docent, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: roza_serova@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7142-620X, 87022415500



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

СӘУЛЕТ
АРХИТЕКТУРА
ARCHITECTURE

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_216
MPHTI 67.07.11

Э.М. Байтенов¹, А.С. Еспенбет²

Международная образовательная корпорация, 050028, г. Алматы, Казахстан

¹E-mail: bajte@mail.ru

²E-mail: eas_51@mail.ru*

"КАМЕННЫЕ" МЕЧЕТИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА: К ПРОБЛЕМЕ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ «ТАС» МЕШІТТЕРІ: ЗАМАНАУИ АЙМАҚТЫҚ СӘУЛЕТ МӘСЕЛЕСІ ТУРАЛЫ

«STONE» MOSQUES OF EASTERN KAZAKHSTAN: TO THE PROBLEM OF SOURCES FOR MODERN REGIONAL ARCHITECTURE

Аннотация. «Каменные» мечети, то есть мечети, возведенные из обожженного кирпича в восточно-казахстанских городах – весьма своеобразное явление в архитектуре Восточного Казахстана XIX – начала XX века. Более того, вкупе с деревянными мечетями, которые возводились раньше «каменных», они представляют собой различные вариации в рамках вполне сложившейся традиции. Тем не менее возобновившееся с 90-х гг. прошлого века возведение мечетей в городах Восточного Казахстана не учитывает эту «легитимизированную» столетиями традицию. В связи с этим целью настоящей статьи является заострить внимание на этом региональном явлении, проанализировать архитектуру мечетей в аспекте использования ее в архитектурной практике возведения монументальных зданий (и не только культовых) и наметить возможные пути дальнейшего изучения этих памятников. Многочисленные упоминания в литературе восточно-казахстанских мечетей и отдельные исследования, в которых дается их краткое описание, и даже стилистический анализ (в контексте восточно-казахстанской архитектуры XIX – начала XX века в целом) тем не менее не рассматривали эти памятники в аспекте преемственности для создания современной региональной архитектуры. Специально же «каменные» мечети как источник для создания современной региональной архитектуры не рассматривались. В данной статье сделана попытка не только дать краткий архитектурно-художественный анализ мечетей, но используя сравнительный анализ и элементы системного анализа, выявить композиционные принципы, положенные в основу их архитектуры, которые могут быть использованы в создании современной архитектуры Казахстана. В результате проведенного исследования были выявлены композиционные принципы, на которых основана архитектура восточно-казахстанских мечетей. Это прежде всего касается объемно-пространственной структуры мечетей, построенной на продольно-осевом принципе. Предлагается использовать и сам стилистический строй этих памятников, а именно эклектику, но в переосмысленном виде, и архитектурно-художественные находки, которыми богата архитектура мечетей.

Ключевые слова: мечеть, минарет, шатровое покрытие, объемно-пространственная структура, продольно-осевая композиция, эклектика, региональное наследие.

Аңдатпа. Шығыс Қазақстан қалаларындағы «тас» мешіттер, яғни күйдірілген кірпіштен салынған мешіттер XIX – XX ғасыр басындағы Шығыс Қазақстанның сәулет өнеріндегі ерекше

құбылыс. Оның үстіне, «тасқа» дейін салынған ағаш мешіттермен бірге олар қалыптасқан дәстүр аясында әртүрлі вариацияларды білдіреді. Дегенмен, 90-шы жылдардан бері жаңартылды. өткен ғасырда Шығыс Қазақстан қалаларында мешіттер салуда ғасырлар бойы «заңдастырылған» бұл дәстүр ескерілмейді. Осыған байланысты, бұл мақаланың мақсаты осы аймақтық құбылысқа назар аудару, сондай-ақ монументалды ғимараттарды (тек діни ғана емес) салудың сәулет тәжірибесінде пайдалану аспектісінде мешіттердің сәулетін талдау болып табылады. сондай-ақ осы ескерткіштерді одан әрі зерттеудің мүмкін жолдарын белгілеу. Шығыс Қазақстан мешіттері туралы әдебиеттердегі көптеген сілтемелер, тіпті олардың қысқаша сипаттамасы, тіпті стилистикалық талдауы (жалпы 19-20 ғасырлардағы Шығыс Қазақстан сәулет өнері контекстінде) берілген жеке зерттеулер, алайда, бұл ескерткіштерді 2007 ж. заманауи аймақтық архитектура нысанын құру үшін аспектінің сабақтастығы. «Тас» мешіттері заманауи аймақтық сәулет өнерін жасаудың қайнар көзі ретінде арнайы қарастырылмады. Бұл мақалада мешіттерге қысқаша сәулеттік-көркемдік талдау жасап қана қоймай, салыстырмалы талдауды, сонымен қатар жүйелік элементтерді пайдалана отырып, олардың сәулетінің негізінде жатқан композициялық принциптерді анықтауға талпыныс жасалды. Қазақстандағы сәулет. Зерттеу нәтижесінде Шығыс Қазақстан мешіттерінің сәулеті негіз болатын композициялық ұстанымдар анықталды. Бұл, ең алдымен, бойлық-осьтік принцип бойынша салынған мешіттердің көлемдік-кеңістіктік құрылымына қатысты, бұл ескерткіштердің стилистикалық құрылымын, атап айтқанда, эклектизмді, бірақ қайта ойластырылған түрде, сонымен қатар сәулеттік-кеңістіктік құрылымды пайдалану ұсынылады. мешіттердің сәулет өнеріне бай көркем олжалар.

Түйін сөздер: мешіт, мұнара, шатыр жамылғысы, көлемдік-кеңістіктік құрылым, бойлық-осьтік композиция, эклектика, аймақтық мұра.

Abstract. The «stone» mosques, i.e. constructed from burnt brick in cities of Eastern Kazakhstan, represent a distinctive phenomenon of regional architecture, of the period - 19th-the early 20th century. Moreover, even in conjunction with wooden mosques, built before the "stone" ones, they represent variations within well-established tradition. Nevertheless, the renewed construction of mosques in cities of Eastern Kazakhstan since the 1990s completely disregards this tradition legitimized by centuries. The article is devoted to this regional phenomenon, analyses architecture of mosques in terms of its use in architectural practice of erecting monumental buildings and to outline possible paths for monuments study. Numerous mentions in literature of Eastern Kazakhstan mosques and individual studies, which provide their descriptions and even stylistic analysis (in the context of Eastern Kazakhstan architecture of 19th-early 20th century), however, didn't consider these monuments in terms of their continuity for creation of modern regional architecture, i.e. "stone" mosques as a source for creation of up to date architecture. This article, doesn't provide brief architectural and artistic analysis of mosques only but also, uses comparative and systematic analysis analyses, to identify the compositional principles that demonstrate their architecture. As a result of the conducted research, compositional principles underlying the architecture of Eastern Kazakhstan mosques were identified. This primarily concerns the volumetric-spatial structure of mosques, built on the longitudinal-axial principle. It is proposed to use both the stylistic composition of these monuments, namely eclecticism, but in a reinterpreted form, and the architectural-artistic discoveries that enrich architecture of mosques.

Keywords: mosque, minaret, tent covering, volumetric-spatial structure, longitudinal-axial composition, eclecticism, regional heritage.

Введение. Одними из важных общественных зданий в современной архитектуре казахстанских городов, активно формирующих их образ, являются мечети. Тем не менее приходится констатировать, что, несмотря на присущую архитектуре ислама открытость к инновационным поискам, в настоящее время в Казахстане возводятся мечети, апеллирующие в основном к некоей, чаще всего надуманной традиционности, основными чертами которой являются вариации на тему средневековых образов более южных регионов, в частности в формах куполов и минаретов. Более того, не принимается во внимание даже существующее региональное наследие, как это в частности можно отметить в архитектуре современных мечетей в городах востока Казахстана – Семей, Усть-Каменогорске, Павлодаре. Между тем в этом регионе Казахстана уже более ста лет назад исторически сложилась особая объемно-пространственная структура мусульманских храмов, представленная в нескольких вариациях. Необходимо отметить, что в ее основу,

в отличие от большинства современных мечетей этих городов, положена продольно-осевая схема, которая продемонстрировала значительную устойчивость, поскольку развивалась не только в "каменных" конструкциях, но и еще раньше в деревянных. Но все-таки именно "каменные"¹ мечети с присущей им монументальностью до сих пор являются примером архитектурно-художественной выразительности, причем даже не по количественным параметрам (размеры и т.д.), а по пропорциям, взвешенному соотношению составляющих их частей, изысканности абриса "уплощенных" куполов, "игольчатых" минаретов, проработке деталей и т.д. Этот тип мечети развивался исходя из совокупности определенных условий, что и обусловило характерные черты их объемно-пространственной структуры и художественного образа. Так, каноническая схема, характерная для мечетей вообще (михраб, минареты, ориентация) была совмещена с поволжскими традициями (Мендикулов, 1959), а также и продольно-осевая схема, характерная для церковной архитектуры с расположенными на одной оси шатровой колокольной, трапезной (или притвора) и четверика (Глаудинов, 1999).

Целью данной статьи является компактное изложение материала по «каменным» мечетям, их архитектурно-художественный анализ для облегчения его восприятия и использования в самых разных областях – прежде всего в практике проектирования мечетей, а также и в дальнейшем их изучении в аспекте регионального наследия. Монументальные «каменные» мечети были возведены во 2-й половине XIX – начале XX века в Семипалатинске, Усть-Каменогорске, Павлодаре, Зайсане. Несмотря на ряд отличий, во всех этих зданиях приняты близкая планировочная схема и достаточно сходная стилистика. С некоторыми изменениями сохранились до настоящего времени две мечети в Семее, так называемые «одноминаретная» и «двухминаретная», мечеть в Павлодаре в результате пертурбаций 30-х гг. XX века утратила минарет и подверглась другим изменениям, две мечети Усть-Каменогорска вообще были утрачены, а мечеть в Зайсане, весьма изящной архитектуры, утратила минарет и купол. Близкие по структуре «одноминаретные» мечети были возведены в Петропавловске и Кокчетаве, но в несколько иных, более «северо-казахстанских» традициях. Таким образом, в основном рассмотрены сохранившиеся мечети Семей и Павлодара.

Возникновению городов Восточного Казахстана как крепостей Иртышской укрепленной линии посвящена обширная литература (см. сводку Семипалатинск, 1984 и др.). В этих источниках обрисован исторический контекст, в котором впоследствии органически возникли мечети. Сами же мечети упоминаются прежде всего в исторической литературе; важно, что в основном о них писали их современники, бывшие свидетелями их возведения, такие как этнограф И.И. Завалишин, побывавший в Семипалатинске в 60-х годах XIX в. Он отмечал, что одна из мечетей каменная, соборная с двумя минаретами, прекрасной архитектуры, оконченная лишь в 1862 г. (Завалишин, 1867). А.Е. Врангель, русский дипломат, служивший в 50-х гг. XIX века в Семипалатинске, писал о семи мечетях, по-видимому, деревянных, так как единственным каменным зданием в городе он называл православную церковь (Врангель, 1912), но именно значительное количество небольших мечетей, очевидно, и свидетельствует о высокой потребности в такого рода зданиях, и появление соборных мечетей стало естественным результатом этого процесса. Отсюда вряд ли одноминаретная мечеть могла послужить прототипом для деревянных, как это иногда предполагается (Глаудинов, 2016)

¹В исторической литературе культовые здания (мечети, церкви) города Семипалатинска, возведенные из обожженного кирпича, назывались «каменными» (Завалишин, 1867; Врангель, 1912), очевидно, для отличия их от деревянных построек. В связи с этим мы также применяем этот термин, так как рассматриваем только монументальные кирпичные мечети.

– даже поздние из них (начало XX века) развивали традиции именно деревянных мечетей, о которых и упоминал А.Е. Врангель, возводившихся, когда «каменных» еще не было. Упоминаются монументальные мечети Усть-Каменогорска – Ахмет-Сафа и Рамгулова (Адрес-календарь, 1915), ныне утраченные. В архитектурном плане мечети Восточного Казахстана были рассмотрены в широком контексте архитектуры XIX – начала XX века в различных исследованиях, в том числе и справочных (Земляницын, 1876; Мендикулов, 1959; Байтенов и др., 1985; Глаудинов и др., 1987; Глаудинов, 1999; Глаудинов, 2016; Еспенбетов, 1991; Исабаев, 1992; Кашляк, 2004 и др.). В данной же статье специально рассматриваются только монументальные «каменные» мечети в аспекте специфического регионального наследия, которое должно активно использоваться для создания современной архитектуры Казахстана (и не только Восточного). В соответствии с этим авторы не ставили целью привести полную сводку литературы о мечетях, но в большей степени сосредоточились на выявлении композиционных принципов этих зданий.

Материалы и методы исследования. Методы исследования выбраны согласно решаемым в статье задачам. Широко используется сравнительный анализ как способ выявления общего и особенного в композиции мечетей. Изучение композиции мечетей ведется с позиций архитектурно-художественного анализа. Для выявления характерных черт восточно-казахстанской культовой архитектуры, а точнее специфических форм и принципов, объединенных в систему (например, «кластер» в виде сочетания уплощенного купола с «игольчатым» минаретом), авторы воспользовались системным анализом. Кроме того, в разное время были проведены натурные обследования рассматриваемых в статье мечетей (Карпыков А.С., Байтенов Э.М., Еспенбет А.С.) и ознакомление с данными областных историко-краеведческих музеев городов Семипалатинска, Усть-Каменогорска и Павлодара.

Результаты и их обсуждение. Создание Иртышской укрепленной линии длиной в 930 верст (крепости Омская, Железинская, Петропавловская, Семипалатинская, Усть-Каменогорская, Ямышевская) явилось завершающим этапом в присоединении Западной Сибири к России. Оно закончилось в 50-х годах XVIII в. Укрепленная Иртышская линия включала более тридцати укреплений – крепостей и звеньев между ними: форпостов, редутов, маяков и т.д. Впоследствии укрепления развивались по-разному, одни превращались в поселки, а такие как Омская, Семипалатинская, Усть-Каменогорская крепости и Коряковский форпост выросли в крупные экономические и административные центры. Одним из звеньев этой цепи было основание глубоко вклинившейся в Казахскую степь Семипалатинской крепости, в связи с этим имевшей большое стратегическое значение (Semipalatinsk, 1984). Семипалатинская крепость была основана в 1718 г. на правом берегу Иртыша, но впоследствии была перенесена в более удобное место выше по течению и заселялась военными и частично торговыми людьми из старой крепости (Семипалатинск, 1984). Крепость Усть-Каменная (впоследствии г. Усть-Каменогорск) была заложена в месте впадения р. Ульбы в р. Иртыш. Коряковский форпост, в дальнейшем ставший городом Павлодаром, был основан в 1720 г. – на два года позже Семипалатинской крепости и на год позже Усть-Каменогорской.

Выгодное географическое расположение Семипалатинской крепости превратило ее в важный пункт торговли с другими областями Казахстана, Средней Азией и Западным Китаем (Семипалатинск, 1984), что способствовало увеличению притока переселенцев: «бухарцев» и «ташкентцев», казахов и калмыков (Семипалатинск, 1984). Для купцов-мусульман были специально построены мечети (Аполлова, 1976). Об активном строительстве в Семипалатинске мечетей (очевидно, деревянных), как было отмечено выше, писал А.Е. Врангель (Врангель, 1912). О каменной же «двухминаретной» мечети

мы узнаем от И.И. Завалишина, побывавшего в Семипалатинске в 60-х годах XIX в., который охарактеризовал ее архитектуру как «прекрасную» (Завалишин, 1867). Необходимо отметить, что в отличие от других регионов Казахстана, где в городах также возводились здания из обожженного кирпича, что перенималось и степной архитектурой, в Восточном Казахстане этот материал в народном зодчестве явно применен лишь в одном случае (мавзолей Зейнулла, 1925 г.); в основном же казахские постройки возводились из сырцового кирпича, реже из дерева и камня (Байтенов, 2004).

Двухминаретная мечеть в г. Семипалатинске – это уникальное культовое здание, оно возведено в 1858-1862 годах на средства семипалатинских купцов Мухаммед-Шакира Сулейменова, Измаила Абдашева, Мухаммед-Садыка Рафикова, Мухаммед-Валя Хамитова по заказу областного духовного управления. Существует расхожее мнение, что авторами проекта являются областной архитектор А. Болботов и инженер подпоручик Манашев, но, кроме того, в исторических источниках указывается академик Скаржинский (Кашляк, 2004). Здание (ул. Абая, 50) было обследовано в 1984 году (Карпыков А.С., Байтенов Э.М.), оно находилось на площади среди малоэтажной застройки преимущественно XIX - начала XX в.; сохранившийся исторический фон выгодно выделял постройку: монументальное здание мечети не только «держало» пространство, но и активно его формировало, являясь центральным доминирующим элементом (Байтенов и др., 1985). Особенностью объемно-пространственного решения мечети является четкая дифференциация объемов обширного молельного зала, к которому примыкает «притвор» («дализ») с двумя минаретами на углах и объем входного киоска (Рис. 1).



Рисунок 1. «Двухминаретная» мечеть. Общий вид

Примечание: фото Э.М. Байтенова, 1984 г.

Входной киоск-павильон представляет собой квадратный в плане объем с повышенными пропорциями, его центрическая композиция раскрыта на четыре стороны – три из них оформлены как входные порталы, четвертая же через невысокий связующий объем (упомянутый дализ) связана с молельным залом. К трем входным проемам киоска ведут широкие лестничные марши, благодаря чему киоск как бы покоится на высоком пьедестале. Ощущению легкости архитектурных форм способствует устройство тонких колонн по углам киоска, имеющих повышенные пропорции, на которые уложен высокий антаблемент с венчающим карнизом и характерным большим выносом четырехскатной пологой кровли. Весь киоск венчается небольшим куполом луковичной формы с золоченым навершием, заканчивающимся полумесяцем. Представляет интерес решение собственно входных проемов. Здесь сделана попытка своеобразного соединения двух тектонических систем: арочной и стоечно-балочной.

Высокий объем киоска вместе с вертикалями минаретов образуют как бы входной портал мечети, который через дализ в один оконный проем со вспомогательными помещениями перетекает в «кубический» объем молельного зала, увенчанного приземистым куполом. Молельный зал – квадратное в плане четырехстолпное помещение, на его продольной оси в глубине зала находится михрабная ниша. С внешней стороны зал опоясан высоким выступающим цоколем, в верхней части имеется карниз в виде профилированной тяги с рядом сухариков и сильно выступающим свесом кровли. Венчающий купол покрыт кровельным железом. Помещение молельного зала освещается высокими окнами (по три на каждом из боковых фасадов). Характерно завершение окон, состоящее из полного круга, врезанного в арку и обрамленного подковообразной кривой. Любопытно отметить, что окна круглого очертания в деревянных мечетях являются самостоятельными проемами, освещающими второй антресольный этаж залов. Последнее также свидетельствует об отмеченном выше самостоятельном возникновении типа деревянных мечетей независимо от «каменных». Здесь же они подчеркивают высоту помещения. Архивольты обрамляющих арок и обрамление арок входного киоска декорированы чередованием бороздчатых и гладких участков. Такова же разработка рустованных горизонтальных рядов, которыми декорированы фасады зала от цоколя до карниза (включая дализ и минареты). Этим подчеркнута тектоника стен и арок. Фасады зала имеют и вертикальные членения в виде промежуточных (по две на боковых фасадах) и угловых пилястр, отражающих конструктивную основу здания в целом. Углы трехгранного михраба усилены трехчетвертными колоннами с капителями растительного мотива и заметным энтазисом.

Два восьмигранных минарета – доминанты композиции здания. Они имеют трехчастное членение по вертикали, согласованное с общим архитектурным решением. Так, высота и декор нижней и глухой части задана архитектурой молельного зала. Вторая часть несколько нависает над предыдущей и имеет вертикальные декоративные членения, в частности вытянутые стрельчатые окошки. Третья, верхняя часть минарета значительно короче первых двух, отделяется от средней декоративными накладными кронштейнами и имеет обходную галерею с ажурным обрамлением и стрельчатые оконные проемы. Завершаются минареты шатровым покрытием из кровельного железа с золочеными навершиями с серпом полумесяца. Высокий цоколь сообщает зданию дополнительную стройность.

На момент обследования памятника (1984 г.), за исключением позолоченных наверший, мечеть была решена двухцветно – стены окрашены в белый цвет (купола, шатры) и покрыта кровельным железом глубокого зеленого цвета. Поэтому с дальней точки перед зрителем сначала открывается контрастное бело-зеленое силуэтное очертание с последующим прорисовыванием объемных деталей.

Другим уникальным зданием является так называемая одноминаретная мечеть в г. Семипалатинске (ул. академика Павлова, 78). В дате возведения мечети существуют расхождения: первая половина XIX в., вторая половина XIX в. Очевидно, это связано с тем, что каменная одноминаретная мечеть была построена на месте тоже одноминаретной, но сгоревшей деревянной мечети. Краевед В.Н. Кашляк приводит дату строительства каменной мечети – 1908-1910 гг. (Кашляк, 2004). Мечеть также окружена малоэтажной застройкой и в соответствии с этим является доминантой. Здание имеет продольно-осевую композицию, состоит из квадратного в плане зала с михрабом, перекрытого отлогим куполом на невысоком цилиндрическом барабане, примыкающего к залу более низкого и узкого павильона («дализ») с двускатной кровлей, и входной части с минаретом (Байтенов и др., 1985).

Динамичная композиция объемов на боковом фасаде – ризалит входной части и собственно входной павильон имеют по одному оконному проему, упомянутый павильон два, а зал три; нарастание числа оконных проемов, а следовательно, протяженности помещений и высоты (зал) отражает увеличивающуюся степень значимости организуемых ими пространств, развивающихся по анфиладному принципу. Входной павильон раскрывается на три стороны входными проемами, каждый из которых завершается подковообразной аркой с рустованным архивольтом. Входные проемы на боковом фасаде свободно расположены в поле, ограниченном с обеих сторон угловыми рустованными пилястрами и сверху лентой накладных декоративных кронштейнов, поддерживающих слегка нависающий карниз. На главном же, более широком фасаде входной проем «зажат» двумя промежуточными, более узкими, чем угловые, но тоже рустованными пилястрами. Значимость этого фасада подчеркнута также лучковым изгибом средней части карниза, повторяющим очертание арки, и, самое главное, введением аттика, повторяющего уже очертание карниза. Углы ризалитов и молельного зала окантованы широкими рустованными пилястрами, по две на каждом боковом фасаде, промежуточные – несколько уже. Карниз, поддерживаемый кронштейнами, опоясывает всю входную часть с промежуточным павильоном, а также зал, с той лишь разницей, что в последнем применено две, одна над другой, ленты кронштейнов, что придает им сходство со сталактитами. Это увеличение высоты карниза соответствует такому крупному элементу мечети, каким является молельный зал.

Минарет мечети (Рис. 2) как бы вырастает из перекрытия, образуемого в плане входным помещением, ризалитами и дализом; несмотря на то, что это лишь элемент постройки, он и сам имеет довольно сложную композицию. Трехчастное тело минарета венчается высоким шатровым коническим куполом. Средняя часть тела минарета покоится на основании большего диаметра и завершается ажурным круговым балкончиком, поддерживаемым карнизом с накладными кронштейнами, такими же, как в описанных карнизах. Пространство балкончика образуется как за счет нависания над карнизом, так и за счет меньшего диаметра верхней части, которая обрамлена в верхней части аналогичным карнизом. Между высоким шатровым покрытием и верхней частью тела минарета имеется гладкий переходный участок.

Мечеть в г. Павлодаре (Рис. 3) построена в 1905 г. татарским купцом Абдулфаттахом Рамазановым на месте старой, сгоревшей во время пожара 1901 г., уничтожившего 2/3 города. Строительные работы выполняли павлодарские каменщики В. Е. Петров и И. Г. Голиков. Она находится на ул. Маргулана, 138. В конце 30-х годов у мечети был снесен минарет и «луковки» над центральным входом. За время существования в здании мечети размещались различные организации (Байтенов и др., 1985). Мечеть находится в парке, ограда которого установлена также в 1905 г. Это единственная оставшаяся в Павлодаре кованая металлическая решетка.

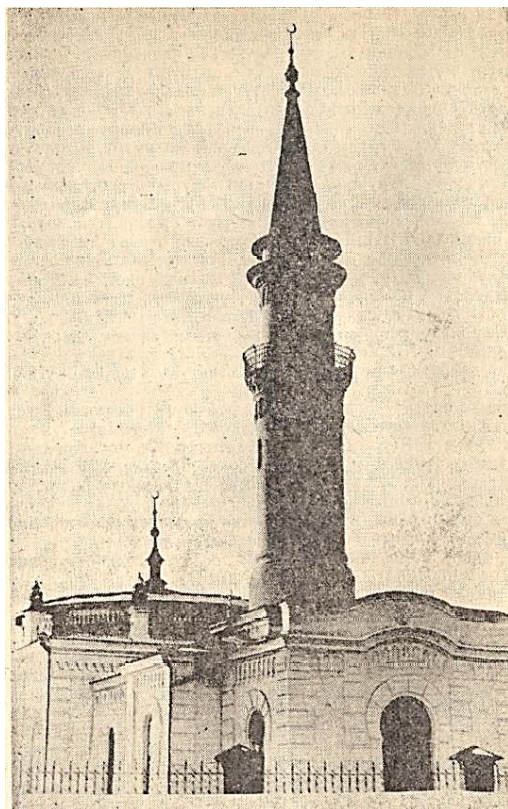


Рисунок 2. Минарет «одноминаретной» мечети

Примечание: фото Э.М. Байтенова, 1984 г.

Здание состоит из трех объемов, моельного зала с михрабом и двух объемов входной группы помещений. Все помещения прямоугольные в плане, лежат на одной оси (юго-запад – северо-восток) и от входного помещения до зала ритмично увеличиваются как по площади, так и по высоте. В здание ведет высокое, раскрытое на три стороны крыльцо. Большой зал венчается пологим, покрытым кровельным железом куполом на низком цилиндрическом барабане. Все помещения имеют вытянутые подковообразные арки с рустованными архивольтами, декоративный характер их подчеркнут различной шириной архивольта. Пятами арок являются капители четвертых колонок, ограничивающих проемы с обеих сторон, причем колонки начинаются ниже уступчатого подоконника, опираясь прямо на цоколь.

Фасады здания имеют рустованные промежуточные и угловые лопатки. На лопатки «опирается» накладной «архитрав» с выступающими прямоугольными участками, соответствующими ширине простенков и лопаток. Венчающий карниз представляет собой сложнопрофилированную тягу, «опирающуюся» на ряд декоративных накладных кронштейнов, соединяющихся по верху и при этом образующих систему арок. Здание имеет выступающий цоколь с рустованной верхней частью. Декор михраба имеет такие же формы, только выполненные в более мелком масштабе – на узком архитраве расположен ряд сухариков (а не более крупных кронштейнов), венчающих карниз также более узкий, узки и рустованные лопатки михраба. Михраб не имеет окон, но на его центральной части имеется ниша, повторяющая по очертанию оконные проемы, но опять же более мелкая. В интерьере помещения соединяются проемами с подковообразными

арками на потолке зала росписи (поздние). Здание белое (покрытое известкой) с резкими линиями прорисовки руста (даже в настоящее время она называется «Ак-Мечеть»).

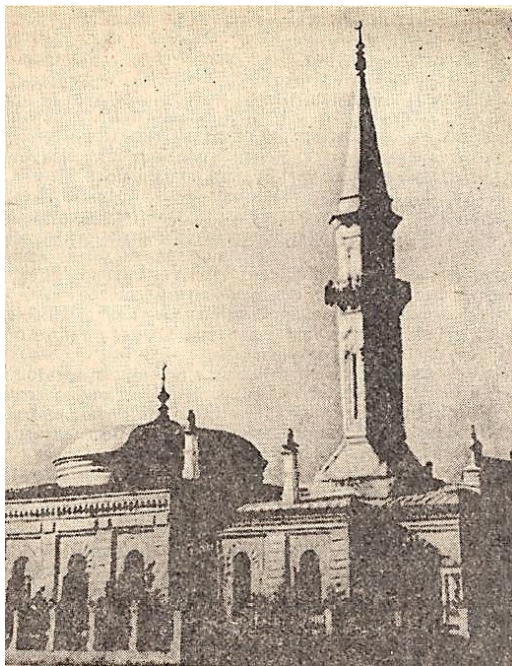


Рисунок 3. Мечеть в г. Павлодаре

Примечание: фото предоставлено Областным историко-краеведческим музеем в 1984 г.

Анализ особенностей архитектурного решения зданий мечетей показал, что в стилевом отношении все они эклектичны, включают несколько стилевых напластований и этим самым являются типичным примером поисков новых средств выразительности, характерных для второй половины XIX – начала XX в. Но в то же время в каждой мечети авторы пытались выразить своеобразие образа. Так, монументальность в двухминаретной мечети подчеркнута в том числе и восьмигранными минаретами, напротив, круглый минарет в одноминаретной мечети придает изящество и изысканность ее образу и т.д. Здания мечетей имеют все атрибуты мусульманского храма – михраб, указывающий направление на Мекку, минареты и навершия в виде полумесяца. Высокие шатровые покрытия минаретов и обходные галереи вызывают ассоциации с так называемыми «игольчатыми» минаретами турецких мечетей – излюбленная форма турков-сельджуков, прародиной которых были Южный Казахстан и Восточное Приаралье. Как известно, шатровые покрытия в кульново-мемориальной архитектуре были наиболее характерны для севера Средней Азии и, в частности, для золотоордынских мавзолеев, откуда, возможно, эта тема стала близкой и для татарской архитектуры Причерноморья и Северного Прикаспия, оказавшей влияние на возникновение этого типа мечетей (Мендикулов, 1959). Чередование на фасадах горизонтальных бороздчатых участков с гладкими вызывает ассоциации с турецкой архитектурой, где происходит как в арках, так и на фасадах чередование светлых (камень) и темных (красный кирпич) полос кладки. Архитектурные элементы мечети находят параллели в архитектурных системах различных эпох и территорий, при этом они могли возникнуть опосредованно (классика, готика) или под непосредственным влиянием (элементы русской, турецкой, татарской архитектур). Так, применение в карнизах сухариков и оформление карнизов в виде

антаблемента имеют явные истоки в классике, воспринятые через русский классицизм, оформление оконных проемов подковообразными арками может иметь сходство с арками испано-магрибской архитектуры, но в то же время здесь есть намек на готику («роза») и модерн (очертание арки). Лучковый куполок над входным киоском мог возникнуть под прямым влиянием как русской архитектуры, так и иметь более сложные корни (навершая лучковой формы распространены от Северной Африки до Японии). То есть «опосредованное использование принципов архитектуры» не только средневековья, но и античности происходит через опыт родственного по духу стиля (Кириченко, 1977). В целом композиция мечетей построена на двух основных принципах: 1) здания развивают глубинно-пространственную композицию с нарастающей значимостью пространств (Рис. 4) от входной части по направлению к михрабу, что подчеркивается последовательным увеличением числа окон, высоты и ширины помещений – происходит увеличение сакрального напряжения по мере «движения» в глубину – к михрабу (Байтенов и др., 1985); 2) общая уравновешенность композиции основана на противопоставлении массивного, приземистого объема зала и подчеркнута стройной вертикали минарета. В пропорциях минаретов наблюдается последовательное и закономерное сокращение частей кверху, что создает иллюзию большей высоты минаретов, чем это есть на самом деле. Помимо этого, в архитектуре мечетей заложено множество композиционных приемов и хитроумных решений частных вопросов, накопленных архитектурой в процессе развития. Так, последовательное сокращение высоты диаметра частей тела минарета, с одной стороны, способствует иллюзорному увеличению его высоты, и в то же время решается чисто функциональный вопрос заглублия обходного балкончика, значимость главного фасада подчеркивается изгибом карниза над центральной аркой фасада и т.д.

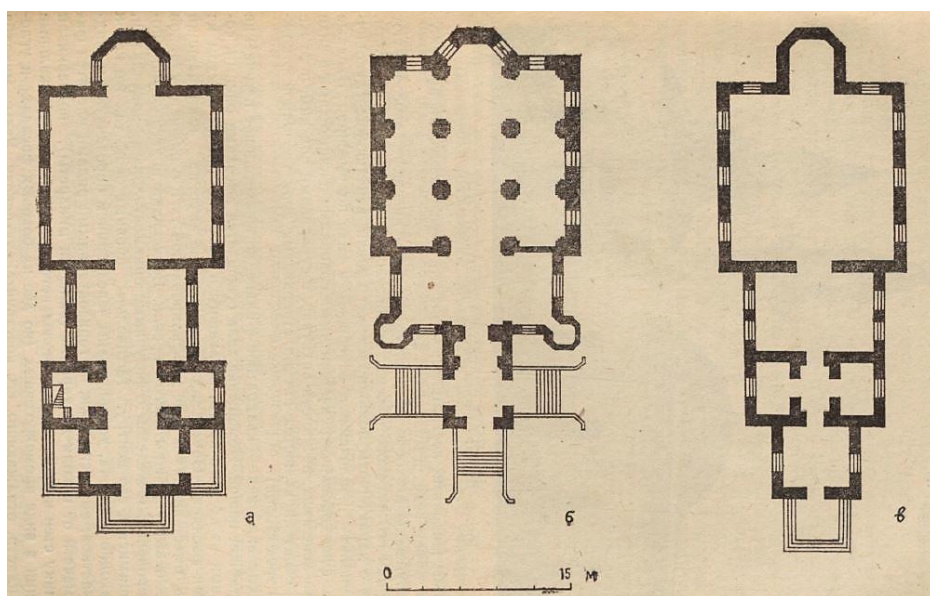


Рисунок 4. Планы «каменных» мечетей: а – «одноминаретная» мечеть, г. Семипалатинск;
б – «двухминаретная» мечеть, г. Семипалатинск; в – мечеть, г. Павлодар

Примечание: обмеры и чертежи авторов

Дальнейшее специальное углубленное исследование этих культовых сооружений позволит открыть их новые архитектурно-художественные достоинства, которые могут быть использованы в сравнительно-генетическом плане в историко-архитектурных

исследованиях как материал для переосмысленного использования в современной архитектуре Казахстана.

Заключение. Анализ особенностей композиции зданий мечетей показывает, что их архитектурно-художественное решение складывается из ряда принципов и приемов, которые могут быть развиты в современной региональной архитектуре:

– сочетание «уплощенного» купола (очевидно, истоки этого приема в деревянной архитектуре) с подчеркнуто стройным минаретом позволяет и в дальнейшем использовать тему контрастного взаимодействия масс не только в плане купольного объема и вертикали, но и в других конкретных проявлениях;

– глубинно-пространственная композиция с нарастанием масс создает торжественность как во внешнем облике здания, так и в интерьере. Этот прием вполне может быть использован не только в культовых, но и в других общественных зданиях, где должны решаться символические аспекты (музеи, галереи, мемориалы и т.д.);

– входной объем («четырёхарочный киоск-павильон»), раскрытый проемами на четыре стороны и вознесенный на своего рода «пьедестал» (благодаря лестничным маршам), очевидно, также в переосмысленном виде может подсказать интересные решения при необходимости подчеркнуть значимость и монументальность здания;

– использование в переосмысленном виде эклектики в поисках интересных и даже неожиданных сочетаний различных форм на основе их композиционного взаимодействия в пространстве (как великолепный пример взаимодействия разнохарактерных форм в современной архитектуре Капелла в Роншане, Ле Корбюзье). Согласно рассмотренным аналогам, можно сочетать не только формы, но и конструктивные системы (купольно-арочную и стоечно-балочную), последнее, кстати, характерно и для средневековой архитектуры Средней Азии;

– использование принципа доминирования в городской застройке для подчеркивания значимости объекта, силуэт которого будет читаться уже на значительном расстоянии;

– специальное усложнение композиции отдельных частей здания, пусть даже и не самых главных (по аналогии с разработкой минарета в одноминаретной мечети Семея). Последнее может решать частные задачи этой части здания, но в целом на контрасте с лапидарной композицией более крупных частей подчеркнет и их значимость.

В связи с огромной территорией нашей республики и многообразием архитектурного наследия такие принципы, как сочетание «уплощенного» купола с вертикалью, в первую очередь могут быть использованы в городах Восточного, Западного, Северного Казахстана, поскольку в Южном Казахстане развивались иные традиции купольной архитектуры. В современных же мечетях Усть-Каменогорска и Павлодара роль купола, даже вступающего в «спор» с минаретами (Павлодар), явно завышена, что не отвечает традиции. В целом же, любые принципы архитектурного наследия должны использоваться с неизменным тактом и опорой на глубокое знание традиционной архитектуры.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств авторов.

«Уведомление об использовании генеративного ИИ и технологий с его помощью в процессе написания рукописи». При подготовке данной работы авторы не использовали этих технологий.

Список литературы

- Аполлова Н.Г. (1976) Хозяйственное освоение Прииртышья в конце XVI – первой половине XIX в. – М.: Наука. - 372 с. // Apollova N.G. (1976). Hozyajstvennoe osvoenie Priirtysh'ya v konce XVI – pervoy polovine XIX v. Moskva: Nauka. - 372 s.

- Байтенов Э.М. (1985). Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование домового фонда старых городов Казахстана». Алма-Ата, регистрационный номер No. 81007591, инвентарный номер No. 02.85.0082658. Часть I "Семипалатинск" (2-й раздел) Глаудинов Б.А., Карпыков А.С., Байтенов Э.М., Еспенбетов А.С.) // Baitenov E.M. (1985). Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Issledovanie domovogo fonda staryh gorodov Kazahstana». Chast' I «Semipalatinsk» (2-j razdel)] (Glaudinov B.A., Karpykov A.S., Baitenov E.M., Espenbetov A.S.), Alma-Ata. Registratsionny No. 81007591, Inv. No. 02.85.0082658.
- Байтенов Э.М. (2004). Мемориальное зодчество Казахстана: эволюция и проблемы формообразования. – Алматы: Издательский дом КазГАСА. – 244 с. // Baitenov E.M. (2004). Memorial'noe zodchestvo Kazahstana: evolyuciya i problemy formoobrazovaniya]. – Almaty: KazGASA. – 244 s.
- Врангель А.Е. (1912). Воспоминания о Ф.М. Достоевском в Сибири. С-Петербург. – 221 с. // Wrangel A.E. (1912). Vospominaniya o F. M. Dostoevskom v Sibiri] St. Petersburg. – 221 s.
- Глаудинов Б.А. (1999). История архитектуры Казахстана (с древних времен до начала XX века). Алматы: КазГАСА. – Т. 1. – 294 с. // Glaudinov B.A. (1999). Istoriya arhitektury Kazahstana (s drevnejshih vremen do nachala ХХ veka)] Almaty: KazGASA, Vol.1. – 294 s.
- Глаудинов и др. (1987). Глаудинов Б.А., Сейдалин М.Г., Карпыков А.С. Архитектура советского Казахстана. – М.: Стройиздат. – 320 с. // Glaudinov B.A. et al. (1987). Glaudinov B.A., Seydalin M.G., Karpykov A.S. Arhitektura Sovetskogo Kazahstana]. – M.: Stroyizdat. – 320 s.
- Глаудинов Б.А. Эволюция зодчества Казахстана с древности до начала XX века: монография - Алматы: ТОО "Алейрон". - 606 с. // Glaudinov, B. A. (2016). Evolyuciya zodchestva Kazahstana s drevnosti do nachala ХХ veka: monografiya] - Almaty: ТОО "Aleiron". - 606 s.
- Еспенбетов А.С. (1991). Мечети Семипалатинска. Вестник Академии наук КазССР. № 5. - сс. 64 - 71// Espenbetov A.S. (1991). Mosques of Semipalatinsk [Mecheti Semipalatinska] //Vestnik of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, No. 5. - S. 64-71.
- Завалишин И. (1867). Описание Западной Сибири. – М. – Т. 3. - 145 с., приложения // Zavalishin I. (1867). Opisanie Zapadnoj Sibiri. – M. – T. 3. – 145 s.
- Адрес-календарь (1915). Адрес-календарь Семипалатинской области на 1915 год. Семипалатинск: Областной статистический комитет // Address-Calendar (1915). Address-Calendar Semipalatinskoy oblasti na 1915 god] [Semipalatinsk]: Regional printing house.
- Земляницын И. (1876). Исторический очерк Семипалатинска. Материалы для статистики Туркестанского края. СПб., Вып. 4. – С. 1-86 // Zemlyanitsyn I. (1876). Istoricheskiy ocherk Semipalatinska. Materialy dlya statistiki Turkestanskogo kraja. 1- 86. issue IV, St. Petersburg.
- Исабаев Г.А. (1992) Стилевые особенности архитектуры Казахстана второй половины XIX – начала XX ввека: дисс. канд. арх.: 18.00.01. - Новосибирск. // Isabaev G.A. (1992). Stilevye osobennosti arhitektury Kazahstana vtoroj poloviny XIX – nachala ХХ vv.: dis. ...kand. arh.: 18.00.01.- Novosibirsk.
- Кашляк В.Н. (2004) Храмы Семипалатинска: прошлое и настоящее. Семипалатинск - 607 с. // Kashlyak V.N. (2004). Hramy Semipalatinska: proshloe i nastoyashchee. Semipalatinsk. – 607 s.
- Кириченко Е.И. (1977). Москва на рубеже столетий. – М. – 183 с. // Kirichenko, E.I. (1977). Moskva na rubezhe stoletij. – Moscow: Stroyizdat. – 183 s.
- Mendikulov M.M. (1959). To the characteristic of architecture of Kazakhstan of XIX and early XX century. // In the book Margulan A.H., Basenov T.K., Mendikulov M.M. Architecture of Kazakhstan. Alma-Ata. [K harakteristike arhitektury Kazahstana XIX i nachala ХХ veka. // V kn. Margulan A.H., Basenov T.K., Mendikulov M.M. Arhitektura Kazahstana. Alma-Ata] (In Russ.)
- Семипалатинск (1984). История городов Казахстана: Семипалатинск. Алма-Ата: Наука. - 224 с. // Semipalatinsk (1984). Istoriya gorodov Kazahstana: Semipalatinsk. Alma-Ata Nauka. - 224 s.

Information about authors

Baitenov Eskander Muslimovich - Doctor of Architecture of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan, Research Professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan, E-mail: bajte@mail.ru, Author ID в Scopus 964, ORCID ID 0000-0003-0509-8396, +7 701 770 29 60.

Espenbet Akhmetzhan Sarsenbekuly - PhD in Architecture, Associate Professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan, E-mail: eas_51@mail.ru, +7 777 391 86 90.

ҚҰРЫЛЫС
СТРОИТЕЛЬСТВО
CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_228
MPHTI 67.11.99

Е.Т. Бесимбаев¹, А.С. Шадқам¹, Е.И. Кульдеев¹, Ж.О. Жұмаділова¹, У.Т. Бегалиев²

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

E-mail: y.bessimbayev@satbayev.university

*E-mail: asylbekshadkam@gmail.com**

E-mail: e.kuldeyev@satbayev.university

E-mail: z.zhumadilova@satbayev.university

²Международный университет информационных технологий, г. Бишкек, Кыргызстан

E-mail: utbegaliev@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО АРМИРОВАННОГО ОСНОВАНИЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА

ПЛИТА НЕГІЗДЕРІНІҢ ТІГІНЕН НЫҒАЙТЫЛҒАН НЕГІЗІН ЖОБАЛАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

PECULIARITIES OF DESIGN OF VERTICALLY REINFORCED BASE OF SLAB FOUNDATIONS

Аннотация. В статье представлен анализ экспериментальных и теоретических исследований по армированию грунтовых оснований для создания искусственных оснований на слабых грунтах. Целью работы является разработка конструктивного решения для вертикально армированного основания плитного фундамента многоэтажного здания. Исследование выполнено на примере конструктивного решения армирования основания реального объекта. Научная новизна работы заключается в определении оптимальных параметров армирующей сетки и длины армирующих элементов для повышения несущей способности и уменьшения осадки плитного фундамента. Численные расчеты проведены методом конечных элементов с использованием программного комплекса PLAXIS 3D и модели упрочняющегося грунта Hardening Soil в соответствии с нормами Еврокода 7. Применение жестких вертикальных армирующих элементов для армирования грунтового массива позволило повысить несущую способность основания и снизить осадку вдвое. Использование раскатного оборудования для установки буронабивных вертикальных армирующих элементов рассматривается как перспективный и надежный метод повышения несущей способности и деформируемости основания, который позволяет значительно сократить время и затраты на создание искусственных оснований.

Ключевые слова: несущая способность, модель грунта, плитный фундамент, осадка, вертикальный армирующий элемент.

Аңдатпа. Әлсіз топырақтарда жасанды негіз жасау үшін топырақ негіздерін нығайтудың эксперименттік және теориялық зерттеулеріне талдау келтірілген. Бұл жұмыстың мақсаты көп қабатты ғимараттың тігінен күшейтілген Плиталық іргетасының құрылымдық шешімін өзірлеу болып табылады. Зерттеу нақты объектінің негізін нығайтудың сындарлы шешімі мысалында жүргізілді. Жұмыстың жаңалығы-жүк көтергіштігін қамтамасыз ету және Плиталық іргетас негізінің жауын-шашынын азайту үшін арматуралық тордың оңтайлы параметрлерін және топырақ массивінің арматурасының ұзындығын анықтау. Сандық есептеулер PLAXIS 3D бағдарламасының көмегімен соңғы элементтер әдісімен, Еурокод 7 талаптарына сәйкес Hardening Soil қатайтылатын топырақ моделін пайдалана отырып жүргізілді. Топырақ негізін қатты тік арматуралық элементтермен нығайту негіздің жүк көтергіштігін арттыруға және шөгінділерді 2 есе азайтуға мүмкіндік берді. Бұрғылау тігінен күшейтетін Элементтерді орнату кезінде илектеу жабдығын қолдану жасанды негіздерді құру үшін қажетті уақыт пен шығындарды едәуір қысқартатын негіздің көтергіштігі мен деформациялануын қамтамасыз етудің перспективалы және сенімді әдісі болып табылады.

Түйін сөздер: жүк көтергіштігі, топырақ моделі, плиталық іргетас, шөгінді, тік арматуралық элемент.

Abstract. The analysis of experimental and theoretical studies of reinforcement of soil foundations to create an artificial foundation on weak soils is given. The aim of the present work is to develop a design solution of a vertically reinforced base of a slab foundation of a multi-storey building. The study is carried out on the example of the design solution of reinforcement of the foundation of a real object. The novelty of the work consists in determining the optimal parameters of the reinforcement grid and the length of reinforcement of the soil mass to ensure the bearing capacity and reduce the settlement of the slab foundation base. Numerical calculations were carried out by the finite element method using the PLAXIS 3 programme, using the Hardening Soil model, in accordance with the requirements of Eurocode 7. Reinforcement of the soil foundation with rigid vertical reinforcing elements increased the bearing capacity of the foundation and reduced the settlement by 2 times. The use of rolling equipment in the construction of bored vertical reinforcing elements is a promising and reliable method of ensuring the bearing capacity and deformability of the foundation, which significantly reduces the time and costs required for the creation of artificial foundations.

Keywords: bearing capacity, soil model, slab foundation, settlement, vertical reinforcement element.

Введение. В крупных городах активно осваиваются территории, ранее считавшиеся неблагоприятными для возведения многоэтажных зданий. Несмотря на сложные инженерно-геологические условия, строительство проводится на лессовых просадочных грунтах и насыпных участках. В данных условиях обеспечение необходимой прочности и устойчивости оснований и фундаментов представляет собой значимую геотехническую задачу, требующую проведения дополнительных инженерных мероприятий для повышения несущей способности и минимизации осадок. Национальные нормы Республики Казахстан рекомендуют решать данные вопросы путем технико-экономического анализа и сопоставления различных вариантов с традиционными подходами, учитывая конкретные инженерно-геологические условия. Для каркасно-пространственных конструкций предпочтение отдается свайным, свайно-плитным и массивным плитным фундаментам. В процессе возведения многоэтажных зданий также активно используется вертикальное армирование грунта под основанием для повышения несущей способности и уменьшения осадок (Usmanov, 2014, Попов, 2015).

Строительные нормы проектирования Казахстана, адаптированные на основе Еврокодов, рекомендуют улучшать строительные характеристики грунтов основания посредством использования вертикальных армирующих элементов для его укрепления (СП РК EN 1997-2:2007/2011.2015, НТП РК 07-01.3-2011.2015). В данном случае армированный грунт следует рассматривать как искусственно сформированный массив с улучшенными характеристиками, обусловленными введением армирующих элементов. Проведенные исследования показывают, что одним из основных преимуществ повышения физико-механических свойств грунта через армирование является обеспечение требуемой несущей способности основания, сформированного из местного грунта. Это решение позволяет уменьшить трудозатраты на уплотнение или замену слоев грунта, повысить безопасность конструкций и сократить сроки строительства. Армированные грунтовые массивы проявляют устойчивость к неравномерным деформациям сооружений даже в условиях сложной инженерно-геологической среды (Simoes J.T., 2020).

Отличительной чертой вертикального стержневого армирования основания по сравнению с традиционными свайными фундаментами является способ передачи нагрузки от верхних конструкций через грунт подушки на элементы вертикального армирования и окружающий их грунт посредством сил трения. В данной системе армоэлементы работают в грунте за счет бокового обжатия и трения. Нагрузка воспринимается верхней частью армоэлемента через контактную поверхность с грунтом или

фундаментом, после чего она передается на нижележащие слои с использованием бокового трения и опоры нижней части армозлемента.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований показали, что напряженно-деформированное состояние плитного фундамента на основаниях с вертикальным армированием зависит от выбранной расчетной модели грунта, конструктивных особенностей вертикально армированного основания и ряда других факторов (Маковецкий, 2010, Попов А.О., 2015).

Расчетно-экспериментальные исследования геотехнических объектов выполняются с использованием двух широко применяемых упругопластических моделей: модели Кулона-Мора и модели упрочняющегося грунта *Hardening Soil*. Результаты расчетов, выполненных в программе PLAXIS, позволяют определить область применения каждой модели для проектных задач: модель упрочняющегося грунта *Hardening Soil* рекомендуется для расчета напряженно-деформированного состояния проектируемых геотехнических объектов, модель Кулона-Мора более подходит для оценки их предельного напряженного состояния (Semet C., 2023, *Computers and Geotechnics* 6 (1988)).

Использование специализированных программных комплексов позволяет учитывать нелинейные свойства грунтов основания при решении геотехнических задач. Применение современных программ, таких как MIDAS GTX, Plaxis 3D и других, в расчетах плитного фундамента в сложных геологических условиях позволяет анализировать не только деформации основания, но и напряженно-деформированное состояние всей конструктивной системы, расположенной на плитном фундаменте (Lina J., 2018, Amjad H.B., 2019).

Однако в процессе проектирования возникает множество вопросов, связанных с учетом неоднородности грунтовых слоев, изменением напряженно-деформированного состояния армирующих элементов и промежуточного пространства с течением времени, определением оптимальных параметров и количества армирующих элементов, а также их рационального расположения. Ключевыми задачами остаются прогнозирование несущей способности и деформируемости грунтов, а также выбор наиболее эффективных технологий проведения работ, отвечающих требованиям экономичности, надежности и экологической безопасности принятых решений (Голубев А.И., 2010, Пономарев А.Б., 2010).

Цель данной работы заключается в разработке конструктивного решения вертикально армированного основания для плитного фундамента многоэтажного здания. Исследование выполнено на основе примера армирования основания реального объекта. Для достижения поставленных целей рассмотрено напряженно-деформированное состояние крупногабаритной плиты на упругом грунтовом основании. При моделировании деформаций основания горизонтальные компоненты перемещений в горизонтальных плоскостях плиты существенно меньше вертикальной составляющей, поэтому их влияние не учитывается.

Данный расчет, учитывающий взаимодействие основания, фундаментной плиты и надфундаментной части здания, выполняется при следующих предположениях:

- вертикальные смещения точек основания и здания совпадают;
- фундаментная плита обладает постоянной толщиной и ортотропными свойствами;
- между плитой и основанием отсутствуют силы трения;
- основание плиты характеризуется коэффициентом жесткости.

Проектирование основания реального объекта осуществляется с учетом следующих условий:

- определение необходимой длины армирующего элемента для обеспечения несущей способности деформируемого слоя грунта;
- расчет оптимального расстояния между осями армирующих элементов для уменьшения деформации плитного фундамента.

Материалы и методы исследования. Для расчета используется программный комплекс PLAXIS 3D, основанный на методе конечных элементов и традиционной модели грунта Мора-Кулона. В качестве расчетного объекта рассматривается 9-этажное монолитное здание прямоугольной формы в плане. Фундамент представлен монолитной плитой высотой 60 см, установленной на грунтовой подушке из щебня толщиной 30 см.

Основные результаты расчета, полученные с использованием метода конечных элементов, включают перемещения и усилия в узловых точках основания и плитного фундамента. Характеристики грунтов по инженерно-геологическим элементам (ИГЭ) приведены на рис. 1.

Property	Unit	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
Material set								
Identification number		1	2	3	4	5	6	7
Identification		ИГЭ-3	ИГЭ-2	ИГЭ-1	ИГЭ-4	ИГЭ-5	ИГЭ-6	Подушка
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		RGB 161, 226, 232	RGB 155, 234, 134	RGB 7, 97, 182	RGB 251, 255, 0	RGB 254, 22, 234	RGB 249, 26, 26	RGB 250, 181, 30
Stiffness								
E	kN/m ²	19,70E3	13,10E3	1000	2500	3200	8200	20,00E3
v (nu)		0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500
General properties								
γ_{unsat}	kN/m ³	19,60	16,90	18,00	18,10	19,30	19,80	19,60
γ_{sat}	kN/m ³	19,70	17,10	18,00	18,30	19,40	19,90	19,60
Strength								
c_{ref}	kN/m ²	12,00	9,000	15,00	39,00	34,00	23,00	25,00
ϕ (phi)	°	26,00	21,00	16,20	12,00	14,00	19,00	19,00
w (ps)	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Velocities								
V_s	m/s	60,43	53,07	14,21	22,40	24,54	38,79	60,89
V_p	m/s	125,8	110,5	29,58	46,63	51,09	80,75	126,8

Рисунок 1. Физико-механические свойства грунтов

Примечание – составлено автором

Для построения геологической модели основания здания в PLAXIS был принят грунтовый массив с размерами 80x120 м, изображенный на рис. 2. Геологическая модель грунтового массива представлена графически на рис. 3.

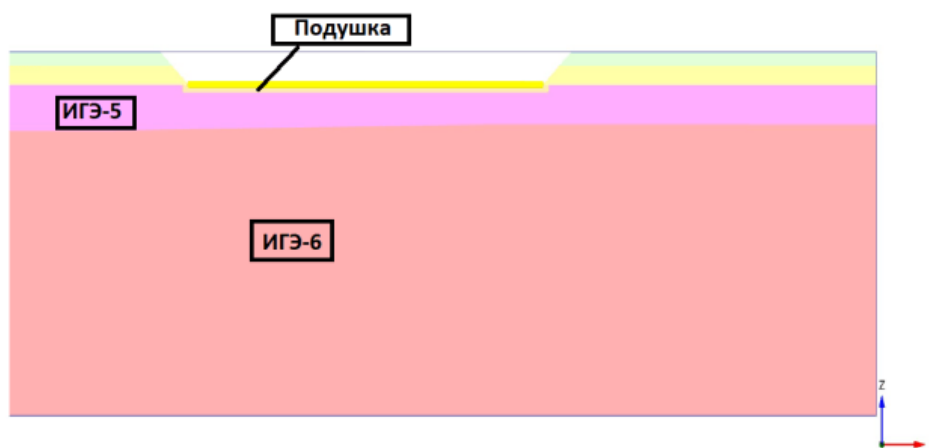


Рисунок 2. Разрез IV-IV в ПК PLAXIS (под фундамент зданий попадает: подушка, ИГЭ-5, ИГЭ-6)

Примечание – составлено автором

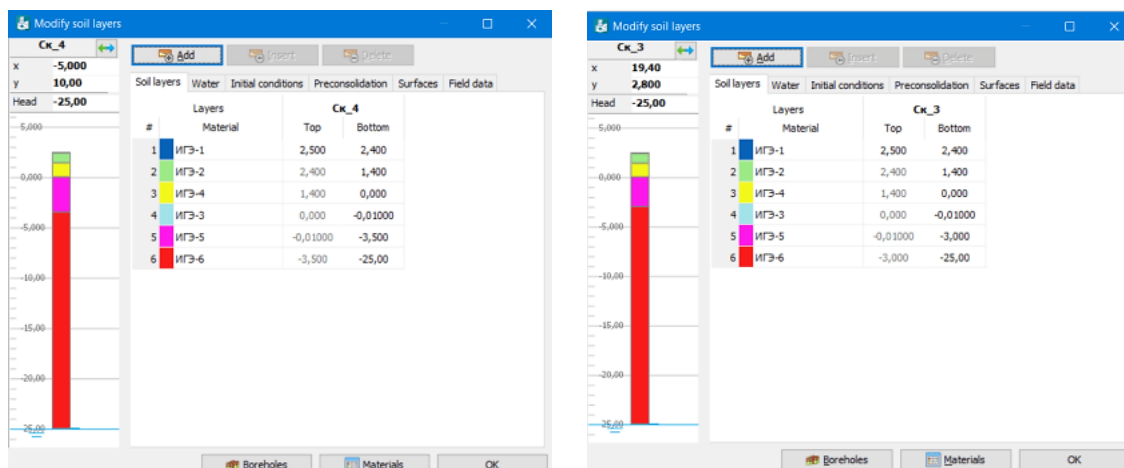


Рисунок 3. Геологическая модель в ПК PLAXIS

Примечание – составлено автором

Расчетные характеристики фундаментной плиты для оценки напряженно-деформированного состояния на различных этапах нагружения, подготовленные с использованием графических инструментов, представлены на рис. 4.

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Фундаментная плита C20/25
Comments		
Colour		RGB 251, 255, 0
Material type		Elastic
Properties		
d	m	0,6000
γ	kN/m ³	25,00
Isotropic		<input checked="" type="checkbox"/>
E_1	kN/m ²	30,60E6
E_2	kN/m ²	30,60E6
ν_{12}		0,1500
G_{12}	kN/m ²	13,30E6
G_{13}	kN/m ²	13,30E6
G_{23}	kN/m ²	13,30E6
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
Prevent punching		<input type="checkbox"/>

Рисунок 4. Характеристики фундаментной плиты толщиной 0,6 м (бетон B25) в графическом виде программы PLAXIS

Примечание – составлено автором

Среднее давление на фундаментную плиту от веса надлежащих конструкций и нормативных нагрузок составляет 9,5 т/м².

Результаты и их обсуждение. При нагружении основания весом фундаментной плиты и вышележащих конструкций была получена деформированная схема грунтового массива (Рис. 5).

Расчеты на модели грунта Hardening Soil показывают, что максимальная деформация, равная 102,5 мм, наблюдается в центральной части фундаментной плиты (Рис. 6). Форма деформации в виде осадочной воронки на поверхности основания схожа благодаря использованию в моделях единой теории упругого полупространства. Деформированная сетка конечных элементов, демонстрирующая осадочную воронку и снижение деформации по направлению к краям плиты, указывает на развитие пластических деформаций в грунте.

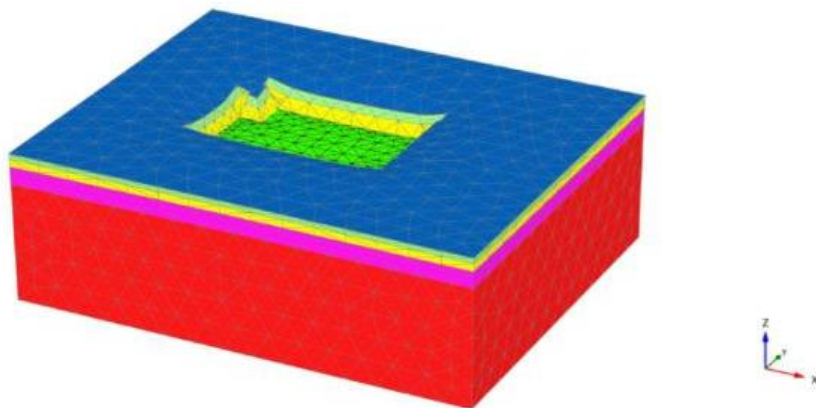


Рисунок 5. Деформированная схема

Примечание – составлено автором

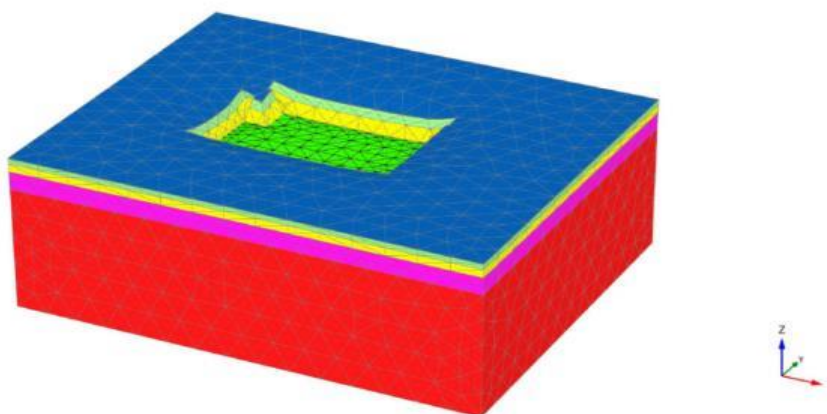


Рисунок 6. Осадка без учета армирования основания (max 102,5 мм)

Примечание – составлено автором

Результаты осадки основания под действующей нагрузкой, представленные на рис. 6, показывают, что деформация фундаментной плиты превышает допустимые значения (65-100 мм). Расчет указывает на недостаточную несущую способность основания в грунтовых слоях ниже уровня фундамента.

Для снижения деформации плитного фундамента применяются характеристики армированного основания с бетонными элементами DSM из бетона класса В12,5. Графическое отображение характеристик бетонных армирующих элементов в программе PLAXIS представлено на рис. 7. Предварительный шаг размещения армирующих элементов устанавливается в диапазоне от 7 до 11d диаметра арматуры, что зависит от модуля

деформации окружающего грунта и условий, обеспечивающих совместную работу грунта в массиве и необходимую несущую способность уплотненного основания.

При этом расстояние между центрами скважин определяется по формуле:

$$i_{ck} = \sqrt{\rho_{dc}/(\rho_{dc} - \rho_d)}, \quad (1)$$

учитывающей плотность сухого грунта в его естественном состоянии ρ_d , т/м³, и среднюю плотность сухого грунта в уплотненном массиве ρ_{dc} , т/м³. В процессе бурения скважины с использованием раскатчика зона грунта вокруг нее уплотняется до определенного радиуса.

Для предварительных расчетов диаметр уплотненной зоны (d_s), образующейся после раскатки, определяется по формуле:

$$d_s = \gamma_c \sqrt{\rho_{ds}/(\rho_{ds} - \rho_d)} \quad (2)$$

где: d – диаметр раскатчика, м; ρ_{ds} – плотность сухого уплотненного грунта, т/м³; ρ_d – плотность сухого грунта естественного сложения, т/м³; γ_c – коэффициент условий работы грунта, принимаемый больше 1.

Анализ устойчивости армированного грунтового массива с DSM-колоннами проводится с использованием программного обеспечения Plaxis 3D. Для достижения оптимальных результатов рекомендуется применять вертикальные армирующие элементы диаметром Ø300 мм и длиной L = 6,0 м с шагом размещения сетки между осями 2x2 м.

Property	Unit	Value
Material set		
Identification number		1
Identification		Раскатка
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	21,50E6
γ	kN/m ³	15,00
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam
Diameter	m	0,3000
A	m ²	0,07069
I ₂	m ⁴	0,3976E-3
I ₃	m ⁴	0,3976E-3
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

Рисунок 7. Вертикальный армирующий элемент длиной 6 м диаметром 0,3 м (бетон B12,5)
Примечание – составлено автором

При армировании под плитным фундаментом нагрузка от надлежащих конструкций передается на грунтовый массив через армирующие элементы посредством сил трения. В расчетной модели (рис. 8) работа армирующего элемента в грунте обеспечивается

боковым обжатием и трением. Армирующий элемент принимает нагрузку через контактную поверхность с грунтом или плитным фундаментом своей верхней частью и передает ее на нижележащие слои нижней частью. Вертикальные бетонные армирующие элементы здесь выполняют функцию восприятия сжимающих напряжений (рис. 8).

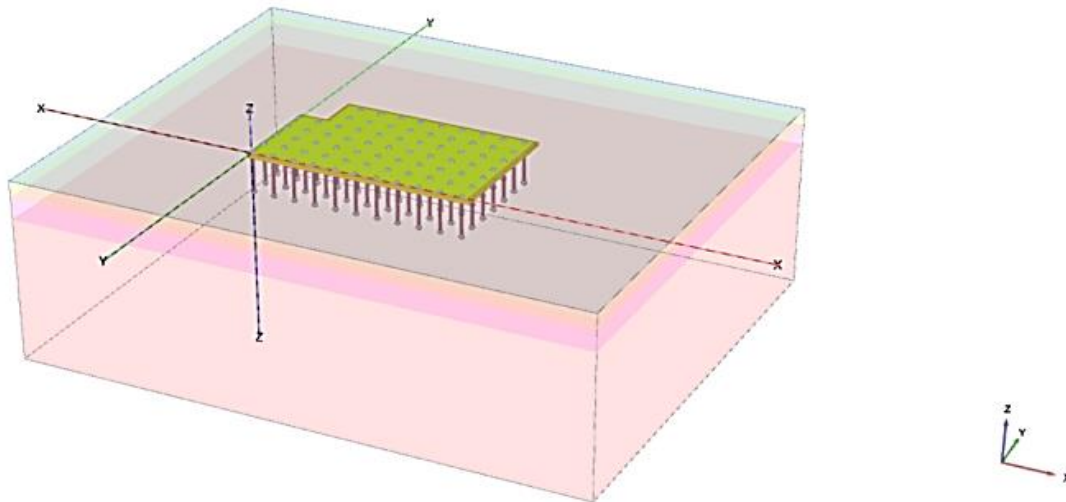


Рисунок 8. Пространственная модель с вертикальными армирующими элементами (длина элемента – 6 м).

Примечание – составлено автором

Результаты расчетов, представленные на рис. 9-10, демонстрируют уменьшение осадки грунта под плитным фундаментом.

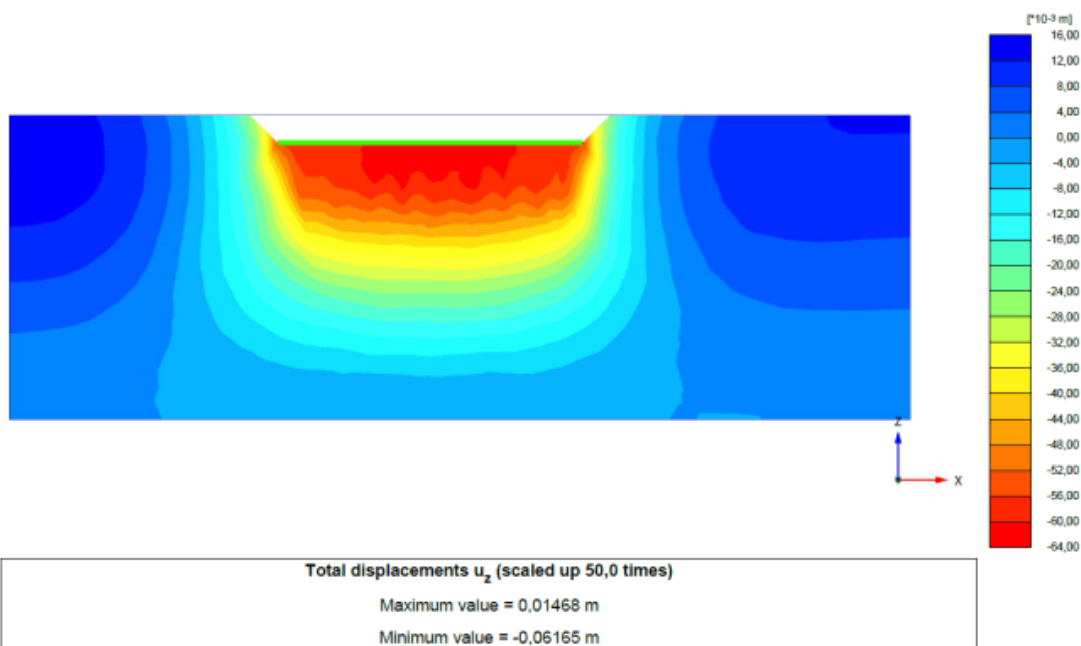


Рисунок 9. Осадка с учетом усиления основания (max 61,5 мм)

Примечание – составлено автором

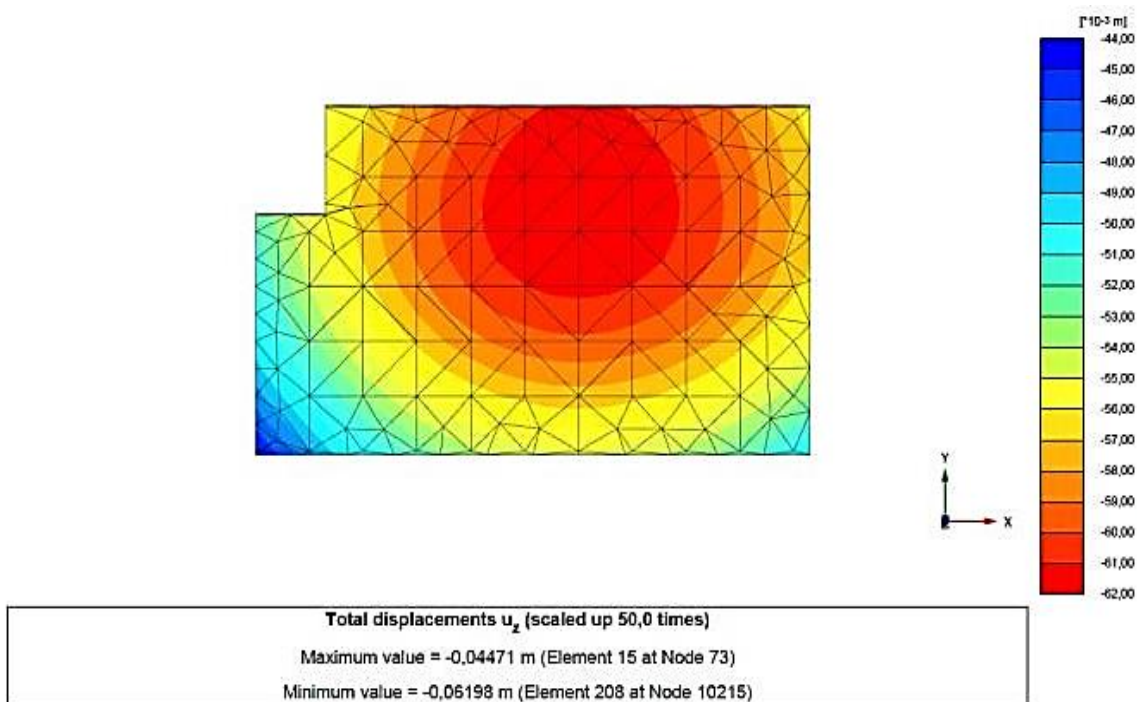


Рисунок 10. Вертикальные перемещения фундамента (max 61,9 мм)

Примечание – составлено автором

Относительная разность осадок. Разность осадок $(S_1 - S_2) / L = (61,9 - 44,0) / 30900 = 0,0005 < 0,005$.

В результате проведенных расчетов конструктивное решение вертикально армированного основания плитного фундамента многоэтажного здания включает следующие параметры: расстояние между армирующими элементами составляет 2×2 м, длина элементов – 6,0 м, диаметр – 300 мм, материал – бетон класса В12,5. При этом максимальная расчетная осадка плитного фундамента составляет $S = 3,99$. Согласно нормативным требованиям, предельная осадка для многоэтажных зданий с железобетонным каркасом составляет 15 см. Для фундаментов в виде сплошных плит допустимо увеличение предельного значения средней осадки в 1,5 раза, что дает $[S] = 6,19 \times 1,5 = 9,28$ см. Так как максимальная расчетная осадка плитного фундамента $S = 3,99$ см меньше предельно допустимого значения средней осадки $[S] = 9,28$ см, расчеты по деформациям основания плитного фундамента считаются выполненными успешно.

Повышение несущей способности основания также связано с процессом бурения скважины с использованием специального бурового наконечника с раскаткой. Этот метод основан на уплотнении стенок скважины во время бурения. Важно учитывать, что плотность грунта вокруг стенок скважины увеличивается в 2 раза, что значительно повышает сопротивление ствола сваи за счет бокового трения. При этом также необходимо исключить возможность возникновения технологического зазора при погружении сваи.

Заключение. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования подтвердили эффективность использования армированных оснований на сильно сжимаемых грунтах, позволяя формировать жесткие армирующие элементы с заданными геометрическими, физико-механическими и деформационными характеристиками.

Результаты расчетов показали, что конструктивные параметры вертикально армированного основания плитного фундамента, такие как шаг расположения, диаметр и длина армирующих элементов, следует назначать с учетом инженерно-геологических условий строительной площадки.

Применение вертикально армирующих элементов в реальных объектах позволило повысить несущую способность основания и сократить деформативность вдвое, что значительно уменьшает временные и финансовые затраты, необходимые для создания искусственных оснований.

Использование раскатного оборудования при установке буронабивных вертикальных армирующих элементов является перспективным и надежным методом обеспечения несущей способности и контролируемой деформативности основания. Формирование вокруг армирующего элемента уплотненной зоны, диаметром превышающей его размер, повышает жесткость грунта в межэлементном пространстве, что значительно увеличивает несущую способность основания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования BR1882292 – «Интегрированное развитие устойчивой строительной отрасли: инновационные технологии, оптимизация производства, эффективное использование ресурсов и создание технологического парка» при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список литературы

- Usmanov R, Mrdak I, Vatin N, Murgul V. Reinforced soil beds on weak soils. Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Т. 13, №3. – С. 369–385.
- Попов А.О. Расчет конечной осадки глинистых оснований, армированных вертикальными элементами. Magazine of Civil Engineering – 2015. – №3 // Popov A.O. Raschet konechnoj osadki glinistykh osnovanij, armirovannyh vertikal'nymi elementami. Magazine of Civil Engineering – 2015. – №3.
- Свод правил Республики Казахстан. СП РК EN 1997-2:2007/2011. Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследования и испытания грунта. – 2015. – №3 // Svod pravil Respubliki Kazahstan. SP RK EN 1997-2:2007/2011. Geotekhnicheskoe proektirovanie. Chast' 2. Issledovaniya i ispytaniya grunta. – 2015. – №3.
- НТП РК 07-01.3-2011 Проектирование и устройство упрочнения основания вертикальными армирующими элементами, Астана, 2015 // NTP RK 07-01.3-2011 Proektirovanie i ustrojstvo uprochneniya osnovaniya vertikal'nymi armiruyushchimi elementami, Astana, 2015.
- Simões J.T., Luis C. Neves, Armando N. Antão, Nuno M.C. Guerra. Reliability assessment of shallow foundations on undrained soils considering soil spatial variability. Computers and Geotechnics Volume 119, March 2020, 103369.
- Маковецкий О. Расчет и конструирование искусственного основания «Структурный геотехнический массив» 05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук // Makoveckij O. Raschet i konstruirovaniye iskusstvennogo osnovaniya «Strukturnyj geotekhnicheskij massiv» 05.23.02 – Osnovaniya i fundamenty, podzemnyye sooruzheniya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk.
- Попов А.О. Расчет конечной осадки глинистых оснований, армированных вертикальными элементами. Канд. техн. наук, заведующий кафедрой Magazine of Civil Engineering, No.4, 2015 // Popov A.O. Raschet konechnoj osadki glinistykh osnovanij, armirovannyh vertikal'nymi elementami. Kand. tekhn. nauk, zaveduyushchij kafedroj Magazine of Civil Engineering, No.4, 2015.
- Semet.C. (2023) Comparison Mohr-Coulomb and Hardening soil models numerical estimation of ground surface settlement caused by tunneling. Computers and Geotechnics 6 (1988) 277-290 A new model for geosynthetic reinforced soil Madhira R. Madhav Professor of Civil Engineering Indian Institute of Technology Kanpur – 208 016, India Hormoz B. Poorooshasb Professor of Civil Engineering Concordia University 1455 de Maisonneuve Blvd. West Montreal, Que. H3G 1M8 Canada.

- Lina J., Yehya T., Fadi H.C., Yasser E. (2018) Effect of soil – Structure interaction constitutive models on dynamic response of multi-storey buildings.
- Amjad H.B., Shahnawaz Z., Ghulam S.B., Muhammad A.Z., Riaz B., Bashir A.M., Muhammad M.B. (2019). Mohr-Coulomb and hardening soil model comparison of the settlement of an embankment dam.
- Голубев А.И., Селецкий А.В. Выбор модели грунта и ее параметров в расчетах геотехнических объектов. Журнал «Труды международной конференции по геотехнике». Геотехнические проблемы мегаполисов. Москва, 7-10 июня 2010 г. (Geomos 2010). – С. 1727-1732 // Golubev A.I., Seleckij A.V. Vybor modeli grunta i eyo parametrov v raschyotah geotekhnicheskikh ob"ektov. ZHurnal «Trudy mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike». Geotekhnicheskije problemy megapolisov. Moskva, 7-10 iyunya 2010 g. (Geomos 2010). – S. 1727-1732.
- Пonomarev A.B., Сычкина Е.Н. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния регулируемого фундамента и грунтового основания в программном комплексе ansys workbench // Ponomarev A.B., Sychkina E.N. Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, Perm', Rossiya. Rezul'taty modelirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya reguliruemogo fundamenta i gruntovogo osnovaniya v programmnom komplekse ansys workbench.
- Тер-Мартirosян З.Г. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунта / Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В. // Вестник МГСУ: сб. науч. тр. – М.: МГСУ, 2010. – Вып. 4. – С. 310-315 // Ter-Martirosyan Z.G. Uslenie slabyyh gruntov v osnovanii fundamentnyh плит s ispol'zovaniem tekhnologii strujnoj cementacii grunta / Ter-Martirosyan Z.G., Strunin P.V. // Vestnik MGSU: sb. nauch. tr. – M.: MGSU, 2010. – Vyp.4. – S. 310-315.
- Мирсаяпов И.Т. Исследование прочности и деформируемости просадочных грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами / Мирсаяпов И.Т., Мустакимов В.Р. // «Взаимодействие сооружений и оснований: методы расчета и инженерная практика»: труды международной конференции по геотехнике, том 2. – СПб. ПГУПС, 2005. – С 40-45. // Mirsayapov I.T. Issledovanie prochnosti i deformiruемости prosadochnyyh gruntovyh osnovanij, armirovannyh vertikal'nymi elementami / Mirsayapov I.T., Mustakimov V.R. // «Vzaimodejstvie sooruzhenij i osnovanij: metody rascheta i inzhenernaya praktika»: trudy mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike, tom 2. – SPb. PGUPS, 2005. – S. 40-45.

Information about authors

Bessimbayev Yerik Turashevich – Doctor of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: y.bessimbayev@satbayev.university, ORCID: 0000-0002-0869-3513.

Shadkam Assylbek Safaraliuly – Master of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: asylbekshadkam@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5759-0337, +7 707 529 23 62.

Kuldeev Erzhan Itemenovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: e.kuldeev@satbayev.university, ORCID: 0000-0001-8216-679X.

Zhumadilova Zhanar Orazbekovna – PhD, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: z.zhumadilova@satbayev.university, ORCID: 0000-0001-9487-2018.

Begaliev Ulugbek Turdalievich – Doctor of Technical Sciences, International University of Information Technology, Bishkek, Kyrgyzstan, E-mail: utbegaliev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5596-5737.

ҚҰРЫЛЫС
СТРОИТЕЛЬСТВО
BUILDING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_239
IRSTI 67.25.19

B.S. Botantaeva¹, A.O. Sagybekova^{1,2}, A. Vagapova³

¹L.B. Goncharov Kazakh Automobile and Road Institute, Almaty, Kazakhstan

E-mail: botantaeva_b@mail.ru

²N. Isanova Kyrgyz Civil Engineering Institute, applicant.

*E-mail: sao-81@mail.ru**

³Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: vagapova-alina@rambler.ru

PROTECTION AGAINST FLOODING BY FLOOD WATERS OF ALMATY AND ALMATY REGIONS

АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ ЖӘНЕ АЛМАТЫ ОБЛЫСЫНЫҢ ТАСҚЫН СУЛАРЫНЫҢ СУ БАСУЫНАН ҚОРҒАУ

ЗАЩИТА ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ ПАВОДКОВЫМИ ВОДАМИ ГОРОДА АЛМАТЫ И АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Abstract. *The flow of the Ile River is regulated by a cascade of reservoirs on the tributaries and along the river trunk: Bartogay (Shelek River), Kapshagay (Ile River), etc. The maximum flow rates along the Ile River are determined by the capa of the discharge structures of the hydroelectric power plants and the unregulated flow of the lateral inflow (Kaskelen River, etc.).*

The Ile River is formed by the confluence of the Tekes and Kunges Rivers, and it also receives a lot of tributaries, the sources of which flow down from the snowy peaks of the adjacent mountains. In terms of water content and turbidity, the water of the Ile River ranks third among the large rivers of Central Asia (Amu Darya, Syr Darya), and is only slightly inferior in water content to the Syr Darya River.

Keywords: *river, water resources, river basin, maximum flow, flood, water level fluctuations, water protection zones and strips, dams, bank protection works*

Аңдатпа. *Іле өзенінің ағыны ағындардағы және өзен діңінің бойындағы су қоймаларының каскадымен реттеледі: Бартогай (Шелек өзені), Қапшагай (Іле өзені) және т.б. су электр кешендерінің ағызу құрылымдары және бүйірлік ағындардың реттелмейтін ағыны (Қаскелең және т.б.).*

Іле өзені Текес пен Күнгес өзендерінің түйіскен жерінен қалыптасады, сонымен қатар оған жақын орналасқан таулардың қарлы шыңдарынан ағатын көптеген салалар да құйылады. Судың құрамы мен лайлылығына қарай өзен суы Іле Орта Азияның ірі өзендерінің (Амудария, Сырдария) ішінде үшінші орында, ал судың құрамы жағынан Сырдария өзенінен сәл төмен.

Түйін сөздер: *өзен, су ресурстары, өзен бассейні, максималды ағын, тасқын, су деңгейінің ауытқуы, су қорғау аймақтары мен белдеулері, бөгеттер, жағалауды бекіту жұмыстары.*

Аннотация. *Сток реки Иле зарегулирован каскадом водохранилищ на притоках и по стволу реки: Бартогайское (р. Шелек), Капшагайское (р. Иле) и др. Максимальные расходы по реке Иле определяют пропускной способностью сбросных сооружений гидроузлов и незарегулированным стоком боковой приточности (р. Каскелен и др.).*

Река Иле образуется при слиянии рек Текес и Кунгес, а также она принимает массу притоков, истоки которых стекают со снежных вершин прилегающих гор. По водности и мутности вода р. Иле занимает третье место среди крупных рек Средней Азии (Амударья, Сырдарья), мало уступает по водности р. Сырдарье.

Ключевые слова: *река, водные ресурсы, бассейн реки, максимальный расход, половодье, колебания уровня воды, водоохраные зоны и полосы, дамбы, берегоукрепительные работы.*

Introduction. *The Ile River basin accounts for about 70% of the catchment area and 80% of the total surface runoff into Lake Balkhash. The main runoff-forming part of the Ile River basin*

is located on the territory of the PRC, where the catchment area has a fairly well-developed hydrographic network. On the right, the high-flow tributary Kash (Western China) and the rivers with less water content Borokhudzir, Khorgos and Usek, which are fed by glaciers, flow into the Ile River.

The hydrographic network in the middle and lower reaches of the Ile River (territory of the Republic of Kazakhstan) is much less developed, where large areas are completely devoid of surface inflow. The left-bank part of the basin is active, where many mountain rivers flow into the Ile River from the slopes of the Tien Shan, the Northern slope of the Zailiysky Alatau.

Methods and materials. There are 8 basin inspectorates (BI) operating in the republic: Aral-Syrdarya (11%), Balkhash-Alakol (15%), Ertis (Irtys) (12%), Yesil (Ishim) (9%), Zhaiyk (Ural)-Caspian (23%), Nura-Sarysu (11%), Tobyl-Torgay (13%) and Shu-Talas (6%) (Fig. 1).

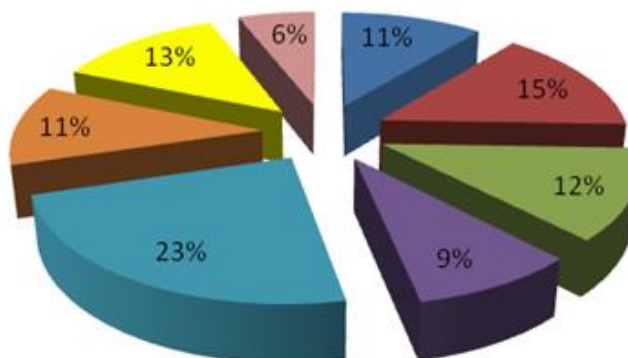


Figure 1. The share of basin inspections in the total territory of the Republic of Kazakhstan

Note – compiled by the author

The flow of the main rivers of Kazakhstan is shown in Figure 2 [1].

Within Kazakhstan, the Ile River receives many tributaries, especially on the left - Sharyn, Shelek, Issyk, Talgar, Kaskelen with B. Almatinka and M. Almatinka, Kurty. In the right-bank part, the largest tributaries of the Ile River are Khorgos, Usek and Borokhudzir, flowing down from the southern slopes of the Zhungar Alatau (Surface water resources of the USSR, 1970, Annual data on the regime, 2020).

The long-term average annual flow rate of the Ile River below Kapchagay is 478 m³/s. Before the construction of the Kapchagay Reservoir, the maximum flow rate reached 2449 m³/s (August 1924 r), and the minimum – 137 m³/s (January 28 1925 r). During the growing season (June – September), the flow rate is 637 m³/s, and at other times – 312 m³/s. After the confluence of the Kurta River and up to the mouth of the river, the Ile does not receive surface feeding.

The maximum level in the river is in July, the lowest - in December. The average long-term range of fluctuations in the level reaches 1,5 m, the absolute - 3,45 m. At the very beginning of the river Ile has a width of up to 150 m, in the lower reaches up to 1 km. The general drop in water level in the river from the confluence of the river Tekes to the mouth of the river Ile is 1300 m, the speed of the current is up to 2.0 m/s.

The ice formation near Kapchagay usually begins in December, and the ice drift begins in mid-March. The ice formation is preceded by slush and ice banks from the end of November. But in some places the river almost never freezes, especially in the upper reaches. There are ice jams, but now they are comparatively rare. Below the dam the river does not freeze for several kilometers.

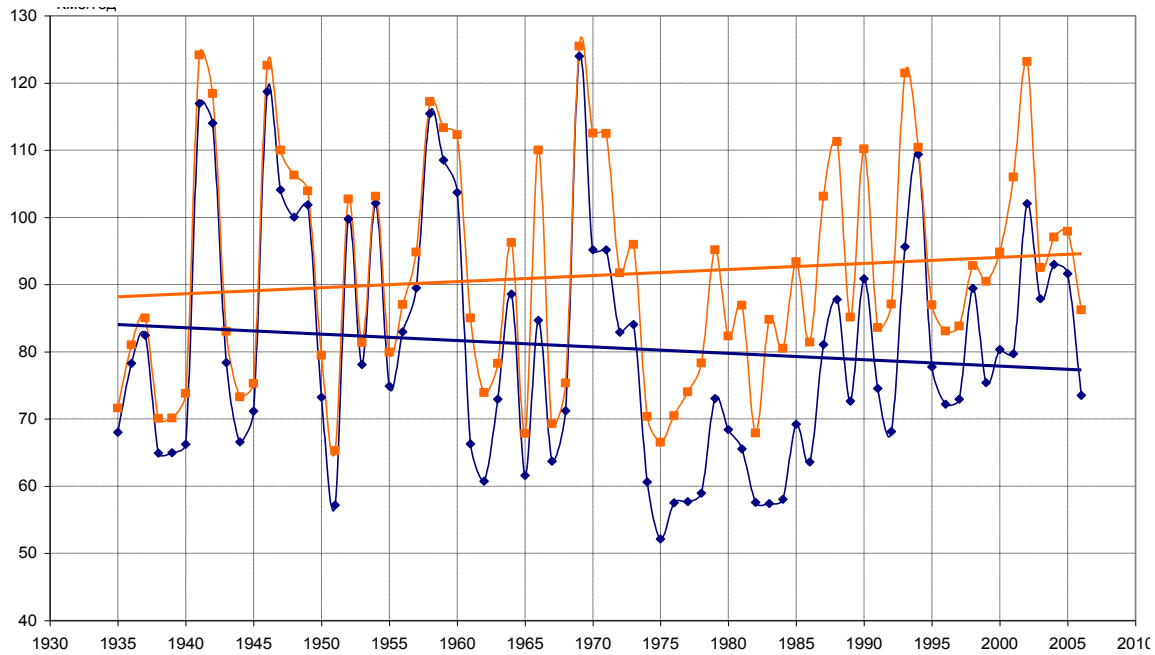


Figure 2. Long-term course of actual domestic and natural (restored) flow of the main rivers of the Republic of Kazakhstan (1935-2010)

Note – compiled by the author based on (Surface water resources of the USSR, 1970, Annual data on the regime, 2020)

A large tributary of the Ile River, the Sharyn River originates 393 km from the southern slope of the Ketmen Ridge, which has no glaciers. From 50 kmits source it spreads out in a wide intermountain depression and is almost lost in loose sediments. Then it gathers again and, under the name Kegen, flows into the Sharyn River, which receives a tributary from the left, the Karkara. Here the Sharyn River changes its direction, cuts into the bedrock, forming the picturesque Sharyn Canyon. The average annual flow is 35.6 m³/s.

Shilek River is the second largest tributary on the left, originating from the powerful Talgar mountain range in the Zailiysky Alatau with glaciers and eternal snows. This river gives the Ile River 32 m³/s, collecting water from the Zailiysky and Kungey Alatau, but in the foothills a lot of water is taken for irrigation.

The following tributaries on the left: Issyk, Talgar, Kaskelen with B. and M. Almatinka and others, are also fed by glaciers and snow, their flow is small and a significant part of the water is taken for irrigation, water supply. The mountainous terrain and significant amounts of annual precipitation on the northern slopes of the Zailiysky Alatau in the Almaty's region made its rivers the most full-flowing and dangerous during floods and rain floods. Particularly dangerous are mudflows, periodically observed on the rivers B. and M. Almatinka, Aksay, Issyk, Kaskelen, Talgar and others (Surface water resources of the USSR, 1970, Annual data on the regime, 2020).

The estimated maximum discharges of the summer-spring flood along the Ile River and its tributaries are given below in Table 1.

The study of the level regime of the rivers of the Ile basin began in 1906 r., when water-gauge posts were opened on the Ile River at the Borokhudzir pier and on the Bolshaya Almatinka River – 2 кмbelow the mouth of the Teresbutak stream.

Table 1. Parameters of maximum water discharges of spring-summer floods on the Ile River and its tributaries

River – post	Average long-term parameters			Estimated water consumption of different levels of availability, m ³ /s				
	Q m ³ /s	Cv	Cs	0.1%	1.0%	2.0%	5.0%	10.0%
Dubun Ave.	1310	0.23	0.46	2440	2110	2020	1840	1710
Ile –164 км above the Kapshagai hydroelectric station	1277	0.18	0.36	2100	1870	1810	1680	1580
Ile – Kapshagay urn	835	0.20	0.40	1450	1270	1220	1130	1060
Ile – s. Ushzharma	625	0.17	0.34	1060	923	888	818	766
Tekes – s. Tekes	28.7	0.38	0.76	73.1	59.3	55.7	48.5	43.2
Usuk 1,7 км above the confluence	81.7	0.52	2.21	343	238	214	167	136
Borukhudzir – s. Kiitin	13.3	1.20	3.60	137	81.2	68.5	44.2	29.8
Shilik – s. Malybay	114	0.14	0.28	176	158	152	142	135
Turgen – village Tauturgen	42.6	0.41	1.43	132	100	92.1	76.5	66.0
Issyk – Issyk	19.1	0.40	1.40	58	44.1	40.6	33.9	29.3
Talgar – Talgar town	43.5	0.31	1.86	121	91.0	84.0	70.2	61.3
Malaya Almatinka –Almaty	11.8	0.70	2.10	61.7	42.0	37.3	28.4	22.5
Bolshaya Almatinka – 1,1 км above BAO	8.99	0.26	1.04	19.7	16.1	15.2	13.4	12.1
Aksai – s. Aksai	11.3	0.49	1.96	43.7	31.1	28.2	22.4	18.5
Kaskelen – Kaskelen	21.8	0.31	1.24	54.7	43.2	31.1	30.8	30.9
Chemolgan – Chemolgan	5.48	0.53	1.59	21.0	15.3	13.9	11.2	9.34
<i>Note – compiled by the author</i>								

The flood on the watercourses of the basin in question begins from March to the third ten-day period of June and continues until the end of October. The average date of the beginning of the flood is the end of March – the third ten-day period of April, and ends on most watercourses in September. On average, the flood lasts from 80 to 171 days.

During the observation period, the maximum duration of the flood was observed on the Talgar River – Talgar town in 1974 г. – 205 days. The shortest flood was observed on 1957 r the Borokhudzir River – Kiytin village (maximum duration 148 days), and in there was no flood. As a percentage of the annual flow, the flow during the flood on the rivers under consideration averages 60-80%.

On the Ile River, during high summer flood levels, the floodplain is flooded and the water remains there for 2-12 days. For the rivers of the Zailiyskiy Alatau, critical water levels occur both as a result of jam-jam phenomena in the winter period and in the spring period, caused by mudflow floods.

The highest level per year for rivers with stable ice cover is observed during the spring ice drift on the Ile River - Ushzharma village. Of the rivers under consideration, the Issyk River - Issyk post section periodically dries up in 18% of cases from the entire series of observations (1966-1976).

The average annual amplitude of water level fluctuations in the considered watercourses of the Ile River basin varies from 45 to 211 cm. On the Ile River – Ushzharma village, under natural conditions, the highest annual amplitude of the water level was observed in 1969 г. – 543 cm, and after the construction of the Kapchagay Reservoir – 304 cm in 1974 г. The long-term amplitude of level fluctuations varies from 40 to 304 cm. The estimated highest water levels (according to SNiP 2.01.14-83) were determined by the maximum water discharge of the estimated probability of exceeding P % and the water discharge curve $Q = f(H)$, which was constructed taking into account the hydraulic and morphometric characteristics of the river bed and floodplain in the considered section. Table 2 shows the maximum water levels of different probabilities.

Table 2. Estimated water levels (in cm) of different levels of availability

River – point	Mark "0" of the post schedule in m BS	Water levels of different supply, m		
		1%	3%	5%
Ile – s. Ushzharma	377.89	383	370	364
Borohudzir – village Kiitin	1160.2	396	352	323
Shelek – s. Malybay	866.79	220	214	210
Turgen – s. Tauturgen	1141.79	225	210	203
Issyk – Issyk	1286	305	298	293
Talgar – Talgar	1199.21	310	298	294
Kaskelen – Kaskelen town	1128,5	404	390	384
Shamalgan – p. Shamalgan	1096.5	168	165	161
<i>Note – compiled by the author</i>				

Protection of Almaty from flooding. Water bodies of Almaty are a complex of natural watercourses, reservoirs and engineering facilities, which, together with adjacent territories, constitute a significant ecological, urban planning and recreational potential, determine the architectural and aesthetic appearance of the , ensure the regulation and drainage of surface and groundwater runoff and are used for economic and technical purposes.

There are 22 rivers and 4 artificial riverbed reservoirs in the of Almaty (appendix to the program). The total length of riverbeds is 220,8 км. The total area of water fund mirrors is 1116 ra. The largest rivers are Bolshaya Almatinka (29 км), Malaya Almatinka (28 км) and Esentai (25 км) (Dostay, 2012).

The basins of rivers and reservoirs of Almaty, as a result of the accelerated process of industrialization and urbanization in recent decades, are experiencing enormous anthropogenic pressure, which has caused the natural environment of these zones to approach the threshold of irreversible changes, and the state of protection of the territories and population of the from possible catastrophic discharges along the rivers, as well as flooding and underflooding, especially during the period of snowmelt and heavy rains, the existing environmental monitoring system does not meet the requirements (Ratkovich D.Ya.& Ratkovich L.D., 2000).

The engineering and technical measures carried out annually by the administration to clear river beds and irrigation ditch networks with the involvement of forces and resources of enterprises and organizations only partially ensure protection from emergency situations. Planned preventive and prophylactic measures are not carried out in full (Dostay, 2012).

The mudflow that occurred in July 1999 led to a significant deepening of the riverbeds of the M. Almatinka and Esentai rivers in the upper part of the and, in this regard, to an unstable state of the slopes.

Makataev Street to Ryskulov Avenue, the bed of the M. Almatinka River has narrowed significantly due to sediment deposition; the river's capa on this section is no more than 3-5 m³/s, with a design capa of 25 m³/s.

Esentai River is subject to serious negative impacts (Hydrological yearbooks 1930-1962, 2002-2015).

The riverbeds of the Malaya Almatinka and Esentai rivers below Raimbek Avenue are not stabilized and are significantly narrowed due to sediment deposition and dumping of household waste on the slopes, which significantly reduces the water-carrying capa of the riverbeds to 3-5 m³/s and, even in conditions of a slight increase in water volumes with heavy precipitation, leads to flooding of areas located in water protection zones.

The small rivers Moika, Karasu, Sultan Karasu, Zharbulak, Boraldai, Aksai, Kargalinka are in an unsanitary condition.

The banks and bed of the Kunaev Big Almaty Canal are littered with household and construction waste along their entire length, and the elements that strengthen the banks have been destroyed.

Medeu State Nature Park, where the volume of riverbank erosion, cases of tree collapses, and destruction of pedestrian and automobile bridge supports have increased.

The existing system of floodplain and coastal territories is a chain of built-up areas with partially preserved greenery and natural communities in various stages of anthropogenic degradation. River beds are transformed, subject to landslides and erosion, the coastlines are built up with private housing and occupied by economic activity.

This is primarily due to the fact that the temporarily lacked the standard sizes of water protection zones and strips. Water protection zones and strips are territories with special conditions of use, which are established to maintain water bodies and water management structures in a condition that meets sanitary and hygienic and environmental requirements, to prevent pollution, clogging and depletion of surface water, as well as to preserve flora and fauna (Avakyan & Istomina, 2000).

In 2006, in accordance with the plan of environmental protection measures, the project "Establishment of water protection zones" was developed at the expense of the local budget. zones and strips of water bodies of Almaty".

The boundaries of water protection zones and strips of water bodies in Almaty are determined taking into account the entire range of factors influencing the conditions of pollutant discharge into the riverbed: natural conditions, planning organization of the territory, location of ecologically hazardous objects.

The length of the with a large drainage basin area and significant terrain slopes predetermines intensive surface runoff of rain (storm) and melt water.

In 2002, the feasibility study "Storm Sewerage of Almaty" was developed, and currently a working project for storm sewerage of Almaty is being developed. The project provides for the construction of facilities for the collection, drainage and purification of surface runoff water from the entire built-up area of Almaty.

The protection of the population, economic potential and environment of Almaty from the impact of natural emergencies, the reduction of possible material damage, and the improvement of the rivers of Almaty are considered as a process of continuous elimination of contradictions between the existing type of development of valley complexes and new public needs (Istomina et.al, 2004).

Conclusions. The current position of the river beds does not meet the expected volumes of maximum runoff. Almaty rivers as a whole cannot perform their functions due to the development of coastal areas and unsuccessful design solutions for the arrangement of river beds. All rivers in the lower reaches are not able to pass increased volumes of runoff and when they pass, individual territories are flooded. Design solutions adopted in the arrangement of rivers do not solve the problems of cleaning their beds from pollution and the durability of structures. The restoration and connection of the irrigation ditch network with small rivers, as envisaged in previously completed projects, have not been implemented (Avakyan & Istomina, 2001).

Government of Almaty has developed the Program “Rivers and reservoirs of Almaty”.

The program is aimed at implementing the main provisions of the state strategy for sustainable development of Almaty.

One of the main goals of the program is to prevent emergency situations - to mitigate harmful effects, reduce damage caused by emergency situations of natural and man-made nature (Malik, 2003). Ensuring the protection of the 's territories and population from dangerous geological and hydrogeological phenomena by implementing urgent engineering measures, establishing constant monitoring of the mudflow situation and the state of mudflow protection structures, potentially dangerous areas of mudflows and landslides, creating a unified monitoring system with a comprehensive analytical center for processing information to ensure the safety and life of Almaty.

Flooding by flood waters in Almaty's regions. Almost every year in the basin, due to the sufficiently developed river network, emergency situations caused by floods on the rivers (floods, rain floods) occur (Avakyan & Istomina, 2000).

37 objects fall into the flood zone, erosion of banks and bridge abutments by flood waters of the basin: 23 settlements, 1 bridge on the Aktogay-Druzhba railway, 13 road bridges, including on the highways of state and republican significance Almaty-Khorgos and Almaty-Ust-Kamenogorsk, two water supply intakes (Hydrometeorology and Ecology, 2018).

Potential damage from floods and inundations in the Ile River basin in Almaty's regions will amount to 184,121.0 million tenge.

Acknowledgments. The work was carried out on the instructions of the Committee for Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, the updated “General Scheme for the Integrated Use and Protection of Water Resources of the Republic of Kazakhstan” was developed in accordance with the work plan for program 103 “Protection and Rational Use of Water Resources”, program 038 “Regulation of the Use and Protection of Water Resources, Ensuring the Functioning of Water Management Systems and Facilities, and Land Reclamation”.

References

- Assessment of the characteristics of the annual flow of the rivers of the Ile-Balkash water management basin // Hydrometeorology and Ecology, 2018. – No. 1. – Pp. 90-97.
- Surface water resources of the USSR. Volume 13. Central and Southern Kazakhstan. Issue 2. Lake Balkhash basin. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 645 p.
- Annual data on the regime and resources of land surface waters. – Vol. 7. 2018. River basin of the lake. Balkash and lake Alakol. – Nur-Sultan, 2020. – 352 p.
- Vladimirov A.M. Hydrological calculations. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. – 364 p.
- Ratkovich D.Ya., Ratkovich L.D. Types of floods and ways to reduce the damage they cause // Water resources. 2000. – Vol. 27. – No. 3. – P. 261.
- Dostay J.D. Natural waters of Kazakhstan: resources, regime, quality and forecast. Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management (monograph). – Almaty: 2012. – V. 2. – 330 p.
- Hydrological yearbooks 1930-1962. – L.: Gidrometeoizdat; 1963-1981. – Alma-Ata. – Vol. 5. – Issue. 5-8.; 1982-2001. – Vol. 5. – Issue.4. – Almaty.; 2002-2015. Issue. 7– Almaty.

- Avakyan A.B., Istomina M.N. Floods in the past and present // Energy: economics, technology, ecology. 2000. No. 10. P. 42-45.
- 9 Istomina M.N., Kocharyan A.G., Lebedeva I.P., Nikitskaya K.E. Ecological consequences of floods // Engineering Ecology. Moscow: Engineering Ecology Publishing House. – 2004. – No. 4. – P. 3-19.
- Avakyan A.B., Istomina M.N. Anthropogenic causes of flooding // Energy: economics, technology, ecology. 2001. – No. 7. – P. 50-55.
- Malik L.K. Causes and consequences of floods // Collection of articles. Safety of power facilities. Moscow: JSC NIIES. 2003. Issue 11. – P. 50-75.
- Avakyan A.B., Istomina M.N. Floods as a global problem // Information collection. Moscow: Center for Scientific Research of the State Land of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2001. – No. 7. – P. 14-48.
- Avakyan A.B., Istomina M.N. Floods in the world in the last years of the 20th century // Water resources. 2000. – No. 5. – P. 517-523.
- Buzin V.A. On floods on rivers caused by ice jams // Water resources. – 2000. – No. 5. – P. 524-530.
- Calculations of flood runoff: Calculation methods based on world experience. – L.: Gidrometeoizdat, 1978. – 304 p.
- SNiP RK 2.03-10-2002. Engineering protection in flood and underflood zones. – Astana, 2002.
- General scheme of integrated use and protection of water resources of the Republic of Kazakhstan, PC "Institute Kazgiprovodkhoz", Almaty, 2016.
- Scheme of integrated use and protection of water resources of the Ili River and Lake Balkhash. – Vol. 3. – Alma-Ata, Kazgiprovodkhoz, 1989.
- Methodology for the prompt establishment of absolute direct damage caused by floods. – L.: Lengiprovodkhoz, 1974.
- Filippova Yu.N. Methodology for the prompt establishment of absolute direct damage caused by floods to enterprises, organizations, institutions and personal property of citizens. – L., 1974.
- SNiP 2.07.01-85. River hydraulic structures. – M., 1985.
- SN RK 08.02-01-2002. Procedure for determining the estimated cost of construction at the stage of feasibility study. – Astana, 2002.
- SNiP 2.07.01-89. Urban development. Planning and development of urban and rural settlements. – M., 1989.
- SNiP 2.01.14-83. Determination of calculated hydrological characteristics. – M., 1983
- Project "Scheme for the integrated use and protection of water resources of the Ili River basin on the territory of the Republic of Kazakhstan", Book 11. – Alma-Ata, Kazgiprovodkhoz, 1993.

Information about authors

Botantaeva Bibigul Sarybaevna – Candidate of Technical Sciences, L.B. Goncharov Kazakh autoroad Institute, Almaty, Kazakhstan, e-mail: botantaeva_b@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1342-3163, +7 705 336 02 53

Akmaral O. Sagybekova – Candidate of Technical Sciences, L.B. Goncharov Kazakh autoroad Institute, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sao-81@mail.ru, +77477148124, Scopus Author ID: 57223975261, Web of Science Researcher ID: A-7187-2019, ORCID: 0000-0001-5679-5816, <https://scholar.google.com/citations?user=UwbMW0YAAAAJ&hl=ru>

Vagapova Alina – Candidate of Technical Sciences, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: vagapova-alina@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5385-3378>

ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ СӘУЛЕТ
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_247
MFTAA 67.15.45

Ж.С. Тулеугалиева¹, И.Т. Иманғали², Е.Б. Мажитов¹, С.М. Жарылғапов¹, М.Ж. Рысқалиев¹

¹Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,
Орал, Қазақстан

E-mail: zhansayatuleugaliyeva@mail.ru*

E-mail: mazhitov201090@gmail.com

E-mail: sabit.raisa@mail.ru

E-mail: muratbai_84@mail.ru

²Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан

E-mail: arailym1394@mail.ru

ШЫНЫ ҚАЛДЫҒЫ НЕГІЗІНДЕГІ СИЛИКАТ КІРПІШТІҢ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ОСТАТКА СТЕКЛА

INVESTIGATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SILICATE BRICKS BASED ON GLASS RESIDUE

Аңдатпа. Мақалада қазіргі ғылыми-техникалық прогресс дәуірінде өндіргіш күштердің дамуымен бірге өндірістің әртүрлі салаларындағы техника мен технологияны пайдалану қарастырылған. Сондықтан, осы бағытта ғылыми және тәжірибелік зерттеулер жүргізу өзекті мәселе болып табылады, өйткені жаңа шикізатты пайдалану олардың химиялық және минералогиялық құрамы мен физика-механикалық қасиеттерін ескере отырып, құрамында шыны ұнтағын қолдану силикат кірпіш өндірудің технологиялық параметрлерін өзірлеуге қатысты жаңа ғылыми көзқарастарды қажет етеді.

Силикат кірпішінің түрлері – өк-қож және өк-күл кірпіштері болып табылады. Олар қарапайым силикат кірпіштен төмен тығыздығымен және жылу оқшаулау қасиеттерімен ерекшеленеді. Оларды дайындау үшін кварц құмының орнына шлактар немесе күл қолданылуда.

Силикатты кірпіштің сапасы мен өндіру технологиясы шикізаттың физикалық-химиялық сипаттамасына байланысты болады. Кейбір көрсеткіштерінен кішкене ағаттық кететін болса, өнімнің параметрлеріне әсері болады. Сондықтан, шыны қалдығы қосылған шикізаттың химиялық, минералогиялық және ұнтақтық дәрежесін дұрыс анықтап, кірпіш тығыздығы мен беріктігіне әсер ететін автоклавты өңдеу мен қалыптауға оптимальды құрамын табуға жағдай жасауымыз керек.

Түйін сөздер: Силикат кірпіш, автоклав, шыны ұнтағы, өк, кварц құмы.

Аннотация. В статье рассматривается использование техники и технологии в различных отраслях производства вместе с развитием производительных сил в эпоху современного научно-технического прогресса. Поэтому проведение научных и экспериментальных исследований в данном направлении является актуальной проблемой, поскольку использование нового сырья с учетом его химического и минералогического состава и физико-механических свойств, применение стеклянного порошка в составе требует новых научных подходов к разработке технологических параметров производства силикатного кирпича.

Видами силикатного кирпича являются известково-шлаковый и известково-Ясеневи́й кирпичи. Они отличаются низкой плотностью и теплоизоляционными свойствами обычного силикатного кирпича. Для их приготовления вместо кварцевого песка используют шлаки или золу.

Качество и технология производства силикатного кирпича будет зависеть от физико-химических характеристик сырья. Если от некоторых показателей уйдет небольшая утечка, то будет влияние на параметры изделия. Поэтому мы должны правильно определить

химическую, минералогическую и порошкообразную степень сырья, к которому добавлен остаток стекла, и создать условия для нахождения оптимального состава автоклавной обработки и формования, влияющего на плотность и прочность кирпича.

Ключевые слова: Силикатный кирпич, автоклав, измельченное стекло, известь, кварцевый песок.

Abstract. The article examines the use of machinery and technology in various industries along with the development of productive forces in the era of modern scientific and technological progress. Therefore, conducting scientific and experimental research in this direction is an urgent problem, since the use of new raw materials, taking into account its chemical and mineralogical composition and physico-mechanical properties, the use of glass powder in the composition requires new scientific approaches to the development of technological parameters for the production of silicate bricks.

Types of silicate bricks are lime-slag and lime-ash bricks. They are characterized by low density and thermal insulation properties of ordinary silicate bricks. For their preparation, slags or ash are used instead of quartz sand.

The quality and technology of silicate brick production will depend on the physical and chemical characteristics of the raw materials. If a small leak goes away from some indicators, then there will be an impact on the product parameters. Therefore, we must correctly determine the chemical, mineralogical and powdery degree of the raw material to which the glass residue is added, and create conditions for finding the optimal autoclave treatment and molding composition that affects the density and strength of the brick.

Keywords: silicate brick, autoclave, crushed glass, lime, quartz sand.

Кіріспе. Автоклав материалдарын өндіруде шикізат химиялық және минералогиялық құрамының кең спектрімен қолданылады, оның ішінде көптеген өндірістік қалдықтар: шлам, күл, тау-кен байыту фабрикаларының қалдықтары (Васильев, Лебедев, 2015). Елдің кез келген аймағында автоклавталған материалдардан құрылыс өнімдері мен құрылымдарын өндіруге арналған шикізат бар.

Құрылымның негізі: ағаш, тас (соның ішінде жасанды, яғни бетон және кірпіш), болат және шыны сияқты материалдар болып табылады. Қазіргі уақытта әйнек – бұл жоғары қызығушылық тудыратын өнім, оның ішінде қайта өңдеу құбылысының арқасында. Қазіргі уақытта құрылыс индустриясы қалдықтарды дұрыс басқару үшін жақсы шешімдер іздейтін сала болып табылады. Қайта өңделетін қалдықтардың бірі – негізінен шарап бөтелкелерінен алынған әйнек. Ұнтақ шыны қазірдің өзінде бетондарда шыны ұнтағы ретінде қолданылады (зерттеулер Үндістанда, Қытайда және Америкада жүргізілуде) және зерттеу нәтижелері басқа материалдар контекстінде осы тақырыпты зерттеудің негізі болып табылады. Мақалада шыны тұсқағазды (шыны құмды) қолдана отырып, Силикат материалдарын өзгерту бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Сынамаларға бақылау жүргізілді: құрамында ұнтақты қайталама шыны бар қоспадағы әктің ылғалдануын/өнімнің су сіңірілуіне, сондай-ақ тығыздық пен беріктікке (кеуектердегі судың миграциясы) және микроқұрылымдық зерттеулерге әсер ететін ылғалдылықты бақылау. Жүргізілген сынақтар модификацияланған өнімнің қайталама шыныда жоғары ылғалдылығын (0,5 % эталондық үлгімен салыстырғанда шамамен 2 %) және жоғары қысымда түзілетін фаза ретінде гидратталған кальций силикаттарының гиролит түрінде болуын көрсетті (Stepien, Anna & Potrzyszcz-Sut, Beata & Kostrzewa-Demczuk, Paulina, 2019).

Әдебиеттерге шолу. Автоклав материалдарын өндіруде шикізат химиялық және минералогиялық құрамының кең спектрімен қолданылады, оның ішінде көптеген өндірістік қалдықтар: шлам, күл, тау-кен байыту фабрикаларының қалдықтары. Елдің кез келген аймағында автоклавталған материалдардан құрылыс өнімдері мен құрылымдарын өндіруге арналған шикізат бар.

Автоклавта шикі қоспаны 1000 °С жоғары температурада бұмен өңдейді, бұл жаңа өнімдердің синтезін қамтамасыз етеді. Бұл жағдайда қалыпты жағдайда және бұмен пісіру камераларында инертті материалдар белсенді болады.

Автоклав өсімдіктерінің басым көпшілігі әк-құм қоспаларын пайдаланады. Құмды әк кірпіш зауыттарының жартысынан көбі табиғи таза кварц құмдарында жұмыс істейді. Әк негізінен кальций қолданылады. Кальций силикаттары бар өнеркәсіптік қосалқы өнімдерді аз мөлшерде қолданады: күл, домна пешінің шлактары және т.б. Қоспаның құрамын тандағанда, кірпіштің ең жоғары беріктігіне қол жеткізуге ұмтылу қажет емес, өйткені бұл өндіріс шығындарының артуымен байланысты – байланыстырғыштың, электр энергиясының көп жұмсалуды, жабдықтың тозуы. Қоспаның құрамын ең төменгі шығындармен қатаң көрсетілген сипаттамалары бар кірпіш алуға болатындай етіп тандау керек, яғни өндірістің жоғары экономикалық тиімділігіне жету керек. Силикат материалдары мен олардан жасалған өнімдер халық шаруашылығында дәстүрлі қатты фазалы материалдар арасында жетекші орынға ие. Бұл олардың энергияны аз жұмсауы, металлдар мен полимерлермен салыстырғанда тиімділігінің жоғары болуы, сондай-ақ шикізаттың шексіз қолжетімділігімен байланысты. Мысалы, болат өндіруге шамамен $9 \cdot 10^{11}$ кДж/м³ энергия жұмсалса, цемент өндірісі үшін бұл көрсеткіш $3 \cdot 10^{10}$ кДж/м³ ғана, яғни отыз есе аз (Хавкин, 2011).

Сондықтан силикат материалдарын өндіру мен оларды жетілдіру өнеркәсіптің барлық бағыттары үшін бірінші кезектегі маңызды міндет болып табылады. Жаңа технологиялар мен инновациялар енгізу, сондай-ақ материалдардың қасиеттерін зерттеу өнеркәсіптің тұрақты дамуына ықпал етеді. Силикат материалдарының өндірісі мен қолданылуы болашақта да үлкен маңызға ие болады.

Автоклав материалдары мен бұйымдарын өндірудің технологиялық сызбасы бастапқы компоненттердің қасиеттеріне, шикі қоспаның құрамына, бұйымдарды қалыптау әдісіне байланысты.

Кез келген химия өнеркәсібінің технологиясы мен өнім сапасы көбінесе шикізаттың физикалық-химиялық сипаттамаларымен анықталады. Әдетте, бұл сипаттамалар күрделі әсер етеді. Физикалық күйдегі ауытқулар және әсіресе химиялық құрамы сөзсіз технологияның параметрлері мен соңғы өнімнің сапасына әсер етеді (Куприянов, 1975; Немахов, 2017).

Түсті силикат кірпішін өндірудің технологиялық процесі әдеттегі силикат кірпішін өндіруден қосымша бояу аймағымен ерекшеленеді. Түсті силикат кірпішті бояу ең көп таралған екі жолмен жүзеге асырылады: беткі және көлемді (Клименти, 2021). Беткі әдіспен бояғыш композиция дайын Силикат кірпішіне қолданылады. Бояудың көлемді әдісі-ең тұрақты бояуды қамтамасыз ететін дайын Силикат массасына бояу пигментін қосу. Кірпішті бояудың құрғақ және сұйық көлемді әдісі бар. Сұйық әдіс-пигментті суда еріту және қалақша араластырғыштағы Силикат массасына қосу. Силикат кірпішін өндірудің ең зиянды және қауіпті процесі-түсті силикат кірпішін бояудың құрғақ көлемді әдісі (Володченко, 2018).

Минералданудың аяқталмаған сатысындағы сазды жыныстар әртүрлі табиғи түске ие – қоңыр, қызыл, сары, бұл ұсақталған силикат кірпіштері мен тастар, сәндік кірпіштер, сәндік-әрлеу материалдары сияқты әрлеу материалдарының кең спектрін алуға мүмкіндік береді.

Дәстүрлі силикат материалдарын өндіретін кәсіпорындарда минералды сазды жыныстардың шикізатын пайдалана отырып, автоклавты қатайту материалдарын өндіруді ұйымдастыру мүмкіндігі бар (Кафтаева & Рахимбаев, 2015).

Әртүрлі уақытта табиғи және техногендік шығу тегі шикізат компоненттерін дайындаудан бастап цементтеу байламдарының гидротермиялық синтезіне дейін және пайдалану кезеңіндегі материалдардың эволюциясына дейінгі өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде механогендік қалдықтарды пайдалану кезінде автоклав материалдарының құрылымын қалыптастыру проблемаларымен В.С. Лесовик (Володченко & Лесовик,

2016), Ш.М. Рахимбаев (Кафтаева & Рахимбаев, 2015), В.В. Строкова (Володченко & Строкова, 2018) және т.б. жетекшілігімен ғылыми мектептер айналысты.

Осы ғылыми мектептердің өкілдері автоклав синтезі материалдарының құрылымының факторлары мен параметрлерін ескере отырып, тау-кен кәсіпорындары мен басқа да өндірістердің жұмыс істеуі нәтижесінде қалыптасқан әртүрлі аймақтардың әртүрлі қалдықтары мен жергілікті шикізат ресурстарын қолдану мүмкіндігі мен тиімділігін негіздеді.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Жұмыс күрделі сипатты және бірқатар маңызды факторларды зерттеуді қамтиды, силикат кірпіштің қасиеттеріне әсер ету, атап айтқанда мөлшері және қоспадағы белсенді СаО + MgO сапасы, кремнеземнің құрамы компоненттерін құрайды.

Материалдар:

- өндірісте белгілі белсенділігі бар әк байланыстырғыш (қоспасыз ұнтақталған әк);
- кварцті құм;
- шыны ұнтағы.



1-сурет. а – Әк-құм дайын қоспасы; б – № 008 фракциялы шынының қалдық ұнтағы
Ескерту – автормен құрастырылған

Зертхана жағдайында № 008 фракциясын 3 %, 5 %, 10 %, 15 % шыны ұнтағын қосу арқылы бірнеше үлгі жасалды. Және бір үлгіні шыны ұнтағы қосылмаған силикат қоспасынан жасалды.

Зерттеулер жүргізу мақсатында келесі оңтайлы құрамдар бойынша силикат үлгілері дайындалды.

1-кесте. Шикізаттардың шихталық құрамы

Құрам нөмірі №	Шикізаттар, %		
	Кварц құмы, %	Әк, %	Шыны қалдық, %
1 (зауыт)	60	40	0
2	64	33	3
3	75	20	5
4	80	10	10
5	79	6	15

Ескерту – автормен құрастырылған

Бір үлгіні қалыптастыру үшін қажет әк-құм қоспасының мөлшері 250-300 г. диаметрі 50 мм биіктігі 100 мм болатын цилиндрдің бір үлгісін дайындау мөлшері.

Есебі:

Алынған силикатты араласпа құрамы: 60 % – кварцті құм, 40 % – әк.

$250 - 7,5 \text{ г} = 242,5 \text{ г}$. – зауыт араласпасы (әрқайсысы 5 есеге көбейтілді)

1 құрам: 1250 г – зауыт араласпасы.

2 құрам: $250/100 \cdot 3 \% = 7,5 \text{ г}$ шыны ұнтақ

$100 \% - 3 \%$

$250 \text{ г} - 7,5 \text{ г}$

3 құрам: $250/100 \cdot 5 \% = 12,5 \text{ г}$ шыны ұнтақ

4 құрам: $250/100 \cdot 10 \% = 25 \text{ г}$ шыны ұнтақ

5 құрам: $250/100 \cdot 15 \% = 37,5 \text{ г}$ шыны ұнтақ

$1250 - 37,5 \text{ г} = 1212,5 \text{ г}$.

$\text{Су} = 1250/100 \cdot 13 \% = 162 \text{ мл}$

2-кесте. Бастапқы деректер

№	Атауы	Белгісі	Өлшем бірл.	Саны
1	Әк-құм қоспасының мөлшері	Рсм	г.	1250
2	Әк байланыстырғыштың белсенділігі (әк қоспасыз ұнтақталған)	Аи	%	70
3	Қалыптау қоспасының белсенділігі	$W_{см} = A_{см} + 2$	%	12
4	Қоспаның ылғалдылығы	Су	мл	162
5	Шыны қалдығы		%	3,5,10,15

Ескерту – автормен құрастырылған

Қоспаны дайындау. Қоспаны араластыру тәртібі. Екі сатылы араластыру. 1-ші кезең – құрғақ араластыру, екіншісі – сумен. Құрғақ құм мен байланыстырғышты құрғақ контейнерде біртекті құрамға дейін араластырыңыз. Содан кейін су қосылады.

Қоспаны сөндіру. Дайындалған қоспасы (гидраттық технологиядан басқа) полиэтилен пакеттерге салынып (су буланбауы үшін) және тез сөнетін әк үшін 45-60 минут ішінде гидраттық жылуды сақтау үшін зертханалық сүрлемге орналастырылады.

Силикат массасындағы әкті ылғалдандыру процесі келесі формула бойынша жүреді:



Сөндіру реакциясы жылу шығарумен және әк көлемінің артуымен бірге жүреді.



2-сурет. Араласпаны дайындау

Ескерту – автормен құрастырылған

Қалыптау қоспасын қалыптауға дайындау. Сөндіргеннен кейін қоспасы пластикалық пакеттен сфералық ыдысқа құйылады және әк пен құмды араластырмай, қажет болған жағдайда ылғалдандырылады. Қоспаның қажетті мөлшері үлгіге өлшенеді.

Үлгілерді қалыптау. Нысанға қоспа себіледі. Үлгілер диаметрі 50 мм және биіктігі 100 мм цилиндр үлгілері түрінде қалыптасады, үлгі 1 мм ауытқу ± 1 дәлдікпен өлшенеді.

Шикі кірпіш үлгілерін сынау.

Шикі цилиндр үлгілері преста сыналады. Үлгілердің беттері преста пластиналарының бетіне тығыз орналасуы керек. Жүктеме қосымшасы тегіс. Үлгінің бұзылуы 20 секундтан ерте басталмауы тиіс. Бұзылған үлгілерде қоспаның біртектілігі тексеріледі.

Шикізаттың беріктігін анықтау дайындалғаннан кейін 30 минуттан кешіктірмей преста жүргізіледі. Сынақтар кідірілген жағдайда үлгілер кебуден қорғалуы, яғни полиэтилен пакетке жабылуы тиіс.

3-кесте. Сынамаларды шикізаттың нөмірлеу үлгісі

Құрамы №	Шыны қалдықтың құрамы, %	Шикізаттың нөмірлеу үлгісі
1	0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.
2	3	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.
3	5	15,16, 17, 18, 19, 20, 21.
4	10	22, 23, 24, 25, 26, 27,28.
5	15	29,30, 31, 32, 33, 34, 35.

Ескерту – автормен құрастырылған

Үлгілерді қалыптау кезіндегі преста қысымы 10-15 МПа.

Бұл жағдайда қатты кірпіштің беріктігі зертханалық үлгілердің беріктігіне тең болады. Қуыс қалыңдатылған кірпіштің беріктігі үлгілердің беріктігінен 20 % төмен. Қуыс тастардың беріктігі үлгілердің беріктігінен 50 % төмен.

Қысу кезіндегі беріктік шегін R_k (1) формуламен анықтайды ($1 \text{ МПа} = 10 \text{ кгс/см}^2$) (Смирнов, 2021).

$$R_k = P/S \quad (1)$$

мұндағы P – қиратушы күш; H – немесе кгс; S – үлгінің көлденең кесіндісінің ауданы, см^2 ; $S = 19,625 \text{ см}^2$.



3-сурет. Механикалық преста шикізатты престеу

Ескерту – автормен құрастырылған

Қысу кезіндегі беріктіктің шектік мәнін анықтау үшін сындыратын күш Р бірнеше әдіспен есептеледі:

Манометрдің көрсеткіші бойынша: Манометрдің көрсеткішін бөліктің бірлігіне көбейту.

Кестелік деректерді пайдалану: Манометрдің көрсеткішіне сәйкес кестелерден Р мәнін табу.

Бұл тәсілдер арқылы алынған нәтижелер материалдың қысу кезіндегі беріктігін анықтауға көмектеседі. Сынақтың дәлдігі мен сенімділігі үшін үлгілердің дұрыс геометриялық формада болуы маңызды.

Нәтижелері және оны талқылау. Қысу кезіндегі беріктік шегін анықтау үшін материалды сыртқы қысу күштерінің әсерінен сыну жағдайына жеткізу қажет. Сынаққа алынған үлгілердің дұрыс геометриялық формада болуы өте маңызды.

4-кесте. Сығуға беріктік шегін анықтау нәтижелері

Нұсқа №	Шыны қалдығы %	Преске салынған үлгілер нөмірлері	Сығуға беріктік шегі, МПа, (кгс/см ²)	
			Алынған мән, R, МПа	Кірпіш маркасы
1	0	5, 6, 7	17,0	150
2	3	12, 13, 14	17,8	150
3	5	19, 20, 21	14,0	150
4	10	25, 26, 27	13,7	150
5	15	33, 34, 35	11,7	100

Ескерту – автормен құрастырылған

Табиғи тас материалдарының су жұтқыштығын анықтау үшін дұрыс және дұрыс емес формадағы үлгілер пайдаланылады. Процесс келесідей жүзеге асырылады:

Үлгілерді дайындау: Ұнтақтардан тазартылған және кептірілген үлгілерді өлшеп, әйнек немесе фарфор ыдыстарға орналастырады.

Су құю: Үлгілердің биіктігіне 1/4 мөлшерінде тазартылған су құйылады.

Су деңгейін бақылау: 2 сағаттан кейін су деңгейі 1/2, ал 3 сағаттан кейін 1/3 биіктігіне дейін толтырылады. Содан кейін үлгілерді 1 күнге қалдырады.

Суды толықтыру: Келесі күні үлгілерді толық сумен толтырып, тағы 1 күнге қалдырады.

Үлгілерді өлшеу: 1 күннен соң, үлгілерді алып, дымқыл шүберекпен сүртіп өлшейді. Процесті тұрақты салмаққа жеткенше қайталайды.

Су жұтқыштығын массасы мен көлемі бойынша жоғарыда келтірілген формуламен 0,1 % дәлдікпен есептейді.

5-кесте. Су сіңіргіштікті анықтау

Нұсқа №	Шыны қалдығы %	Үлгілер нөмірлері	Әдеттегі массаға дейінгі кептірілген нұсқа салмағы m, г	Сумен қаныққан нұсқа салмағы m1, г	Массасы бойынша нұсқаның су сіңіргіштігі W, %	Су сіңіргіштіктің орташа мәні W, %
1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	160	155	3,22	3,34
		2	150	145	3,22	
		3	160	155	3,22	
		4	140	135	3,7	

5-кестенің соңы

1	2	3	4	5	6	7
2	3	8	135	130	3,84	3,9
		9	120	115	4,34	
		10	130	125	4	
		11	150	145	3,44	
3	5	15	145	140	3,57	3,73
		16	135	130	4,84	
		17	140	135	3,7	
		18	135	130	3,84	
4	10	22	135	130	3,84	3,7
		23	140	135	3,7	
		24	130	125	4	
		28	150	145	3,44	
5	15	29	150	145	3,44	4,3
		30	155	150	3,33	
		31	155	145	6,89	
		32	145	140	3,57	

Ескерту – автормен құрастырылған

Қорытынды. Қорытындылай келе, силикат кірпішін өндіру технологиясына әдеби шолу жасалынып, атқарылған жұмыс туралы табиғи материалдардың орнына өнеркәсіптік қалдықтарды қолданудың экологиялық әсері де осы технологияның артықшылығын біле алдық.

Физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеуде силикат кірпішке шыны қалдығын қолдануда, 3 % қоспасы бар шыны қалдығы беріктік шегі қалғандарына қарағанда жоғары көрсеткішті көрсетеді. Бұл кірпіштің бірнеше артықшылығы бар. Тиімді силикатты кірпіштің құнын едәуір төмендетуге тек арзан техногендік шикізатты қолданудың арқасында ғана емес, сонымен қатар әк күйдіру және байланыстырғыш материалдарды ұнтақтау сияқты энергияны көп қажет ететін екі технологиялық процестің болмауының арқасында қол жеткізілді. Бұл технологияның артықшылығы сонымен қатар табиғи материалдардың орнына өндіріс қалдықтарын пайдаланудың экологиялық әсері болып табылады.

Ұсынылған өндіріс әдісін қолданған кезде экономикалық шығындар ғана төмендемейді, сонымен бірге оның қол жеткізілген экологиялық әсері және жұмысшылардың еңбегін жеңілдету сияқты әлеуметтік-этикалық қасиеттері де артады. Осы технологияны қолдану құмды-кірпішті сату нарығын кеңейтеді, осылайша өндіріс рентабельділігі артады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Stepien, Anna & Potrzyszcz-Sut, Beata & Kostrzewa-Demczuk, Paulina. (2019). Influence and Application of Glass Cullet in Autoclaved Materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 471. 032065. 10.1088/1757-899X/471/3/032065.
- Васильев, А.Н., Лебедев, П.И. Использование переработанных материалов в строительстве / А.Н. Васильев, П.И. Лебедев // Строительные материалы и технологии. – 2015. – Т. 34. – № 7. – С. 112-118 // Vasil'ev, A.N., Lebedev, P.I. Ispol'zovanie pererabotannykh materialov v stroitel'stve / A.N. Vasil'ev, P.I. Lebedev // Stroitel'nye materialy i tehnologii. – 2015. – Т. 34, № 7. – С. 112-118.
- Володченко А.Н., Лесовик В.С. Перспективы расширения номенклатуры силикатных материалов автоклавного твердения // Строительные материалы. – 2016. – № 9. – С. 34-37 // Volodchenko A.N., Lesovik V.S. Perspektivy rasshirenija nomenklatury silikatnykh materialov avtoklavnogo tverdenija // Stroitel'nye materialy. – 2016. – № 9. – С. 34-37.
- Володченко, А.Н. Разработка научных основ производства силикатных автоклавных материалов с использованием глинистого сырья / А.Н. Володченко, В.В. Строкова // Строительные

- материалы. – 2018. – № 9. – С. 25-31 // Volodchenko A.N. Razrabotka nauchnyh osnov proizvodstva silikatnyh avtoklavnyh materialov s ispol'zovaniem glinistogo syr'ja / A.N. Volodchenko, B.V. Strokovaya // Stroitel'nye materialy. – 2018. – № 9. – С. 25-31.
- Кафтаева М.В., Рахимбаев Ш.М. Микроструктура автоклавных газосиликатов и влияние на нее гипсового камня // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 34-41 // Kaftaeva M.V., Rahimbaev Sh.M. Mikrostruktura avtoklavnyh gazosilikatov i vliyanie na nee gipsovogo kamnja // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 34-41.
- Кафтаева М.В., Рахимбаев Ш.М. Обоснование технологии производства эффективных автоклавных силикатных газобетонов: Монография. Белгород: Издательство БГТУ, 2015. – 258 с. // Kaftaeva M.V., Rahimbaev Sh.M. Obosnovanie tehnologii proizvodstva jeffektivnyh avtoklavnyh silikatnyh gazobetonov: Monografija. Belgorod: Izdatel'stvo BGTU, 2015. – 258 s.
- Кафтаева М.В., Рахимбаев Ш.М., Комарова Н.Д., Курбатов В.Л. Термодинамический анализ реакции образования ксонотлита из известково-кремнеземистого вяжущего при автоклавном твердении // Ползуновский вестник. – 2016. – № 1. – С. 77-81 // Kaftaeva M.V., Rahimbaev Sh.M., Komarova N.D., Kurbatov V.L. Termodinamicheskij analiz reakcii obrazovaniya ksonotlita iz izvestkovo-kremnezemistogo vjazhushhego pri avtoklavnom tverdenii // Polzunovskij vestnik. – 2016. – № 1. – С. 77-81.
- Клименти Н.Ю. Исследование опасных и вредных факторов технологического процесса производства силикатного кирпича [Электронный ресурс] / Н.Ю. Клименти, О.С. Власова, С.И. Голубева // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 4. – 13 с. // Klimenti, N.Ju. Issledovanie opasnyh i vrednyh faktorov tehnologicheskogo processa proizvodstva silikatnogo kirpicha [Jelektronnyj resurs] / N.Ju. Klimenti, O.S. Vlasova, S.I. Golubeva // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2021. – № 4. – 13 s.
- Кузнецова, Г.В. Добавки для прямой технологии производства силикатного кирпича / Г.В. Кузнецова, А.А. Шинкарев, Н.Н. Морозова, А.З. Газимов // Строительные материалы. – 2018. – № 9. – С. 12-16 // Kuznecova, G.V. Dobavki dlja prjamoj tehnologii proizvodstva silikatnogo kirpicha / G.V. Kuznecova, A.A. Shinkarev, N.N. Morozova, A.Z. Gazimov // Stroitel'nye materialy. – 2018. – № 9. – С. 12-16.
- Куприянов В. П. Технология производства силикатных изделий. 2-е, перераб. и доп. изд. – М.: Высш. шк., 1975. 240 с. // Kuprijanov V.P. Tehnologija proizvodstva silikatnyh izdelij. 2-e, pererab. i dop. izd. – М.: Vyssh. shk., 1975. – 240 s
- Немахов И.В. Способы производства цветного силикатного кирпича // Аллея науки. – 2017. – Т. 4. – № 9. – С. 213-214 // Nemafov I.V. Sposoby proizvodstva cvetnogo silikatnogo kirpicha // Alleja nauki. 2017. – Т.4. – № 9. – С. 213-214.
- Смирнов, И. В. Механические испытания и физические свойства материалов / И.В. Смирнов. – М.: Строительные материалы и изделия, 2021. – 245 с. // Smirnov, I.V. Mehanicheskie ispytaniya i fizicheskie svojstva materialov / I.V. Smirnov. – М.: Stroitel'nye materialy i izdelija, 2021. – 245 s.
- Строкова В.В., Алфимова Н.И., Черкасов В.С., Шаповалов Н.Н. Прессованные силикатные материалы автоклавного твердения с использованием отходов производства керамзита // Строительные материалы. – 2012. – № 3. – С. 14-15 // Strokovaya V.V., Alfimova N.I., Cherkasov V.S., Shapovalov N.N. Pressovannye silikatnye materialy avtoklavnogo tverdenija s ispol'zovaniem othodov proizvodstva keramzita // Stroitel'nye materialy. – 2012. – № 3. – С. 14-15.
- Фомина Е.В., Строкова В.В., Кудеярова Н.П. Особенности применения предварительно гашеной извести в ячеистых бетонах автоклавного твердения // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 5 (653). – С. 29-34 // Fomina E.V., Strokovaya V.V., Kudejarova N.P. Osobennosti primeneniya predvaritel'no gashenoj izvesti v jacheistyh betonah avtoklavnogo tverdenija // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. – 2013. – № 5 (653). – С. 29-34.
- Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. – М.: ЭКОЛИТ.2011. – 384 с. // Havkin L.M. Tehnologija silikatnogo kirpicha. – М.: JeKOLIT. – 2011. – 384 s.

Information about authors

Tuleugaliyeva Zhansaya – master of technical sciences, West Kazakhstan agrarian and technical university named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan. zhansayatuleugaliyeva@mail.ru, ORCID: 0009-0008-1484-4585, +7 7714335827

Imangali Arailym – master of technical sciences, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan. arailym1394@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6495-5808

Mazhitov Erkebulan – candidate of technical sciences, West Kazakhstan agrarian and technical university named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan. mazhitov201090@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6155-4865

Zharylgapov Sabit – PhD, West Kazakhstan agrarian and technical university named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan. sabit.raisa@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3104-6568

Ryskaliev Muratbay – PhD, West Kazakhstan agrarian and technical university named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan. muratbai_84@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3361-2076

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_256
IRSTI 67.11.31

K.N. Khafiz¹, A.N. Kafizov¹, K. Mukhambetkaliyev²

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

E-mail: kairat_40@mail.ru*

E-mail: azamat_khafizov01@mail.ru

²JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan

E-mail: K.mukhambetkaliyev@gazjolgzi.kz

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS METHODS OF DE-ICING ROADS

ЖОЛДАРДЫ МҰЗДАН ТАЗАРТУДЫҢ ӘРТҮРЛІ ӘДІСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДОРОГ

Abstract. The winter period poses a serious challenge to the road infrastructure, especially in the harsh climate of Kazakhstan, where frequent snowfalls and extreme frosts create a risk of ice cover on the roads. De-icing road treatment plays a key role in ensuring road safety by reducing the risk of slipping and improving wheel grip on the road surface. The article discusses the main methods of de-icing roads, including chemical, friction, chemical-friction, mechanical and thermal methods. Their features, effectiveness and impact on road safety are described. The results of research on the use of chemical reagents such as NaCl, CaCl₂, MgCl₂ and biodegradable compounds are highlighted, taking into account their effectiveness at different temperatures and environmental consequences. Innovative technologies such as pavement heating systems are also being considered, which provide a long-term solution to the problem of ice, but are characterized by high costs. The analysis of de-icing treatment methods reveals their advantages and limitations, and also suggests optimal approaches for use in a changing climate. The results of the work can be useful for improving the management of road infrastructure and improving road safety in winter.

Keywords: De-icing treatment, road safety, chemical reagents, mechanical methods, thermal heating of roads environmental safety, friction materials, winter infrastructure.

Аңдатпа. Қыс мезгілі жол инфрақұрылымы үшін, әсіресе Қазақстанның қатал климаты жағдайында елеулі сын-тегеурін болып табылады, мұнда жиі қар жауады және қатты аяз жолдарда мұз жамылғысының пайда болу қаупін тудырады. Жолдарды мұздан тазарту жол қауіпсіздігін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады, сырғанау қаупін азайтады және доңғалақтардың тротуармен байланысын жақсартады. Мақалада химиялық, үйкеліс, химиялық-үйкеліс, механикалық және жылу әдістерін қоса алғанда, жолдарды мұздан тазартудың негізгі әдістері қарастырылады. Олардың ерекшеліктері, тиімділігі және жол қауіпсіздігіне әсері сипатталған. NaCl, CaCl₂, MgCl₂ және биологиялық ыдырайтын қосылыстар сияқты химиялық реагенттерді қолдану бойынша зерттеулердің нәтижелері олардың әртүрлі температурадағы тиімділігі мен экологиялық әсерлерін ескере отырып көрсетіледі. Сондай-ақ, көктайғақтың ұзақ мерзімді шешімін қамтамасыз ететін, бірақ жоғары шығындармен сипатталатын жол жамылғысын жылыту жүйелері сияқты инновациялық технологиялар қарастырылған. Мұздан тазарту әдістерін талдау олардың артықшылықтары мен шектеулерін анықтауға мүмкіндік береді және климаттың өзгеруі жағдайында қолданудың оңтайлы тәсілдерін ұсынады. Жұмыс нәтижелері жол инфрақұрылымын басқаруды жақсарту және қыс мезгілінде жол қауіпсіздігін жақсарту үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: Мұздан тазарту, жол қауіпсіздігі, химиялық реагенттер, механикалық әдістер, жолдарды жылумен жылыту, экологиялық қауіпсіздік, үйкеліс материалдары, қысқы инфрақұрылым.

Аннотация. Зимний период представляет собой серьезный вызов для дорожной инфраструктуры, особенно в условиях сурового климата Казахстана, где частые снегопады и экстремальные морозы создают риск образования ледяного покрова на дорогах. Противообледенительная обработка дорог играет ключевую роль в обеспечении безопасности дорожного движения, снижая риск скольжения и улучшая сцепление колес с дорожным покрытием. В статье рассматриваются основные методы противообледенительной обработки дорог, включая химический, фрикционный, химико-фрикционный, механический и тепловой методы. Описываются их особенности, эффективность и влияние на безопасность дорожного движения. Освещаются результаты исследований по применению химических реагентов, таких как NaCl, CaCl₂, MgCl₂ и биоразлагаемые соединения, с учетом их эффективности при разных температурах и экологических последствий. Также рассматриваются инновационные технологии, такие как системы обогрева дорожного покрытия, которые обеспечивают долгосрочное решение проблемы гололеда, но характеризуются высокими затратами. Анализ методов противообледенительной обработки позволяет выявить их преимущества и ограничения, а также предлагает оптимальные подходы для использования в условиях изменяющегося климата. Результаты работы могут быть полезны для улучшения управления дорожной инфраструктурой и повышения безопасности дорожного движения в зимний период.

Ключевые слова: Противообледенительная обработка, безопасность дорожного движения, химические реагенты, механические методы, тепловой обогрев дорог, экологическая безопасность, фрикционные материалы, зимняя инфраструктура.

Introduction. The winter period presents a complex challenge to the functioning of the road infrastructure, especially in conditions of sharp temperature fluctuations and extreme atmospheric phenomena such as snowfall and frost. One of the critically important factors determining road safety is the formation of ice on road surfaces, which leads to an increase in the coefficient of adhesion and a decrease in the stability of vehicles. Deicing of roads is an integral part of the strategic management of winter conditions and includes a variety of preventive and primary methods -from the use of deicing materials to mechanical and technological solutions. These measures are aimed at minimizing the risks associated with the formation of ice on the road surface, which is critically essential for road safety. The climate of Kazakhstan is characterized by significant temperature fluctuations, especially in winter. In the country's northern regions, winters can be severe, with temperatures reaching -40 °C, as well as frequent snowfalls and severe frosts. This creates unique conditions for the formation of ice and ice on roads, which makes deicing treatment vital to ensure the safety of traffic flows. This article aims to provide a comparative analysis of existing methods of deicing treatment, as well as their scientific validity and practical effectiveness. The impact of these measures on road safety and the condition of the road infrastructure will also be considered. Understanding modern approaches to anti-icing will not only improve road safety but also optimize the operation of the road network in a changing climate, which, in turn, will contribute to the sustainable development of Kazakhstan's transport system.

Methods and Materials. In Kazakhstan, various methods of de-icing roads are used. The most common are the use of anti-icing materials (chemical, chemical-friction, friction), mechanical snow removal, and thermal heating of the pavement (Figure 1).

The friction method of de-icing roads involves the use of abrasive materials such as sand and crushed stone to increase the adhesion of wheels to the road surface in icing conditions. This method is based on mechanical action, which helps to improve grip and reduce the risk of slipping. Sand and gravel are applied to the icy surface of the road, creating an abrasive layer that increases friction between the wheels of cars and the road. This is especially important in low-temperature conditions, when chemical reagents may lose their effectiveness.

The chemical-fractional method of de-icing roads is a combined approach that combines the use of chemical reagents with abrasive materials such as sand and crushed stone. An essential advantage of such mixtures is environmental safety, which, along with an affordable price, makes them quite popular. They have proven themselves only on the positive side; with their help, they can achieve high-quality results in the shortest possible time. Thanks to a well-

thought-out chemical formula, which includes several potent substances, these reagents quickly turn ice and snow into a safe melted mixture, easily removable by mechanical means. The high efficiency of combined reagents is achieved since they most often use substances such as marble or granite crushed stone, sodium formates or potassium acetates, sodium chloride (calcium or magnesium), nitrates, and other compounds in various combinations (Pshembaev, Kovalev, Yaglov, Girinsky, 2020).

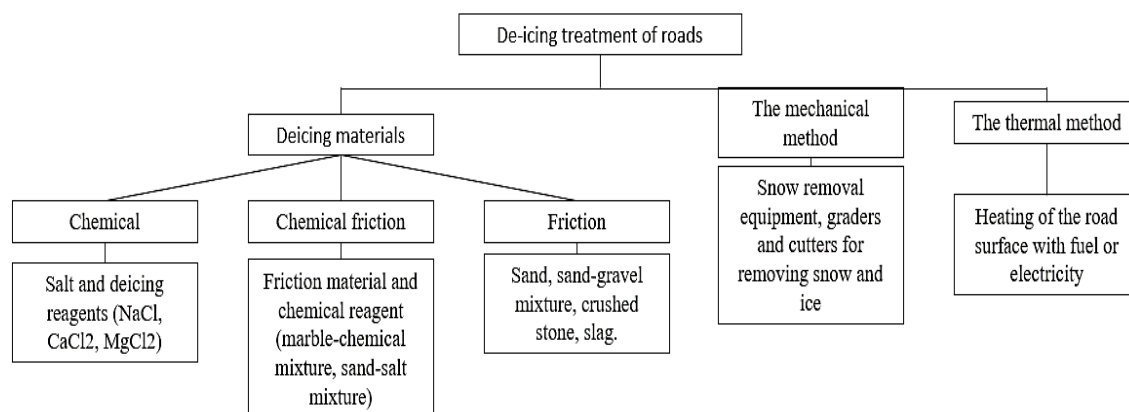


Figure 1. The most common methods of de-icing roads in Kazakhstan

Note – compiled by the authors

Mechanical methods of de-icing roads include a variety of approaches based on physical effects on the ice crust or snow cover. These include using snow plows that remove snow and ice from the road surface and using graders and other specialized devices for grinding and leveling the surface. These methods make it possible to effectively clean roads and improve traffic safety in winter, providing better visibility and wheel grip.

The pavement heating method is a technology aimed at preventing the formation of ice and snow on the road surface using heating systems. Such systems can be electric or water-powered and are laid under the road surface. When turned on, they heat the surface, keeping its temperature above the freezing point. This method can significantly improve road safety in winter, reducing the need for chemicals and mechanical cleaning and providing more comfortable conditions for drivers and pedestrians. However, its application may be limited by high installation and operation costs. According to the conclusion of Chinese researchers, heating systems such as electric heating, pipe heating, and geothermal heating effectively combat ice and snow. However, the cost of transferring energy from the source to the road surface remains high. In addition, repeated loads can damage the cables, leading to failures in the electric heater operation (Xu, Zhou, Feng, Cui, Xie, 2021). Studies have shown that when designing a heating system, methods of removing melted snow and ice from the place of their heating should be taken into account. Thermal insulation layers should be installed at the construction stage of the pavement, as this affects the performance and cost of the system (Kenzhebayeva, Bakbolat, Sultanov, Daulbayev & Mansurov, 2021). The chemical method of de-icing treatment involves using various chemical reagents to prevent the formation of ice and snow on the road surface. The most common reagent is table salt (NaCl), which lowers the freezing point of water. Calcium chloride (CaCl₂) is also often used, which is more effective at low temperatures and dissolves quickly, which allows it to act faster. In recent years, the use of biodegradable reagents such as acetic acid, which are less harmful to the environment, has been increasing.

Road salt consists mainly of the active component, sodium chloride, but also contains insoluble particles and impurities, including metallic trace elements, the nature and concentration of which depend on the source of raw materials (Novotny, Murphy, Stefan, 2008). Sodium chloride (NaCl) was first used in the 1930s to accelerate snowmelt. This made it possible to improve the adhesion of vehicles to the road (Denby et al., 2016) and reduce the number of road accidents. Deicing salt has physicochemical properties that allow changing the phase equilibrium of water, which leads to a decrease in the freezing point. At normal atmospheric pressure, clean water freezes at 0°C, turning into ice, which forms on the road surface. However, adding salt to water and dissolving it lowers the freezing point (Durickovic, 2020).

The market's average price of sodium chloride varies from 30 to 70 tenge per kilogram, depending on the delivery method and order volume.

Deicing salt (NaCl) is used in various forms, depending on the condition of the road surface (Barbier, 2019):

- Dry salt: It is used in rainy weather because it is easy to apply and is not washed out by precipitation.
- Brine (saline solution): effective in dry conditions, as it adheres well to the surface but can drain when the road is inclined.
- Moistened salt (a mixture of rock salt and 30% brine): versatile and suitable for different situations. The dry salt provides a mechanical effect, and the brine creates the necessary moisture to start the melting process.

Salt can be used prophylactically (before the appearance of ice) or curatively (after the formation of a slippery surface). Due to its ability to reduce the freezing point of water, road salt prevents the formation of ice or promotes its melting. For a long time, NaCl has been used as the main anti-icing material due to its cost-effectiveness, ease of storage, speed of melting, and ease of use. However, given the recent concerns about its environmental impact, various alternative solutions have been proposed and tested.

According to the results of the study, other inorganic salts (CaCl₂, MgCl₂, KCl) are more expensive than NaCl and are usually more aggressive to vehicles and road structures such as bridges and overpasses (Benbow, Mark & Merritt, Richard, 2005).

In 2021, researchers in Poland analyzed the toxicity of sodium chloride (NaCl) to aquatic organisms such as *Daphnia magna* (daphnia) and *Poecilia reticulata* (guppy) at various salinity levels. Studies have shown that *D. magna* is highly sensitive to increased salinity, which suggests that high salt concentrations can significantly affect the survival of these organisms. This study confirms the need to develop more environmentally friendly alternatives, such as biodegradable reagents with less toxicity to aquatic organisms (Frąk, M., Bednarczyk, P., 2021).

Biodegradable reagents for de-icing roads are considered an environmentally friendly alternative to traditional salts. Among such reagents, calcium and magnesium acetates, mixtures based on beet juice, and vegetable additives are distinguished. They minimize the harm to aquatic ecosystems, soil, and vegetation that suffer from the salt runoff of traditional reagents. For example, a mixture of beet juice and salt improves efficiency at low temperatures and reduces the amount of salt needed to treat roads. However, such solutions are expensive, which may limit their widespread use.

Calcium chloride (CaCl₂) is an effective deicing reagent that is actively used for road treatment in winter. Its main advantage lies in its ability to operate at very low temperatures (up to -51 °C), which makes it more effective compared to traditional sodium chloride, whose efficiency decreases below -12 °C (Nizhny Novgorod State Technical University, 2019). During the dissolution process, calcium chloride releases heat, which accelerates the melting of ice. In addition, it actively attracts moisture from the air, creating a sticky layer that prevents the reagent from being carried away by the wind, especially in conditions of heavy traffic. One of

the environmental advantages is that using CaCl_2 reduces the amount of salt needed for road treatment, which reduces the negative impact on the environment. Using a combination of chlorides, including calcium, magnesium, and sodium, with inhibitors minimizes harm to human health, shoes, and tires. Also, it helps to reduce dust on the roads. However, the cost of CaCl_2 is significantly higher than that of sodium chloride, which limits its use in some cases. This approach is actively discussed and applied in various countries, including Russia, where calcium chloride is used as an independent agent or as part of two-phase reagents. This reduces the cost of maintaining roads and minimizes their environmental footprint.

The average cost of calcium chloride for de-icing roads in Kazakhstan varies depending on the release form and concentrations (usually 94-98%): 500-650 tenge per kilogram.

Magnesium chloride (MgCl_2) works effectively at temperatures up to -15°C . Its effectiveness at lower temperatures is significantly lower than CaCl_2 but still more effective than NaCl in moderate frosts. This is also supported by a number of experiments and observations, both in Western studies and in studies conducted in regions with a cold climate (Fay, Volkening, Gallaway, & Shi, 2012). The average cost of magnesium chloride depends on the purchase volume and varies between 350-400 tenge per kilogram.

In addition, magnesium chloride helps prevent the formation of ice and dissolves snow faster, creating safer conditions on the roads. It is often used as a solution that adheres easily to the surface and prevents re-freezing. Studies have shown that magnesium chloride, although effective as an anti-icing agent, can cause less damage to concrete surfaces than sodium and calcium chlorides, which are known to contribute to the formation of deposits on concrete during freeze-thaw cycles (Xiang Li et al., 2019). Efforts are also being made to identify and test alternative chemicals for ice control that are more environmentally friendly and less aggressive to infrastructure (Peters & Riemer, 2019). The use of salts as a means of combating ice is a common practice, but it has significant drawbacks.

One of the main ones is the phenomenon of salt erosion, which damages the road surface and structural elements, which leads to a reduction in their service life (Wu et al., 2021).

In 2015, a study was conducted on the effectiveness of deicing chemicals at different temperatures and different melting times (Ružinskas, Andrius & Bulevičius et al., 2016). During the tests, five different materials were studied: NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , a mixture of modified sodium chlorides (75%) (SCMC) and calcium (25%), and a mixture of sodium acetate and sodium formate (SASF). In conclusion, according to the intensity of ice melting, CaCl_2 and MgCl_2 are the most effective.

Table 1. Comparative analysis of chemical reagents

Chemical reagents	Sodium chloride (NaCl)	Calcium Chloride (CaCl_2)	Magnesium chloride MgCl_2
Temperature range	Up to -10°C	Up to -30°C and below	Up to -15°C
Forms of application	dry salt, in solution as a brine, moistured/humidified salt	dry salt, in solution as a brine, moistured/humidified salt, mixture with other reagents	Solid magnesium chloride, magnesium chloride solution, hybrid mixtures
Reagent distribution time	Before and after ice formation	Before the formation of ice	Before the formation of ice
Melting point	Up to -15°C	-20°C	-20°C
The rate of ice dissolution	Low	High	High
Environmental impact	Most disastrous	The average indicator	The least harmful
Price of 1 kilogram (₸)	30-70	500-650	350-400
<i>Note – compiled by the authors</i>			

Regarding the different melting temperatures, NaCl has shown that ice melts most effectively at temperatures up to -15°C , and MgCl_2 is the most effective at higher temperatures. SASF is the most economical material for melting ice.

Russian researchers conducted studies of chemical reagents (sodium chloride NaCl, calcium chloride CaCl_2 , magnesium chloride MgCl_2) from an environmental point of view (Nikishina, Bazarov, 2022). During the study, plants (namely vico-oat mixture) were watered with reagents of various concentrations. After 5 weeks of the study, the results showed that sodium chloride has the most detrimental effect on plant growth, unlike calcium chloride and magnesium chloride. The least negative impact on the soil is manifested in 10% of MgCl_2 .

Results. During the study, various methods and materials for deicing roads were considered, including mechanical, chemical, and combined approaches. The primary attention was paid to the comparison of chemical reagents, sodium chloride (NaCl), calcium chloride (CaCl_2), and magnesium chloride (MgCl_2), as well as their environmental effects. Effectiveness of deicing reagents: NaCl has demonstrated good efficiency at temperatures up to -12°C , reducing the freezing point of water and preventing ice formation. However, at lower temperatures, its effectiveness is significantly reduced. CaCl_2 has shown high efficiency at very low temperatures (up to -51°C), actively releasing heat during dissolution, which accelerates the melting of ice. This makes it more effective than NaCl in extreme frost conditions. In addition, CaCl_2 has the ability to attract moisture, which increases its resistance to wind drift. MgCl_2 proved to be effective at temperatures up to -15°C , which makes it more suitable for moderate frosts compared to NaCl. However, its effectiveness is also limited at lower temperatures. Studies have shown that MgCl_2 can cause less damage to concrete coatings compared to NaCl and CaCl_2 . Environmental consequences of the use of reagents: The use of NaCl has proven to be the most aggressive for the ecosystem, especially with regard to plant growth. Studies have shown that NaCl has the most significant negative effect on plants, reducing their growth. CaCl_2 and MgCl_2 demonstrated a less pronounced effect on vegetation, especially at low concentrations. In particular, the 10% MgCl_2 solution had minimal effect on plants, which makes it a more environmentally friendly choice. The use of a combination of chlorides such as CaCl_2 and MgCl_2 with inhibitors can minimize the impact on human health, as well as reduce dust on roads. Application of alternative methods: Combined reagents, such as mixtures of chlorides and biodegradable substances, have shown promising results in reducing environmental impacts and increasing the effectiveness of deicing treatment. Mechanical methods (sand, crushed stone, snow plows) remain effective in improving traction but do not actively melt ice. These methods are instrumental in combination with chemical reagents. Economic efficiency: In terms of economic efficiency, NaCl is the cheapest and most affordable reagent, but its use requires large volumes and may be less effective in extreme climatic conditions. CaCl_2 and MgCl_2 , despite their high efficiency at low temperatures, are more expensive, which limits their mass use, especially in regions with mild climates.

Conclusions. The results of the study show that the choice of de-icing materials depends on many factors, including climatic conditions, the cost of reagents, and the environmental consequences of their use. NaCl remains the most economical and affordable option for most regions, but its effectiveness decreases at low temperatures and significantly impacts the ecosystem. CaCl_2 and MgCl_2 are more effective in extreme frosts and have a smaller environmental footprint than NaCl, but their high cost limits widespread use. To mitigate the impact on the environment, it is recommended that combinations of deicing agents be utilized to advance the development of new environmentally friendly alternatives. Mechanical methods and heating systems can be an effective complement to chemical reagents, especially in conditions where reducing the impact on infrastructure and the environment is required. Thus, in order to increase the effectiveness of the de-icing treatment of roads, it is necessary to consider the balance between economic feasibility, environmental safety, and operational characteristics of various reagents and methods.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgments. This research is funded by the authors' own funds.

"Notification of the use of generative AI and technologies using it in the process of writing the manuscript". The authors did not use tools of artificial intelligence services in the preparation of this paper.

References

- Pshembaev M.K., Kovalev Ya.N., Yaglov V.N., Girinsky V.V. Methods for Prevention of Winter Slippery. Science & Technique. 2020, No.19(3), pp.230-240. (In Russ.) <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-3-230-240>
- Xu, S.; Zhou, Z.; Feng, L.; Cui, N.; Xie, N. Durability of Pavement Materials with Exposure to Various Anti-icing Strategies. Processes 2021, No.9, p.291. <https://doi.org/10.3390/pr9020291>
- Kenzhebayeva, A., Bakbolat, B., Sultanov, F., Daulbayev, C., & Mansurov, Z. (2021). A Mini-Review on Recent Developments in Anti-Icing Methods. Polymers, No.13(23), p.4149. <https://doi.org/10.3390/polym13234149>
- Novotny EV, Murphy D, Stefan HG. Increase of urban lake salinity by road deicing salt. Science of the Total Environment. 2008, No.406(1-2), pp.131-144. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.037
- Denby BR, Ketzler M, Ellermann T, Stojiljkovic A, Kupiainen K, Niemi JV, et al. Road salt emissions: A comparison of measurements and modelling using the NORTRIP road dust emission model. Atmospheric Environment. 2016, No.141 pp.508-522. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.027
- Durickovic I., 'NaCl Material for Winter Maintenance and Its Environmental Effect', Salt in the Earth. IntechOpen, Mar. 25, 2020. doi: 10.5772/intechopen.86907.
- Barbier L. Dynamique des flux de fondants routiers et influence sur la pollution routière au sein d'un bassin de rétention-décantation [thesis]. Nancy: Université de Lorraine; 2019
- Benbow, Mark & Merritt, Richard. (2005). Road Salt. 10.1002/047147844X.wq831
- Fraj, M.; Bednarczyk, P. Can Winter Road De-Icing Affect Mortality of Organisms in Aquatic Ecosystems? An Experimental Approach. Water 2021, 13, 2524. <https://doi.org/10.3390/w13182524>
- Nizhny Novgorod State Technical University. (2019). Winter road maintenance. Retrieved from <https://fdp.nntu.ru/books/Zimnee%20soderjanie%20dorog/files/assets/basic-html/page211.html>
- Fay, G., Volkening, S., Gallaway, M., & Shi, L. (2012). Evaluation of alternate anti-icing and deicing compounds using sodium chloride and magnesium chloride as baseline deicers. Western Transportation Institute. Retrieved from <https://westerntransportationinstitute.org/> Oxford Academic Article on Chemical Deicing:
- Xiang Li, Benoit Van Aken, Erica Mckenzie, Huichun Zhang, Bechara Abboud, William Davenport, Evaluating the environmental impact of selected chemical de-icers, Transportation Safety and Environment, Volume 1, Issue 3, 12 December 2019, pp.220–229, <https://doi.org/10.1093/tse/tdz015>
- Peters, A., & Riemer, J. Magnesium chloride in road deicing: A critical review. Transportation Science and Engineering, 2019, No.1(3), pp.220-233. Oxford University Press. <https://www.peterschemical.com/magnesium-chloride-as-a-road-deicer-a-critical-review/>
- Wu D., Jin L., Leng Y., Hu M., Bi R., Tang L., Gao Z., Yang G. A Full-Scale Field Experiment to Study the Hydrothermal Behavior of the Multilayer Asphalt Concrete Pavement in Cold Regions. Constr. Build. Mater. 2021, No.267, pp.121–855. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121855
- Ružinskas, Andrius & Bulevičius, Matas & Sivilevičius, Henrikas. (2016). Laboratory investigation and efficiency of deicing materials used in road maintenance. Transport. No.31, pp.147-155. 10.3846/16484142.2016.1190787.
- Nikishina A.P., Bazarov R.T. The effect of deicing materials on vegetation in the fight against winter slipperiness. Innovative science. 2022. – № 6-2. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-protivogolodnyh-materialov-na-rastitelnost-pri-borbe-s-zimney-skolzkostyu/viewer>

Information about authors

Khafiz K.N. – Doctoral's student, Department of Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. kairat_40@mail.ru, ORCID:0009-0003-9364-7902, +7 7074324453

Khafizov A.N. – Master's student, Department of Industrial and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. azamat_khafizov01@mail.ru ORCID:0009-0008-3415-0804, +7 700 654 10 50

Mukhambetkaliyev K.K. – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of New Technologies JSC "Kazakhstan Road Research Institute", Astana, Kazakhstan. K.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz, ORCID:0009-0003-9364-7902, +7 7074254453

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_263
MFTAA 67.01.51

Ш.Е. Шонбасова¹, Г.С. Абиева²

Халықаралық білім беру корпорациясы ХББК (ҚАЗБСҚА кампусы), Алматы қ, Қазақстан

¹E-mail: shaxida2007@mail.ru*

²E-mail: guldana1967@mail.ru

**«ҚАЛАЛЫҚ ЖЫЛУ АРАЛДАРЫНЫҢ» АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ ДАМУЫНА ӘСЕР ЕТУІ
ВЛИЯНИЕ «ГОРОДСКИХ ОСТРОВОВ ТЕПЛА» НА РАЗВИТИЕ ГОРОДА АЛМАТЫ
INFLUENCE OF «URBAN HEAT ISLANDS» ON THE DEVELOPMENT
OF THE ALMATY CITY**

Аңдатпа. Климаттың өзгеруі, жылдам урбанизация және басқа да қозғаушы факторлардың әсерінен ғимараттардағы жаһандық энергия тұтыну тұрақты өсіп келеді. Қазіргі уақытта тұрғын және қоғамдық ғимараттарды жобалау кезінде қалалық жылу торабының мәселесіне, қалалық ортаның тығыз дамуы кезінде ауаның ластануына жеткілікті назар аударылмайды, адамдардың өмірін бейімдеу үшін шешімдердің кешенді тәсілін жасауды қажет етеді. Қоғамның энергияға деген қажеттілігін қанағаттандыру енді жеткіліксіз, ғимараттардың энергия тиімділігін арттыруға, сондай-ақ, қоршаған ортаға және басқа да әсерлерді азайтуға қатаң талаптар қоятын тұрақты дамуының жоғары мақсаттарына қол жеткізу қажет. Климаттық жағдайлар, ғимараттардың энергия тиімділігі мен қала жайғасымы бір-бірімен тығыз байланысты деген болжамға сүйене отырып, көптеген соңғы отандық және шетелдік зерттеулер, сонымен қатар, құрылыс деңгейінде емес, қала масштабында құрылыс энергиясының тұтынуын аудан картасына салу қажеттілігін көрсетті.

Қалалық жылу аралы (ҚЖА) салқындату қажеттілігін арттыру және жылу қажеттілігін азайту арқылы ғимараттың энергия тұтынуына айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Дегенмен, ҚЖА әсерінен туындаған температураның өзгеруін сандық бағалауға және ғимараттың энергия тұтынуын бағалауға байланысты қиындықтарға байланысты ҚЖА-ның ғимараттың энергия тұтынуына әсері жақсы зерттелмеген. Бұл мақалада тұрғын үй және өнеркәсіптік құрылыс құрылыстың энергия тұтынуына ҚЖА әсерін түсінуді жақсарту үшін бар ғылыми әдебиеттер, ғылыми жұмыстарды қарастырдық. ҚЖА салқындату энергиясын тұтынудың 19,0 %-ға өсуіне және жылу энергиясын тұтынудың 18,7 %-ға төмендеуіне өкелуі мүмкін екендігі анықталды.

Түйін сөздер: микроклимат, климаттың өзгеруі, қалалық жылу аралы (ҚЖА), температура, ылғалдылық, желдің жылдамдығы, ауаның ластануы, ауа айналымы, экологиялық бақылау.

Аннотация. Глобальное потребление энергии в зданиях неуклонно растет из-за быстрой урбанизации, изменения климата и других движущих факторов. В настоящее время при проектировании зданий проблеме городских теплосетей, загрязнению воздуха в условиях плотной застройки городской среды уделяется недостаточно внимания, необходимо создавать комплексный подход к решениям по адаптации жизни людей. Уже недостаточно удовлетворяют потребности общества в энергии, необходимо делать это, достигая при этом все более высоких целей устойчивого развития, которые предъявляют все более строгие требования к повышению энергоэффективности зданий, а также снижению воздействия на окружающую среду и других последствий. Исходя из предположения, что климатические условия, энергоэффективность зданий и городская планировка строго связаны друг с другом, многие недавние исследования также продемонстрировали необходимость картирования энергопотребления зданий в масштабе города, а не на уровне здания.

Городской остров тепла (ГОТ) может оказать значительное влияние на энергопотребление здания за счет увеличения потребности в охлаждении и снижения потребности в отоплении. Однако влияние ГОТ на энергопотребление здания было недостаточно изучено из-за проблем, связанных с количественной оценкой изменения температуры, вызванного ГОТ, и оценкой энергопотребления здания. В этой статье мы рассмотрели существующую литературу для

улучшения понимания влияния ГОТ на энергопотребление здания. Было обнаружено, что ГОТ может привести к увеличению потребления энергии на охлаждение на 19,0 % и снижению потребления энергии на отопление на 18,7 %.

Ключевые слова: микроклимат, изменение климата, городской остров тепла (ГОТ), температура, влажность, скорость ветра, загрязнение воздуха, циркуляция воздуха, экологический контроль.

Abstract. Global energy consumption in buildings is steadily increasing due to rapid urbanization, climate change and other driving factors. Currently, when designing buildings, insufficient attention is paid to the problem of urban heating networks and air pollution in a densely built urban environment; it is necessary to create an integrated approach to solutions for adapting people's lives. It is no longer enough to satisfy the energy needs of societies, but it is necessary to do this while meeting overreaching sustainable goals which impose ever so stricter requirements for efficiency improvements, and environmental and other impact reductions. Based on the assumption that climate conditions, building energy efficiency and urban design are strictly related to each other, many recent studies have also demonstrated the need to map building energy consumption at the city scale rather than at the building level.

An urban heat island (UHI) can have a significant impact on a building's energy consumption by increasing cooling demand and decreasing heating demand. However, the effect of UHI on building energy consumption has not been well studied due to the challenges associated with quantifying the temperature change caused by HOT and estimating building energy consumption. In this research, we reviewed the existing literature to improve the understanding of the impact of HOT on building energy consumption. It was found that HOT can lead to a 19.0% increase in cooling energy consumption and an 18.7% decrease in heating energy consumption.

Keywords: microclimate, climate change, urban heat island (UHI), temperature, humidity, wind speed, air pollution, air circulation, environmental control.

Kipicne. Бұл мақалада климаттың өзгеруі және урбанизация саласындағы зерттеулерді талдау негізінде «Қалалық жылу аралының» Алматы қаласының дамуына әсер ету нәтижесі қарастырылады. Жұмыс барысында шетелдік дереккөздер де талданды.

Қала тұрғындарының саны жыл сайын тез өсіп келеді. «Еңбек ресурстарын дамыту орталығы» АҚ болжамы бойынша 2030 жылға қарай қала халқы 5 млн адамға жетеді, Алматы қаласы метрополиске айналады (Байкулаков, 2022).

Қала халқының өсуі сөзсіз құрылыс тығыздығының айтарлықтай өсуіне әкеледі. Тығыз құрылыс, тар көшелер, биік ғимараттардың массивтері мезоклиматқа зиян келтіреді.

Қалалық ортаның деградациясы жүріп жатыр. Егер біз ғимарат ішіндегі қолайлы микроклимат жағдайларын қамтамасыз ету үшін ішкі жүйелерді сәтті жобалай алсақ, сыртта тиімді микроклиматты да жасай аламыз ба?

Біріккен Ұлттар Ұйымының бағалауы бойынша, 2050 жылға қарай қалалық жерлерде тұратын халықтың үлесі өсіп, бүкіл әлем халқының шамамен 70 %-на жетеді (2014 жылы 54 %).

Әдеби шолу. Қалалық жылу аралы (ҚЖА) – ХХІ ғасырда урбанизация мен индустрияландыру нәтижесінде адамзат тап болған күрделі мәселе. «Жылу аралын» 1818 жылы әйгілі ғалым Люк Ховард ашты, ол Лондонның орталығында және одан тыс жерлерде ауа температурасын өлшеп, Лондон дамымаған ауылдық жерлерге қарағанда жылы деген қорытындыға келді (Mills, 2006). Содан кейін «жылу аралдары» барлық дерлік мегаполистерде табылды.

Леонард о. Майруп 1969 жылы қалалық жылу аралының салдарын болжау үшін алғашқы кешенді сандық өңдеуді жариялады (Rutledge & McDaniel, 2023). Оның мақаласы жылу аралын қарастырады және сол кездегі аудандарды тым сапалы деп сынайды. Сандық модель сипатталған және қалалық атмосфераға қолданылады. Бірнеше ерекше жағдайларға арналған есептеулер, сондай-ақ сезімталдықты талдау ұсынылған. Модель қалалық температурадан асып кетудің дұрыс тәртібін болжайтыны анықталды.

Жылу аралының әсері бірнеше бәсекелес физикалық процестердің таза нәтижесі екендігі анықталды. Жалпы, қала орталығындағы буланудың төмендеуі және қалалық құрылыс және жол материалдарының жылу қасиеттері басым параметрлер болып табылады. Бұрын қаладағы температураның кеңістіктік гетерогенділігі негізінен жергілікті климаттық аймақтардың ауысуымен байланысты деп есептелді – жер бетінің біртекті түрі бар учаскелер және алғашқы жүз метрге жуық даму. Бірақ мұндай аймақтардың әрқайсысы бүкіл қала бойынша жылу аралының қалыптасуына өз үлесін қосатыны белгілі болды.

Мұны синергетикалық әсермен салыстыруға болады, мұнда бірнеше факторлардың өзара әрекеттесу нәтижесі сол факторлардың әсерінен болатын әсерлердің қосындысынан күштірек болады.

Жақында UNSW Sydney-де жүргізілген зерттеу Сауд Арабиясының астанасы Эр-Риядтағы жоғары температураны $4,5^{\circ}\text{C}$ дейін төмендету үшін инновациялық стратегияны ұсынады (Santamouris, Falasca, & Siani, 2024).

Материалдар мен зерттеу әдістері. Бұл мақалада соңғы 20 жылдағы демографиялық және метеорологиялық ресми мәліметтерді салыстыру, статистикалық талдау әдістері қолданылды. Сонымен қатар, ғимараттар мен автокөлік жолдарының қоршау құрылымдарының сыртқы беттерінің температурасын қашықтықтан өлшеуге таянған термобейнелеу әдісі де қолданылды.

Алматы қаласының тозығы жеткен тұрғын үй қорының жағдайы талданды. Алматыда тұрғын үй қорының Қазақстанда 2012 жылдан бері қолданыстағы энергия тиімділігінің заманауи талаптарына сәйкестік дәрежесі зерттелді, және де шетелдік ғылыми жұмыстар зерттеліп, қамтылды (Есимов, 2023).

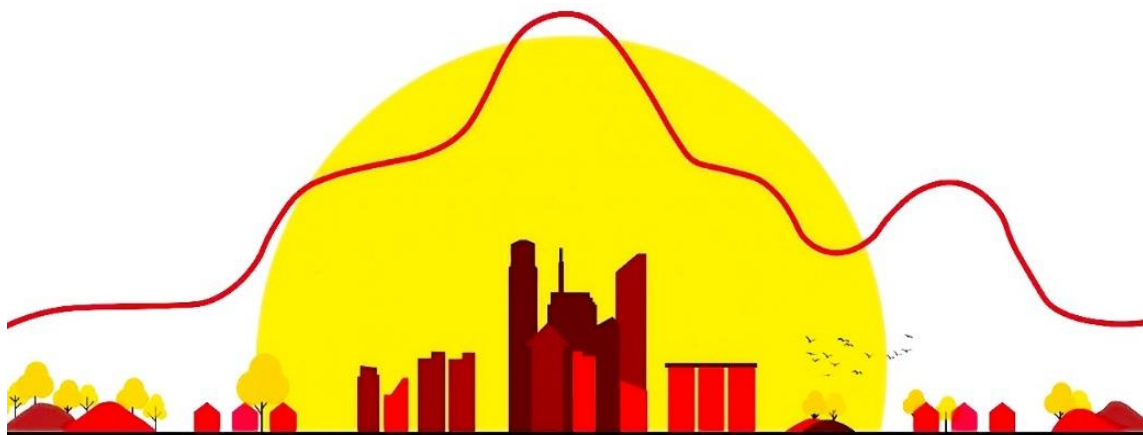
Нәтижелері және оларды талқылау. Қалалық жылу аралдары (ҚЖА) қоршаған ауылдық жерлердегі температурамен салыстырғанда қалалық жерлерде айтарлықтай жоғары температураның болуы ретінде анықталады. Қалалық жылу аралдары қыс пен жаз айларында, әсіресе түнде және желдің төмен деңгейінде көбірек байқалады.

Қала орталықтары көбінесе қоршаған, аз дамыған аудандарға қарағанда бірнеше градусқа жылы болады. Күні бойы бұл температура айырмашылығы Фаренгейт бойынша $1,8^{\circ}$ -тан $5,4^{\circ}$ -қа дейін болуы мүмкін. Кешке бұл айырмашылық Фаренгейт бойынша 20 градусқа дейін артуы мүмкін. ҚЖА-ның жоғары температурасы адамның іс-әрекетіне, әсіресе жер бетінің өзгеруіне байланысты болуы мүмкін. Қала құрылысы шатыр мақсаттары үшін және тротуарлар мен жолдарды төсеу үшін цемент пен асфальттың едәуір мөлшерін пайдалануды талап етеді. Бұл материалдар ауылдық жерлерде кездесетін беттерге қарағанда күн радиациясын көбірек сіңіретін жылу қасиеттеріне ие. Сонымен қатар, бұл материалдар әртүрлі беттік радиациялық қасиеттерге ие, яғни олар энергияны жылу сәулесі немесе жылу түрінде шығарады.

Осы мақалада жұмыс барысында 2000 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңдегі «Қазгидромет» метеорологиялық деректер базасына, Қазақстанның соңғы жылдардағы демографиялық статистикасының деректеріне талдау жүргізілді. Талдау нәтижесінде Алматы қаласында, әр 10 жыл сайын ауа температурасы $0,3^{\circ}\text{C}$ -қа көтеріледі. Метеорологиялық бақылаулардың ең жылы кезеңдері 2013 және 2023 жылдары болды.

Қалалық «жылу аралының» (ҚЖА) пайда болу себептері. Үлкен қала өзінің микроклиматын жасайды (1, 2-суреттер), онда температура, ылғалдылық және желдің жылдамдығы шеткі параметрлерден айтарлықтай өзгеше болуы мүмкін. Бұдан басқа, Алматы қаласы ойпатта орналасқан, қолайсыз топографиясы бар, бұл қала атмосферасында қоспалардың жиналуына ықпал етеді (Amos, 2023). Сондай-ақ, бүгінгі күні қаланың инфрақұрылымы: бетон, кірпіш, асфальт, болат, шыны (көбінесе өте қараңғы түстер) сияқты материалдардан жасалғанын ескеру маңызды – бұл материалдардың барлығы жылуды сіңіріп, оны қоршаған ортада ұстап, жылу аралын жасайды.

Атмосферадағы ауа күнмен тікелей қызбайды, бірақ жер бетінен шыққан жылуды сіңіре бастайды. Күн энергиясы жер бетіне жеткенде, оның бір бөлігі қайтадан ғарышқа шағылысады, ал көп бөлігі жер бетіне сіңіп, жылуға айналады. Жердің ыстық бетімен жанасатын ауа қызады және көтеріледі, бұл жылуды атмосфераға таратады. Бет неғұрлым көп қызса, соғұрлым ол қоршаған ортаға жылу шығарады. Бұл ауа температурасының жоғарылауына әкеледі.



1-сурет. Қалалық жылу аралының әсері (өнеркәсіптік нысандар мен ғимараттар шоғырланған жерлерде ең жоғары мәнге ие)

Ескерту. Авторы құрастырған (Шонбасова, 2024)

Алайда, жер сіңірген барлық күн энергиясы ауа температурасын көтеруге кетпейді, оның көп бөлігі өсімдіктерді фотосинтездеуге және жерді салқындату үшін көлдер мен өзендердегі судың булануына кетеді.

Енді күн энергиясы қалалық және ауылдық жерлерге түскенде не болатынын салыстырайық? Екі аймақ та күн энергиясын бірдей шағылыстырады және сіңіреді, бірақ маңызды айырмашылық бар.



2-сурет. Қалалық және ауылдық жерлердегі жер қыртысы температурасының өзгеруі

Ескерту. Авторы құрастырған (Шонбасова, 2024)

Ауылда күн энергиясы булану үшін пайдаланылатын көптеген өсімдік беттері бар, бұл жер бетінің салқындауына әкеледі.

Қалада жер су өткізбейтін бетпен жабылған, жаңбыр суы дереу кәрізге шығарылады, осылайша қалада су аз болады және күн энергиясының барлығы дерлік бетті жылытуға кетеді. Жер бетінің бетон конструкциялары судың жерге енуіне жол бермейді, дәл осы жерде су циклінің бұзылуы орын алып, ұзақ мерзімді климатқа кері әсерін тигізеді.

Бұл дегеніміз, күндіз қаладағы ауа анағұрлым көп қызады, тіпті күн батқан кезде беттер жылу шығара береді, оларды салқындату үшін көп уақыт қажет. Сонымен қатар, ғимараттар жылу сәулеленуі кедергілерде қалуы мүмкін қалалық каньондарды құруға қабілетті, өйткені беттер бір-біріне жылуды көрсетеді. Сондықтан түнде қалалық жылу аралының әсері ең көрнекті болып табылады (Amos, 2023).

Қаланың айналымы және ауаның ластануы. Биік ғимараттар ауа айналымына кедергі келтіруі мүмкін: ауаны салқындататын желді бұру немесе баяулату. Сондай-ақ, адамның іс-әрекеті жылуды өздігінен тудырады, мысалы, ғимараттардағы жылыту және ауаны баптау. Кондиционерлеу принципінің өзі бөлмеден жылы ауаны алып, оны сыртқа шығару болып табылады, бұл қатал шеңбер жасайды, өйткені қаладағы ауа неғұрлым ыстық болса, соғұрлым көп адамдар кондиционерлерді қосады және бұл қосымша жылуға әкеледі. Бұнда белгілі бір парадокс бар: бір жағынан, ауа температурасының жоғарылауы қыста ғимараттарды жылытуға жүктемені азайтады, ал екінші жағынан, жазда ғимараттарды салқындату жүктемесі артады.

Сондай-ақ, «жылу аралдары» мен қаладағы ауаның ластану деңгейі арасында өте күрделі байланыс бар. Зерттеулер көрсеткендей, «жылу аралы» ауаның ластануын негізінен 2 себепке байланысты арттырады:

1-жылу белгілі бір ластанушы заттардың пайда болуына ықпал етеді;

2-«жылу аралындағы» ауа көтеріліп, айналасындағы өндірістік аймақтардан ластанған ауамен араласады.

Қалалық «жылу аралы» (ҚЖА) салдары. Жылу аралының құбылысы көптеген жағымсыз салдарға ие, олардың негізгілері:

- ауаның ластануы;
- жылыжай газдардың пайда болуы;
- энергия тұтынудың өсуі;
- адам денсаулығының нашарлауы;
- су сапасының төмендеуі.

Экологиялық мониторинг нәтижелеріне сәйкес, Алматы қаласы атмосфералық ауадағы суспензияланған бөлшектер деңгейі бойынша әлемдегі ең ластанған 5 қаланың қатарына кіреді. Ғылыми деректер бойынша, 2020-2021 жылдың қысында Алматыда «таза» күндер болған жоқ: 88 күн ішінде (зерттелген 90 күннің ішінде) орташа тәуліктік концентрация ДДҰ-ның тәуліктік нормасынан асып түсті (1 м³-ге 15 микрограмм). Бұл таза ауа екі күн ғана болғанын білдіреді (24.01.2021 және 25.02.2021) (Есимов, 2023).

2022 жылғы желтоқсанда Алматы қаласында «Қазгидромет» РМК деректері бойынша РМ 2.5 (170.9 µg/m³) ұсақ дисперсті шаңның мөлшері ДДҰ ұсынған ауа сапасының орташа жылдық мәнінен 34 есе асып түсті, бұл өте зиянды (Есимов, 2023). Алматының ауасын негізгі ластанушы заттардың бірі автокөлік болып табылады. Қалада күн сайын 700 мың көлік жүреді, яғни қалаға 1 миллионға жуық адам кіріп-шығады.

Жаһандық жылынудың «жылу аралдарына» әсері. Жаһандық жылыну аясында «жылу аралдарының» әсерінің болуы оданда өзекті мәселе болып табылады. Назарбаев университетінің ғалымдар тобы 2022 жылғы наурыз айында зерттеу жүргізіп, оның барысында экватордан неғұрлым алыс болса, температура соғұрлым тез көтерілетіні анықтады. Егер жаһандық температура 2 °C-қа, Қазақстанда 3 °C-қа көтерілсе, зерттеудің математикалық моделі Қазақстанда алдағы 25 жыл ішінде температура қазіргі орташа көрсеткіштен 2-3 °C-қа көтеріледі деп болжайды (Wang, 2021).

Қаладағы жоғары ауа температурасы денсаулық сақтау үшін ғана емес, инфрақұрылым нысандары үшін де қауіпті. Соңғы 30 жылдағы жылу аралының әсері климаттың табиғи өзгеруімен салыстырғанда қалалық ауа температурасын 50 %-ға арттырады. Егер қалада климаттың 2 °С жылынуы байқалса, онда тұрғындар жылу аралының әсерінен қала жылуынан қосымша 1 °С күте алады (Wang, 2021).

Көптеген қалалық жерлерде өсімдіктер сияқты жасыл жамылғы жоқ. Өсімдіктер су айналымының маңызды кезеңі болып табылатын булануды жасауға көмектеседі. Булану кезінде екі алмасу жүреді: булану және транспирация. Буланған кезде су топырақтан, ағаш шырғарынан және су қоймаларынан қоршаған ауаға буланып кетеді. Транспирация кезінде өсімдік құрамындағы су өсімдік жапырақтарының саңылауы арқылы бу түрінде жоғалады.

Жалпы булану процесі қоршаған ауаны салқындатуға көмектеседі. Қалаларда ауылдық жерлерге қарағанда жалпы булану деңгейі төмен болып қана қоймайды, сонымен қатар оларда салқындатқыш көлеңке аймағы аз және көмірқышқыл газының шығарылуы төмендейді (температураның жоғарылауына ықпал ететін жылыжай газ).

Зерттеу кезінде қалалық «жылу аралдары да» қалалық каньонның әсерінен болатыны анықталды. Бұл күн сәулесін шағылыстыру және сіңіру үшін көптеген беттерді қамтамасыз ететін жақын маңдағы биік ғимараттарға байланысты. Сонымен қатар, бұл ғимараттар желдің қала арқылы өтуіне жол бермейді. Жел еркін ағып кетпейтін жерде конвекциялық салқындату болмайды және ауаның ластануы тоқтап, ұлғаюы мүмкін. Күн сәулесінің сіңуімен шағылысуының жоғарылауы, ластанудың жиналуы және конвекциялық салқындатудың болмауы қоршаған ортаның температурасын көтеру үшін бірге жұмыс істейді. Оқиғалардың осы тіркесіміне байланысты қала температурасы көтерілгендіктен, қаладағы озон деңгейі де жоғарылайды.

Температураның көтерілуінен басқа, қалалық «жылу аралдары» жергілікті ауа-райына да әсер етеді. Ауа-райының кейбір өзгерістеріне мыналар жатады: жауын-шашын деңгейі, бұлттылық, тұманның болуы, ылғалдылық деңгейі және желдің табиғаты. Жауын-шашын мен найзағай белсенділігінің жоғарылауы жоғары температура қоршаған ауаның жоғары қозғалысына әкелетіндіктен орын алады. Бұл жоғары қозғалыс қала орталығынан 20 және 40 миль жел арасында ең үлкен әсер етеді, мұнда жауын-шашын қала орталығындағы желге қарағанда 28 % жоғары болуы мүмкін.

Күндізгі уақытта қалалық жылу аралдары төмен қысымға ұшырайды, бұл жақын маңдағы ауылдық жерлерден ылғалды ауа жинауға мүмкіндік береді. Бұл ылғалды ауа ыстық қалалық ауаға қарсы тұрады және бұлт пен жоғары ылғалдылықты жабу үшін тамаша жағдай жасайды.

Қалалық климат, алайда, қалалық жылу аралында турбулентті араласуға байланысты торнадо белсенділігінің төмендеуіне ұшырайды. ҚЖА-ның тағы бір әлеуетті артықшылығы- олар жақын аудандарда вегетациялық кезеңдерді ұлғайту үшін жұмыс істейді. Мысалы, кейбір зерттеулер қала шегінен шамамен 6,2 миль қашықтықта орналасқан өсіп келе жатқан аудандар орта есеппен 15 күнге созылатынын көрсетті.

Кейбір жағдайларда ҚЖА жануарларды өздеріне көбірек тартады. Бұл әсіресе құмырсқалар, қарапайым геккондар және ұшатын түлкі сияқты отарлаушы түрлерге қатысты. Мысалы, жақында Австралияның Мельбурн қаласына сұр басы бар ұшатын түлкі пайда болды, бұл қала шегінде жылу индексінің жоғарылауына байланысты. Бұл температураның жоғарылауы қаланың қысқы климатын солтүстік аймақтардағы түрлердің тіршілік ету ортасына ұқсас етті. Басқа жағдайларда, ҚЖА қала ішіндегі азық-түлік пен сумен қамтамасыз етуге теріс әсер етеді. Мысалы, қалалық ғимараттардың беткі температурасы қоршаған ауаның температурасынан едәуір жоғары. Жаңбыр осы әлдеқайда ыстық ғимараттардан ағып, процесте жылынады. Бұл жылы ағын жақын

мандағы ағындарға, өзендерге, көлдерге және басқа су объектілеріне өтеді. Қыздырылған ағын осы су объектілеріне түскенде, ол олардың температурасын да арттырады. Бұл термиялық ластану деп аталады және ол судың температурасын Фаренгейт бойынша 20-30 градусқа дейін арттыруы мүмкін. Термиялық ластану жергілікті балық популяцияларына теріс әсер етеді, нәтижесінде жылу соққысы пайда болады.

ҚЖА-дағы вегетациялық кезең жиі ұзаратындықтан, бұл жануарлардың басқа түрлеріне де әсер етеді. Диетаның ажырамас бөлігі ретінде белгілі бір өсімдіктерге сүйенетін жануарлар өздерінің табиғи көбею маусымдарын өсімдіктердің өсу маусымына бейімдей бастайды. Бұл өз кезегінде аймақтағы өсімдіктер мен жануарлардың басқа түрлеріне тізбекті реакция тудырады. ҚЖА қоршаған орта мен жергілікті жабайы табиғаттың денсаулығына ғана емес, адамдардың денсаулығына да әсер етеді. Жаздың аптап ыстығында, әсіресе егде жастағы адамдар үшін, қаладағы жоғары температура өлімге әкелуі мүмкін. Тек АҚШ-та жыл сайын орташа есеппен 1000 адам қатты ыстықтан қайтыс болады, бұл ҚЖА-ның есебінен экспоненциалды түрде артады. Қала тұрғындары жылу кезінде де зардап шегеді, өйткені қалалық жылу аралы ауылдық жерлердегідей түнгі температураның төмендеуіне жол бермейді. Зерттеулер көрсеткендей, ҚЖА жылу толқындары кезінде температураны көтеріп қана қоймайды, сонымен қатар олардың ұзақтығын ұзартады.

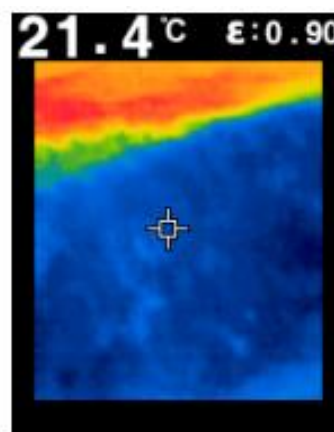
Төтенше температура жылу тарылуына, жылу соққысына және жылудың сарқылуына әкеледі. Жылу соққысы тыныс алудың бұзылуына, қозғалғыштығының бұзылуына немесе хабардарлықтың төмендеуіне әкелуі мүмкін. Паркинсон ауруы немесе деменция диагнозы сияқты қазірдің өзінде сезімтал денсаулық жағдайлары бар адамдар жылу толқындары кезінде когнитивті функцияның айтарлықтай бұзылуына әсіресе сезімтал. Сонымен қатар, қант диабеті, семіздік, астма, ұйқының болмауы немесе жүрек-қан тамырлары аурулары бар адамдарға жылы аймақта болу ұсынылады. Мұндай жағдайларда термиялық әсер симптомдарды күшейтуі мүмкін. Егер ыстыққа байланысты осы жағдайлар өте ауыр болса, органдардың тұрақты зақымдануы мүмкін. Егер адам ағзаның тұрақты зақымдануымен қатты ыстықты бастан кешірсе, оның ерте өлім қаупі жоғары.

Біз қазірдің өзінде төтенше жағдайға тап болдық, тіпті климаттың өзгеруі бүгін тоқтаса да, біз қазірдің өзінде жасалған нәрселердің салдарынан зардап шегетін боламыз. Сондықтан, үлкен мәселе – бейімделу, қаланы өмір сүруге қалай қолайлы ету туралы шешім қабылдау, өйткені температура көтеріледі. Қалада «жылу аралының» әсерін азайту стратегиясын енгізу қажет. Жылу аралдары жергілікті климат пен география қаланың қалыптасуына да әсер етеді. Климат желге және бұлттардың болуына әсер етеді. География жер бедері ауа массаларының қозғалысына да әсер етеді. Қалалық түрі, оның ішінде ғимараттардың өлшемдері мен аралықтары олар қалалық жылу аралдарының пайда болу тәсілдеріне әсер етеді. Үлкен ғимараттар көлеңке жасай алады және күн радиациясының деңгейін төмендетеді. Бірақ ғимараттар арасында радиация пайда болған кезде олар көбейеді. Күн радиациясын сіңіретін беттердің ауданы түнде жылы қалалық шатырларда ғимараттардың төбесінде салқын ауа қабатымен ұсталады. Осылайша, түнде табиғи салқындау болмайды.

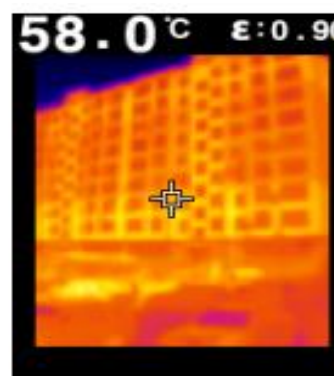
Қазіргі мегаполисте не бар екенін ескеру қажет, ауадағы көміртегі оксидінің мөлшері айтарлықтай асып кетті, көмірқышқыл газы және аэрозоль шығарындылары, нәтижесінде температураның инверсиясы пайда болады. Урбанизацияланған ортаның минералдануы негізгі болып табылады жылу аралдарының қайнар көзі, сондықтан бұл беттерді азайту ең маңызды стратегия болып табылады. 3-5-суреттерде әртүрлі термиялық түсірілім нәтижелері урбанизацияланған ортаның беттері келтірілген.



3-сурет. Автожолдардың жылу түсірілімі. Маусым. 14:00 сағ
Ескерту. Авторы құрастырған (Шонбасова, 2024)



4-сурет. Көгал жабынының жылу түсірілімі. Маусым. 14: 00 сағ
Ескерту. Авторы құрастырған (Шонбасова, 2024)



5-сурет. Ғимараттарды жылулық бейнелеу. Маусым. 14: 00 сағ
Ескерту. Авторы құрастырған (Шонбасова, 2024)

Қалалық минералдануды азайтудың негізгі аспектілеріне кеңістікті, ең алдымен, жүру бөлігінің енін және тұрақ орындарының санын азайту, сондай-ақ жерасты кеңістігін құру керек немесе көп деңгейлі автотұрақтар, жер үсті автотұрақтары мен алаңдарын қорғау жұмыстары жүргізілуі керек (Sagybekova, Kiyalbay, & Nauruzbayev, 2022).

Шетелдік тәжірибелік зерттеулерді шолу ғимараттың ең жоғары электр жүктемесі ауа температурасының 1 °C-қа жоғарылауы нәтижесінде 4,6 %-ға дейін артады, ал жалпы электр энергиясын тұтынудың сәйкес өсуі 8,5 %-ға бағаланады (Королева, Шайдаков & Целищев, 2023).

Жаһандық өзгерістерді бағалау моделінің (GCAM) нәтижелерін пайдалана отырып, Ю. Чжоу және басқа ғалымдар (Zhou, Yu, Jia & Li, 2019) осы ғасырдың соңына қарай АҚШ пен Қытайдағы құрылыс секторында энергия тұтынудың 6 %-ға төмендеуі, бірақ салқындату энергиясын тұтынудың 20-35 % (АҚШ) және 37-41 % (Қытай) артуы мүмкін екенін анықтады. Қазіргі уақытта, «қалалық жылу аралы» (ҚЖА) орналасқан жері мен көлеміне қарамастан қалаларда байқалатын дүниежүзілік құбылыс. ҚЖА ғимараттарды салқындату үшін энергияны тұтынуды арттырып, ғимараттарды жылыту үшін энергияны тұтынуды азайта алатыны белгілі.

UNSW Сидней университетінің жақында жүргізген зерттеуі Сауд Арабиясының астанасы Эр-Риядтағы жоғары температураны 4,5 °C-қа дейін төмендетуге арналған инновациялық стратегияны ұсынды. Ұсынылған тәсіл жоғары шағылыстыратын «супер салқын» құрылыс материалдарын пайдалануда, суару арқылы жасыл кеңістікті көбейтуді және энергияны тұтынуды азайту шараларын қамтиды (Santamouris, Falasca, & Siani, 2024).

Профессор Маттеос Сантамурис, жылуды азайту технологияларының маманы қаладағы температураны төмендетуге, салқындату қажеттілікте рін азайтуға және жалпы өмір сапасын жақсартуға озық термиялық әсер ету тактикасының әсерін көрсетеді. Ол қаладағы қатты ыстықтың жағымсыз әсерлерін, соның ішінде энергияны тұтынудың жоғарылауын және жылумен байланысты аурулар мен өлім сияқты денсаулық проблемаларын көрсетеді.

Шөлдің қақ ортасында орналасқан Эр-Риядта жазғы температура 50 °C-тан асуы мүмкін, бұл климаттың өзгеруі мен жылдам урбанизацияның әсерінен асқынады. Жылуды азайту стратегияларының тиімділігін бағалау үшін 8 түрлі сценарий бойынша 3000-нан астам қалалық ғимараттардың энергетикалық өнімділігін есептей отырып, Эр-Риядтағы Аль Масиаф аймағының ауқымды модельдеу жүргізілді. Бұл модельдеу жазда қаладағы сыртқы ауа температурасын 4,5 °C дерлік төмендетіп, салқындату энергиясын үнемдеуді 16 %-ға арттыру мүмкіндігін көрсетті.

Эр-Рияд үшін ұсынылатын салқындату стратегиясы өте суық материалдарды ғимарат шатырларына біріктіруді және транспирациялық салқындатуды күшейту үшін суармалы ағаштардың айтарлықтай өсуін қамтиды. Сондай-ақ, қалалық ортаны салқындату әдістерін дұрыс қолданбау, мысалы, суармалы жасыл кеңістіктің болмауы, қалада температураның айтарлықтай жоғарылауына әкелуі мүмкін екендігі атап өтілді (Santamouris, Falasca, & Siani, 2024).

Озық технологиялар мен жылуды азайту әдістерінің дұрыс үйлесімі қаладағы температураны төмендетіп қана қоймайды, сонымен қатар салқындату қажеттіліктерін айтарлықтай төмендетіп, тұрақты дамуға ықпал етеді. Бұл өз кезегінде тұрғындар үшін жылу жайлылығының жақсаруына, денсаулық проблемаларының төмендеуіне, ластаушы заттардың концентрациясының төмендеуіне және еңбек өнімділігінің жоғарылауына әкеледі. Сонымен қатар, зерттеу барлық 3323 ғимаратты модернизациялау шараларының энергетикалық әсерін зерттеді, бұл қала көлемінде жүзеге асырылатын жылу өндіруді азайту технологияларымен үйлеседі. Оңтайлы салқындату технологияларының ғимараттарды жаңарту нұсқаларымен үйлесуі салқындату қажеттілігін 35 %-ға төмендетуі мүмкін, бұл айтарлықтай шығындарды үнемдеуге және жергілікті халықтың өмір сүру сапасын жақсартуға әкелетіні анықталды (Santamouris, Falasca, & Siani, 2024).

ҚЖА-ның кеңістіктік ауқымы аз, өйткені ол әдетте әлемдік құрлықтың 1-3 % мөлшерінде ғана қамтитын қалалық аудандармен шектеледі. Дегенмен, ҚЖА-ның

ғимараттардың энергия тұтынуына әсері өзгеше, өйткені ғимараттардың көпшілігі мен ғимараттардың қуат тұтынуы қалалық жерлерде орналасқан. Урбанизация әдетте ҚЖА қарқындылығын арттыратындықтан, болашақта қалалар қоршаған ауылдық жерлермен салыстырғанда температураның одан да жоғары өсуін бастан кешіреді деп болжануда және бұл ғимараттардың энергия тұтынуы мен жалпы энергия сұранысының айтарлықтай өзгеруіне әкеледі (Петер, 2019). ҚЖА-дің ғимараттардың қуат тұтынуына әсерін мұқият және сандық түсіну тұрақты энергетикалық инфрақұрылымды жобалау үшін үлкен маңызға ие.

Сондықтан, келесі іс-шаралар ҚЖА мәселелердің шешімі бола алады:

1-көбірек қалалық саябақтар, бақтар жасау көбірек ағаштар отырғызу, буланудың салқындату әсерін пайдалану үшін қала орталығында су қоймаларын жасау;

2-арнайы екпелер; автотұрақтарды көгалдандыру; ғимараттарды көгалдандыру; жасыл шатырлар;

3-тірі жасыл шатырлары бар ғимараттарды жаңарту, қабырғаларды, жолдарды ак түске бояу, жылууды аз сіңіретін шағылыстыратын құрылыс материалдарын пайдалану;

4-жоғары жылу жақындаған кезде тұрғындарды ескерту, реакция жасау мүмкіндігі;

5-әрбір жаңа ғимарат өз кезегінде коммуналдық және көлік инфрақұрылымдарының қолжетімділігін, сондай-ақ қала экологиясына әсерін ескеруі тиіс қаламыздың дамуының жалпы схемасына сәйкес келуі тиіс.

Қорытынды. Бұған дейін, Қазақстан Республикасы Президенті Қасым-Жомарт Тоқаев Алматыдағы ластанған ауа мәселесі қала тұрғындары үшін ең маңызды мәселелердің бірі болып табылатындығын және дереу шешуді талап ететінін айтқан болатын.

Алматы сияқты ірі қала толық және қасақана реттеуді талап етеді. Қазір қоғамдық пен қала әкімшілігі қала құрылысының биіктігі мен тығыздығына шектеу қоюға тырысуда. Бірақ бұл тыйымдар мен шектеулер мәселені шешпейді, өйткені мұндай шектеу шараларының салдары туралы зерттеулер жоқ. Шектеулерге ғылыми көзқарас пен мұқият жоспарлау қажет.

Қаланы дамытудың оңтайлы схемасын әзірлеу кезінде барлық аспектілердің әсерін жан-жақты зерттеу үшін атмосфералық ауаның математикалық модельдерін, энергетика, көлік модельдерін жасау қажет.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- A. Sagybekova, S. Kiyalbay, A. Kiyalbaev, A. Nauruzbayev (2022) Substantiation of application technology of hygroscopic materials for dust prevention of roads with the lowest type of surfaces. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Tom 4. – Vol. 6-118. – P. 67-77.
- Christos N. Markides (2024). Applied thermal engineering, Imperial College London, London, UK. – Vol.242, Article 122726 (Scopus)
- G. Mills (2006) The Climate of London. Vols. 1-3. Harvey and Dorton. – 1002 pp.
- J. Amos (2023) HotSat-1: Spacecraft to map UK's heat inefficient buildings, <https://www.bbc.co.uk>
- L.O. Myrup, N.Motallebi, T.A. Cahill (2009) A principal component analysis of visibility and air pollution in six California cities. <https://www.researchgate.net> (Scopus)
- K. Rutledge, M. McDaniel (2023) «Urban Heat Island» paper National Geographic Society <https://education.nationalgeographic.org/resource/urban-heat-island/>
- M. Santamouris, S. Falasca, M. Zinzi, A.M. Siani (2024) Mitigation and Adaptation of Urban Overheating, page 1-21. Vol. 953. <https://www.sciencedirect.com> (Scopus)
- S. Mambretti (2024), Ecology and Environment, Air and Water Pollution XXX, University of the West of England, UK vol.259, p.174 (Scopus)
- S. Sarkar, P.K. Kundu (2016) Thermal Power Engineering, Matrix Reference series.
- Shamsan, A., Balu R., Sagybekova A., Saha S., Suleimenova K., Madkar S. Network Communication Technologies and its Role in Enabling Effective Communication. 6th International Conference on

- Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2022 – Proceedings, 28-30 April 2022, INSPECAccession, Tirunelveli, India (Scopus)
- T. Cowley, T. Huty, J. Hammond, S. Brown (2024). Achieving emission reduction through the utilisation of local low-grade heat sources in district heating networks, "Applied thermal engineering". – Vol.242, 122-381.
- The Renewable Energy institute, UK Satellite Launched to Map Heat Inefficient Buildings, <https://www.renewableinstitute.org>
- Y. Wang, Z.H. Wang, N. Rahmatollahi, H. Hou. (2024) The impact of roof systems on cooling and building energy efficiency, <https://www.sciencedirect.com> (Scopus)
- X. Li, Y. Zhou, S. Yu, G. Jia, H. Li, W. Li (2019), Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings, <https://www.sciencedirect.com> (Scopus)
- Zh.J. Zhai (2022). "Energy Efficient Buildings: Fundamentals of Building Science and Thermal Systems". Wiley; 1st edition. – Vol. 384 (Scopus)
- Z.H. Wang (2021) Reconceptualizing urban heat island: Beyond the urbanrural dichotomy, , <https://www.sciencedirect.com> (Scopus)
- В. Блази (2022) «Строительная физика. Справочник проектировщика». – М.: «Техносфера», 611 с. // V. Blazi (2022) «Stroitel'naya fizika. Spravochnik proektirovshchika». – М.: «Tekhnosfera», 611 s.
- Д.А. Королева, В.В. Шайдаков, В.А. Целищев (2023) Солнечная энергетика. М: «Инфра-Инженерия» 140 стр. // D.A. Koroleva, V.V. SHajdakov, V.A. Celishchev (2023) Solnechnaya energetika. – М: «Infra-Inzheneriya». – 140 str.
- Д. Петер (2019), «Влияние энергоэффективного капитального ремонта на микроклимат жилых многоэтажных зданий», Словацкий технологический университет, Братислава, Словакия.// D. Peter (2019), «Vliyanie energoeffektivnogo kapital'nogo remonta na mikroklimat zhilyh mnogoetazhnyh zdaniy», Slovackij tekhnologicheskij universitet, Bratislava, Slovakiya.
- Еженедельная информационная справка о качестве атмосферного воздуха (2024) на сайте <https://www.kazhydromet.kz/> // Ezhenedel'naya informacionnaya spravka o kachestve atmosfernogo vozduha (2024) na sajte <https://www.kazhydromet.kz/>
- Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2020 год. <https://www.kazhydromt.kz/> // Ezhegodnyj byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazahstana: 2020 god. <https://www.kazhydromt.kz/>
- Интерактивный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2018-2019 г. на сайте <https://newecodoklad.ecogofond.kz/> // Interaktivnyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy i ob ispol'zovanii prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan za 2018-2019 g. na sajte <https://newecodoklad.ecogofond.kz/>
- О.С. Ануфриенко (2018) «Проектирование систем отопления». – М: «Флинта», 2018. – 165 с. // O.S.Anufrienko (2018) «Proektirovanie sistem otopeniya». – М: «Flinta», 2018. – 165 s.
- «Как Казахстану достичь нулевых выбросов парниковых газов?» статья на сайте <https://kapital.kz/> // «Kak Kazahstanu dostich' nulevyh vybrosov parnikovyh gazov?» stat'ya na sajte <https://kapital.kz/>
- Р. Есимов, (2023) Статистика жилищного фонда Республики Казахстан (2024) www.stat.gov.kz // R. Esimov, (2023) Statistika zhilishchnogo fonda Respubliki Kazahstan (2024) www.stat.gov.kz
- Шибек А.С., Рутковский М.А. (2020) «Строительная физика и теплотехнические измерения». – М.: «Инфра-инженерия». – 278 с. // SHibekov A.S, Rutkovskij M.A. (2020) «Stroitel'naya fizika i teploekhnicheskie izmereniya». – М.: «Infra-inzheneriya». – 278 s.
- Ш. Байкулаков, (2022) Долгосрочный демографический прогноз до 2050 года, АО «Центр развития трудовых ресурсов» <https://iac.enbek.kz/> // SH. Bajkulakov, (2022) Dolgosrochnyj demograficheskij prognoz do 2050 goda, АО "Centr razvitiya trudovyh resursov" <https://iac.enbek.kz/>

Information about authors

Shonbasova Shakhida Yesenbekovna – Master, International Educational Corporation LLP (KAZGASA campus), teacher special. disciplines of Almaty College of Construction and Management LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail shaxida2007@mail.ru, tel: +7-747-326-00-91

Abiyeva Guldana Soltanovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International Educational Corporation LLP (KAZGASA Campus), Head of the Department of Engineering Systems and Networks (KAZGASA Campus), Almaty, Kazakhstan, e-mail: guldana1967@mail.ru, tel: +7-705-411-63-54

МАЗМҰНЫ

ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС

Байгереев С.Р., Конурбаева Ж.Т., Машекенова А.Х. Машина жасау саласындағы кәсіби инженер сертификатының параметрлерін есептеу үшін қолданылған компьютерлік моделі	5
Бекбергенов Д.К., Джангулова Г.К., Жанакоева Р.К., Абиев Б.А. Далалық дайындықпен камера аралық тіректен кендерді қайта алу мүмкіндігі шөгінділердің жылжу аймағын зерттеу	13
Калытка В.А., Мехтиев А.Д., Дунаев П.А. Қатты денелі диэлектриктердегі құрылымның микроскопиялық ақауларының параметрлерін өлшеудің әмбебап әдістемесін әзірлеу	23
Камышева Н.А., Курманов А.К., Хасенов У.Б. Соқпалы-центрден тепкіш күш арқылы әрекет ететін ұсақтағыштың жұмыс органдарына тиесілі кейбір конструктивті параметрлердің ұсақтау процесіне әсер етуін талдау	36
Кунапьянова А.А., Прохоренкова Н.В., Сарсенова А.А., Ахмадиева Г.А. MS EXCEL және MULTISIM бағдарламаларын қолдана отырып күрделі электр тізбектерін зерттеу	47
Курбанбеков Ш.Р., Табиева Е.Е., Қизатов А.С., Мұсахан Н.П., Амангельдиева Ю.О. Практикалық мақсатта қолданылатын функционалды материалдарды ұшқын плазмалық агломерациялау технологиясына қысқаша шолу	57
Молдаханов Б.А., Роговский В.В., Бугаев А.Б., Данияров Д.С. Егу қатары мәндерінің ені әртүрлі және дірілдейтін диск ашқыштары бар тұқым себу кешенінің моделін эксперименттік және теориялық зерттеу нәтижелері	67
Сапрыкин Д.Н., Саденова М.А., Куленова Н.А., Варбанов Р.С. Математикалық модельдеу әдістерін қолдана отырып, қайнаған қабатта мырыш концентратын күйдіру процесін күшейту мүмкіндігін зерттеу	77
Серікұлы Ж., Кумисбеков С.А., Муталов Н.Б., Заурбеков М.Н., Рысалы Қ.Н. Тұрақты құрылымы бар энергия түрлендіргіш	84
Цоберг Н.Е., Одноконнова Е.А., Зимановская Н.А., Амренова А.Ж. Аққарғын кен алқабының кен орындарының ресурстарын бағалау үшін KAZRC қазақстандық есептік жарияланымдарының кодексін интеграциялау	92

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Алимханова А.Ж., Григорьева С.В., Болатова А.Б. Деректерді көрінетін жарық арқылы беруге болатын модуляция әдістерін зерттеу	103
Базарова М.Ж., Карменова М.А., Заманбекова А.М., Кабдрахманова З.Г., Карымсакова И.Б. STEM-білім беру элементтері бар оқытушылардың біліктілігін арттыру процесін онтологиялық модельдеу	115
Жартыбаева М.Г., Алинова А.Д., Серік Н.Қ., Тілесова Қ.С., Тюлепбердинова Г.А. Су объектілерінің батиметриялық және гидрографиялық көрсеткіштерін мониторингтеу үшін бағдарламалық-аппараттық қамтамасыз етуді және деректер базасын құру	125
Казбекова Г.Н., Умаров А.А., Абен А.Б., Жунисов Н.М., Исмагулова Ж.С. Ұйытқуы бар орнықсыз жүйенің динамикалық сипаттамаларын талдау	139
Канжекеев А.С., Конырханова А.А., Толғанбайұлы Т. Киберфизикалық жүйелер: киберқауіпсіздік қатерлері, шабуылдарды талдау және маңызды инфрақұрылымды қорғау әдістері	150
Кузенбаев Б.А., Кузенбаева А.А., Алиппаева Д.Ж., Жаксыгельдин Е.А. Емхана емделушілері мен медицина қызметкерлеріне арналған мобильді қосымшасын әзірлеу	158
Кульниязова К.С., Рзаева Л.Г., Абитова Г.А., Аймухамбетов О.К., Ердыбаева Н.К. Суды электр эрозиясын тазарту процесін басқару жүйесі	170
Сайлауқызы Ж., Даненова Г.Т., Коккоз М.М. Көп шекті декодерды қолдану арқылы цифрлық радиожүйелердің энергия тиімділігін арттыру әдістерін әзірлеу	183
Шедреева И.Б., Джанузакова Р.Д., Карнакова Ф.Ж., Наурыз Қ.Ж. Температураның қиғаш брэгг торларының параметрлеріне әсері	191

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС

Абдеев Б.М., Хапін А.В., Махиев Б.Е., Алдунгарова А.К., Айтказина А.К. Қатты центрі бар дөңгелек осьтік симметриялық мембрананың физикалық және геометриялық параметрлерін оңтайландыру	199
Ахметов Б.Б., Серова Р.Ф. Тұрғын үйлердің темірбетон құрылымдарының мониторингі және талдау	209
Байтенов Э.М., Еспенбет А.С. Шығыс Қазақстанның «тас» мешіттері: заманауи аймақтық сәулет мәселесі туралы	216
Бесимбаев Е.Т., Шадқам А.С., Кульдеев Е.И., Жұмаділова Ж.О., Бегалиев У.Т. Плита негіздерінің тігінен нығайтылған негізін жобалау ерекшеліктері	228
Ботантаева Б.С., Сағыбекова А.О., Вагапова А.Р. Алматы қаласының және Алматы облысының тасқын суларының су басуынан қорғау	239
Тұлеугалиева Ж.С., Иманғали И.Т., Мажитов Е.Б., Жарылғапов С.М., Рысқалиев М.Ж. Шыны қалдығы негізіндегі силикат кірпіштің физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу	247
Хафиз Қ.Н., Хафизов А.Н., Мухамбетқалиев К.К. Жолдарды мұздан тазартудың өртүрлі әдістерінің тиімділігін салыстырмалы талдау	256
Шонбасова Ш.Е., Абиева Г.С. «Қалалық жылу аралдарының» Алматы қаласының дамуына әсер етуі	263

СОДЕРЖАНИЕ

ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Байгереев С.Р., Конурбаева Ж.Т., Машекенова А.Х. Прикладная компьютерная модель для вычисления параметров сертификата профессионального инженера в сфере машиностроения	5
Бекбергенов Д.К., Джангулова Г.К., Жанакова Р.К., Абиев Б.А. Исследование повторной выемки руд из МКЦ с полевой подготовкой в условиях обрушенной зоны	13
Калытка В.А., Мехтиев А.Д., Дунаев П.А. Разработка универсальной методологии измерения параметров микроскопических дефектов структуры в твердотельных диэлектриках	23
Камышева Н.А., Курманов А.К., Хасенов У.Б. Анализ влияния некоторых конструктивных параметров рабочих органов ударно-центробежного измельчителя на процесс дробления	36
Кунапьянова А.А., Прохоренкова Н.В., Сарсенова А.А., Ахмадиева Г.А. Исследование сложных электрических цепей с применением программных обеспечении MS EXCEL и MULTISIM	47
Курбанбеков Ш.Р., Табиева Е.Е., Қизатов А.С., Мұсахан Н.П., Амангельдиева Ю.О. Краткий обзор технологии искрового плазменного спекания функциональных материалов практического назначения	57
Молдаханов Б.А., Роговский В.В., Бугаев А.Б., Данияров Д.С. Результаты экспериментальных и теоретических исследований модели посевного комплекса с различными значениями ширины междурядий и вибрационными дисковыми сошниками	67
Сапрыкин Д.Н., Саденова М.А., Куленова Н.А., Варбанов Р.С. Исследование возможности интенсификации процесса обжига цинкового концентрата в кипящем слое с использованием методов математического моделирования	77
Серіқұлы Ж., Кумисбеков С.А., Муталов Н.Б., Заурбеков М.Н., Рысалы Қ.Н. Преобразователь энергии с регулярной структурой	84
Цоберг Н.Е., Одноконнова Е.А., Зимановская Н.А., Амренова А.Ж. Интеграция казахстанского кодекса публичной отчетности KAZRC для оценки ресурсов месторождений Аккаргинского рудного поля	92

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алимханова А.Ж., Григорьева С.В., Болатова А.Б. Исследование методов модуляции для передачи данных по видимому свету	103
Базарова М.Ж., Карменова М.А., Заманбекова А.М., Кабдрахманова З.Г., Карымсакова И.Б. Онтологическое моделирование процесса повышения квалификации преподавателей с элементами STEM-образования	115
Жартыбаева М.Г., Алинова А.Д., Серік Н.Қ., Тлесова К.С., Тюлепбердинова Г.А. Создание программно-аппаратного обеспечения и базы данных для мониторинга батиметрических и гидрографических показателей водных объектов	125
Казбекова Г.Н., Умаров А.А., Абен А.Б., Жунисов Н.М., Исмагулова Ж.С. Анализ динамических характеристик неустойчивой системы управления с возмущением	139
Канжекеев А.С., Конырханова А.А., Толғанбайұлы Т. Киберфизические системы: угрозы кибербезопасности, анализ атак и методы защиты критической инфраструктуры	150
Кузенбаев Б.А., Кузенбаева А.А., Алиппаева Д.Ж., Жаксыгельдин Е.А. Разработка мобильного приложения для медицинского персонала и пациентов поликлиники	158
Кульниязова К.С., Рзаева Л.Г., Абитова Г.А., Аймухамбетов О.К., Ердыбаева Н.К. Система управления процессом электроэрозионной очистки воды	170
Сайлауқызы Ж., Даненова Г.Т., Коккоз М.М. Разработка методов повышения энергетической эффективности цифровых радиосистем с использованием многопорогового декодера	183
Шедреева И.Б., Джанузакова Р.Д., Карнакова Ф.Ж., Наурыз Қ.Ж. Влияние температуры на параметры наклонных брэгговских решеток	191

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Абдеев Б.М., Хапин А.В., Махиев Б.Е., Алдунгарова А.К., Айтказина А.К. Оптимизация физико-геометрических параметров круглой осесимметричной мембраны с жестким центром	199
Ахметов Б.Б., Серова Р.Ф. Мониторинг и анализ железобетонных конструкций жилых зданий	209
Байтенов Э.М., Еспенбет А.С. «Каменные» мечети Восточного Казахстана: к проблеме источников для современной региональной архитектуры	216
Бесимбаев Е.Т., Шадқам А.С., Кульдеев Е.И., Жұмаділова Ж.О., Бегалиев У.Т. Особенности проектирования вертикально армированного основания плитного фундамента	228
Ботантаева Б.С., Сағыбекова А.О., Вагапова А.Р. Защита от затопления паводковыми водами города Алматы и Алматинской области	239
Тулугалиева Ж.С., Имангали И.Т., Мажитов Е.Б., Жарылгапов С.М., Рыскалиев М.Ж. Исследование физико-механических свойств силикатного кирпича на основе остатка стекла	247
Хафиз Қ.Н., Хафизов А.Н., Мухамбеткалиев К.К. Сравнительный анализ эффективности различных методов противообледенительной обработки дорог	256
Шонбасова Ш.Е., Абиева Г.С. Влияние «городских островов тепла» на развитие города Алматы	263

CONTENT

ENGINEERING AND ENGINEERING

Baigereyev S., Konurbaeva Zh., Mashekenova A. Applied computer model for calculating the parameters of a professional engineer certificate in mechanical engineering	5
Bekbergenov D.K., Jangulova G.K., Zhanakova R.K., Abiyev B.A. Study of re-extraction of ores from MCC with field preparation in conditions of the collapse area	13
Kalytka V., Mekhtiyev A., Dunayev P. Development of a universal methodology for measuring the parameters of microscopic structural defects in solid state dielectric	23
Kamysheva N.A., Kurmanov A.K., Khasenov U.B. Analysis of the influence of some design parameters of the working engines of an impact centrifugal grinder on the crushing process	36
Kunapianova A., Prokhorenkova N., Sarsenova A., Akhmadieva G. Research of complex electrical circuits using MS EXCEL and MULTISIM software	47
Kurbanbekov Sh., Tabiyeva Ye., Kizatov A.S., Nurken M., Amangeldiyeva Yu. A brief overview of the technology of spark plasma sintering of functional materials for practical purpose	57
Moldakhanov B., Rogovsky V.V., Bugaev A.B., Yelemanov D. The results of experimental and theoretical studies of a model of a sowing complex with different values of row spacing and vibrating disc coulters	67
Saprykin D.N., Sadenova M.A., Kulenova N.A., Varbanov P.S. Research on the possibility of intensifying the process of riction of zinc concentrate in a fluidized bed using mathematical modeling methods	77
Serikuly Zh., Kumisbekov S.A., Mutalov N.B., Zaurbekov M.N., Rysaly K.N. Energy converters with a regular structure	84
Tsoberg N., Odnokonnova E., Zimanovskaya N., Amrenova A. Integration of the kazakhstan public reporting code kazrc for assessing the resources of gold deposits of the Akkarginsky ore field	92

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Alimkhanova A., Grigoryeva S., Bolatova A. Research of modulation methods for data transmission via visible light	103
Bazarova M.Zh., Karmenova M.A., Zamanbekova A.M., Kabdrakhmanova Z.G., Karymsakova I.B. Ontological modeling of the teacher training process with elements of STEM education	115
Zhartybayeva M.G., Alinova A.D., Serik N.G., Tlesova K., Tyulepberdinova G.A. Development of hardware and software systems and a database for monitoring bathymetric and hydrographic indicators of water bodies	125
Kazbekova G., Umarov A., Aben A.B., Zhunissov N.M., Ismagulova Zh.S. Analysis of dynamic characteristics of an unstable control system with disturbance	139
Kanzhekeyev A., Konyrkhanova A., Tolganbajuly T. Cyber-physical systems: cybersecurity threats, attack analysis and critical infrastructure protection methods	150
Kuzenbayev B.A., Kuzenbaeva A.A., Alipayeva D.Zh., Zhaxygeldin Ye.A. Development of a mobile application for medical staff and polyclinic patients	158
Kulniyazova K.S., Rzayeva L.G., Abitova G.A., Aimukhambetov O.K., Erdybaeva N.K. Control system for the process of electroerosion water purification	170
Sailaukyzy Zh., Danenova G.T., Kokkoz M.M. Development of methods to improve energy efficiency of digital radio systems using a multi-threshold decoder	183
Shedreyeva I., Dzhanzakova R., Karnakova G., Nauryz K. Influence of temperature on the parameters of transverse bragg gratings	191

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Abdeev B., Khapin A., Makhiyev B., Aldungarova A., Aitkazina A. Optimization of physical and geometrical parameters of a circular axisymmetric diaphragm with a rigid center	199
Akhmetov B.B., Serova R. Monitoring and analysis of reinforced concrete structures of residential buildings	209
Baitenov E.M., Espenbet A.S. «Stone» mosques of Eastern Kazakhstan: to the problem of sources for modern regional architecture	216
Bessimbayev Ye.T., Shadkam A.S., Kuldeev E.I., Zhumadilova Zh.O., Begaliyev U.T. Peculiarities of design of vertically reinforced base of slab foundations	228
Botantaeva B.S., Sagybekova A.O., Vagapova A. Protection against flooding by flood waters of Almaty and Almaty regions	239
Tuleugaliyeva Zh., Imangali A., Mazhitov E., Zharylgapov S., Ryskaliyev M. Investigation of the physical and mechanical properties of silicate bricks based on glass residue	247
Khafiz K.N., Kafizov A.N., Mukhambetkaliyev K. Comparative analysis of the effectiveness of various methods of de-icing roads	256
Shonbasova Sh.Ye., Abiyeva G.S. Influence of «urban heat islands» on the development of the Almaty city	263

УКАЗАТЕЛЬ

научных статей опубликованных в журнале «Вестник ВКТУ» в 2024 году

№ стр.

ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Апшикур Б., Рахымбердина М.Е., Капасов А.К., Тогузова М.М., Колпакова В.П. Исследование процессов экологических и экосистемных изменений водных объектов с использованием данных БПЛА	1	36
Асангалиев Е.А., Данилов М.С., Лутай С.С., Карманов Д.К., Млынчак М. Разработка технологии получения брикетов солей-лизунцов с бентонитом для профилактики дефицита минеральных веществ у крупного рогатого скота	3	5
Аскербекова А.М., Дюсембинов Д.С., Скрипникова Н.К., Алтынбекова А.Д., Изтлеуов Г.М. Влияние комплексной модифицированной добавки на качество производства пенобетонных изделий	2	5
Әлімғазин Б.Т., Райымбекова А., Киялбай С.Н. Корреляционные зависимости между приборами ИКСп И ПКРС-2У при измерении коэффициента продольного сцепления покрытий	1	48
Байгереев С.Р., Завалко А.Г., Сулейменов А.Д. Оценка эффективности структуры испытательного оборудования для производства автомобилей	1	61
Ғабдысәліқ Р., Арғынбаев М.Н., Шеров К.Т., Байгереев С.Р. Совершенствование трубопроводной арматуры – крана шарового DN50 для обеспечения герметичности при PN 40 МПа	3	13
Гурьянов Г.А., Яковлев В.С., Дудкин М.В., Ким А.И., Стрычек П. Вывод теоретических зависимостей и определение геометрических параметров и режимов работы новых конструктивных узлов оборудования, входящего в состав посевного комплекса	3	24
Ерболатова Г.У., Касымова А.А., Ерболат Д.Д. Исследование структуры и механических свойств покрытий TiN, полученных методом магнетронного напыления	2	16
Естаулетова А.Е., Байдилдина А.Т., Дүйсембаева Г.С., Нурғалиева А.Т., Естаулетов М.Б. Механическое воздействие на пылегазовый поток с целью понижения выбросов в атмосферу, на примере котельной № 2 АО «Шығыс жылу»	3	34
Ешжанов А.А., Мурзабаева Г.К., Тожимирзаев С.Т., Калдыбаев Р.Т., Батиркулова А.А. Влияние изменений технологических режимов кардочесание на качественные показатели ленты и пряжи	1	101
Жилкашинова А., Азаматов Б., Нурбаев М., Руденко С.О., Жилкашинова А. Конструкция микро-ГЭС на базе проточной гидротурбины	3	44
Жоламанов Б.Ж., Ибаділда А.Б., Сағыбекова А.О., Нұртай Г., Сартаев Д.Т. Геодинамическое исследование движения литосферных плит г. Алматы	1	110
Завалко А.Г., Муздыбаев М.С., Мырзабекова Д.М., Муздыбаева А.С. Оценка возможности применение интегральных энергетических показателей для обучения водителей экономичному вождению	2	27
Ихсанов К.А., Калешева Г.Е., Утеева Т.Н., Шаненов Н.Н. Оптимизация рабочих параметров процесса охлаждения тормоза буровой лебедки	3	53
Каримова Г.К., Машанова Н.С., Ниязбекова Р.К., Смагулова М.Е., Сатаева Ж.И., Ибжанова А.А. Макароны изделия с добавлением масличных жмыхов в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ГОСТ 31743-2017 «Изделия макаронные. Общие технические условия»	1	143
Касымканова Х.М., Кенесбаева А., Орынбасарова Э.О., Жанакулова К.А., Адебиет Б. Подготовка гравиметрической основы для создания модели геоида Казахстана	3	62
Кожаметова Д.О., Адылканова А.Ж., Курушбаева Д.Т., Карымсакова И.Б. Формирование задачи технологического процесса каталитического крекинга на основе алгоритма нечеткого управления	2	38
Кусайынова Г.С., Хмырова Е.Н., Сатбергенова А.К., Игемберлина М.Б., Тұяқбай Ә.С. Анализ геодезических методов обеспечения строительства башенных сооружений	3	74
Кулбаева А.К., Рахметулаева С.Б., Болшибаева А.К. Выявление деятельности по отмыванию денег в Казахстане: подход машинного обучения и комплексное изучение	2	53

Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. Естественное увлажнение территории лесостепной и степной зон Казахстана в годы различной тепловлагообеспеченности	2	65
Литвинов В.В., Струнникова Н.А., Даумова Г.К., Серая Н.В., Мутере О., Утин С.С. Оптимальные условия известковой очистки шахтных сточных вод рудников по добыче полиметаллических руд	1	179
Мукалицев Ж.К., Асылбекова А.А., Жұматаева Ж.М., Азизов Э.А., Рафигов Т.К. Создание базы данных для анализа земель Семипалатинского испытательного полигона	2	75
Мусин Р.А., Замалиев Н.М., Рабатұлы М., Джусупов Н.Д. Анализ состояния добычи метана угольных пластов Казахстана	2	88
Тантыбаева Б.С., Саурбаева Б.С., Рамазанова Р.А., Жаманбаева М.К., Даумова З.С., Абишева Ж.С., Тажкенова Г.К., Иващенко Е.Н. Получение комплексного соединения гуминовой кислоты с глицином	2	96
Толубаев К., Жаутиков Б.А., Зобнин Н.Н., Даирбекова Г.С., Кабиева С.К. Идентификация и количественная оценка полиморфизма кремния в тонких плёнках магнетронного напыления	3	85
Утеулов К.Т., Адуов М.А., Капов С.Н., Нукушева С.А., Исенов К.Г. Анализ схем расстановок лаповых рабочих органов на широкозахватных сеялках ближнего и дальнего зарубежья	3	95
Файзрахманов З.Г., Войнарович С.Г., Прохоренкова Н.В. Методы газотермического напыления для восстановления малоразмерных деталей	1	270
Хамитбек А.Х., Кайрбаева А.Е., Копылов М.В. Определение силы раскалывание оболочки кедрового ореха в результате экспериментальных исследований	1	278
Юлусов С.Б., Байгенженов О.С., Хабиев А.Т., Меркибаев Е.С. Обзор методов переработки техногенного ванадийсодержащего сырья	2	105

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алимсеитова Ж.К., Оган А. Проблемы информационной безопасности и технологические риски для сервисов рынка цифровых криптовалют	2	114
Алинова А.Д., Жартыбаева М.Г., Villanueva F.J., Салкынов А.Т. Определение батиметрических и гидрографических параметров водных объектов через нейронные сети	1	27
Ашимгалиев М.Ж., Жумадиллаева А.К., Кви Нг.Инь, Сулейменова Л.Р. Использование компьютерного зрения в микроскопической диагностике рака кожи посредством использования ручных и автоматизированных функций	3	107
Бектенова А.М., Денисова Н.Ф., Бобров Л.К., Садыканова О.О. Анализ ментальных карт как метод оценки академической одаренности студентов	1	83
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	2	124
Эльдарова Э.Э. Тестирование программного обеспечения для повышения визуальных свойств цифровых изображений	1	93
Жунисов Н.М., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Абен А.Б. Использование алгоритмов машинного обучения при разработке образовательного портала	3	121
Жумабай Е.С., Қалман Г., Сидорова Е.А., Дауренова А.А. Разработка модели решения референциальных отношений	1	117
Зунимова Г.Д., Солтан Г.Ж., Лихачевский Д.В., Исмаилова А.А., Исакова Г.О. Реализация метода поддержки принятия решений для практического анализа данных образовательного процесса	3	132
Карымсакова И.Б., Денисова Н.Ф., Калиева А.Б., Кожаметова Д.О., Бекбаева Р.С. Разработка информационной системы моделирования траекторий для напыления имплантов	2	134
Қинойт Д.Д., Мукашева Р.У. Разработка компьютерной модели обеспечения информационной безопасности на основе технологии blockchain	2	144
Кожемьякина О.Ю., Шашок Н.А., Кожемьякина Э.Д. Организация хранения корпусов поэтических текстов в информационных аналитических системах с учетом специфики предметной области	1	164
Кульжанова А.А., Рамазанов Е.Т. Сравнительный анализ энтропии и успеваемости обучающихся в онлайн и офлайн обучении. Педагогические аспекты	3	143

Максумова К., Сапарходжаев Н., Жамангарин Д. Разработка алгоритма математической модели нейронных сетей глубокого обучения. разработка онтологической модели	1	190
Максумова К.М., Сапарходжаев Н.П., Жамангарин Д.С., Голенков В.В., Ниязова Р.С. Технологии обработки знаний в области информатики	3	152
Маликова Ф., Кыдыралина Л., Малюков В., Лакно В., Малюкова И. Игровая модель управления процессом торговли ценными бумагами	1	202
Мамырбаев О.Ж., Waldemar Wójsik, Титова Н.В., Павлов С.В., Оралбекова Д.О., Айтқазина Ә.А., Жұмажан Н.Ө. Термодинамическая модель изучения динамики температурного баланса с расчетом тепловой энергии в сельском хозяйстве	1	214
Меденников В.И. Социальные последствия внедрения искусственного интеллекта в Российском сельском хозяйстве	2	155
Мукашева Г.Е., Карипжанова А.Ж., Колев С., Ахметова Ж.Ж., Ускенбаева Г.А. Обеспечение защиты баз данных от угроз	3	165
Мусиралиева Ш.Ж., Байспай Г.Б., Абайұлы Е., Оспанов Р.К., Агабеков Д.Ж. Разработка алгоритма и программного обеспечения графической визуализации связей вовлеченных пользователей	2	165
Оразова А.Ж., Кадыролдина А.Т., Красавин А.Л., Алонцева Д.Л., Құсайын-Мұрат Ә.Т. Нелинейное управление роботом-манипулятором с использованием модели прогнозирования	1	226
Рахымбердина М.Е., Даумова Г.К., Жусупова Г.К., Четтыкбаев Р.К., Чепашев Д.В. Картирование типов растительности на различных склонах и оценка динамики их изменения за продолжительный период времени	3	177
Рзаев Б.Т., Лебедев И.С., Белдеубаева Ж.Т., Увалиева И.М. Идентификация руткитов в сетевом трафике на основе применения бэггинга классификаторов	1	234
Сеилов Ш.Ж., Абыльдинов Д.С., Байдельдинов М.У., Нуржаубаев А.А., Коньрханова А.А., Журсинбек Б.Ш., Журсинбек Е.Ш. Совершенствование технологии хранения овощей и фруктов в контролируемой среде с использованием системы искусственного обоняния	2	179
Смаилова С.С., Вороненко М.А., Кумаргажанова С.К., Блинаева Е.В., Тлебалдинова А.С. Применение Байесовских сетей для определения влияния состояния высшего образования на экономические развитие	3	188
Тлебалдинова А.С., Карменова М.А. Анализ и прогнозирование успеваемости обучающихся на основе метода машинного обучения	2	187
Тогузова М.М., Балтабеков Ф.Н., Капасов А.К., Апшикур Б., Колпакова В.П. Проектирование базы данных для информационно-аналитической платформы в области мониторинга состояния водного бассейна р. Ертис	3	199
Толеуова А.Р., Андриященко В.А. Компьютерное моделирование процесса формирования алюминиевой матрицы с помощью программы Thermo-Calc	1	244
Тукушова А.Е., Рахметуллина С.Ж., Пененко А.В. Разработка алгоритма для предсказания загрязнения атмосферного воздуха на примере данных г. Усть-Каменогорска	3	208
Тюлепбердинова Г.А., Адилжанова С.А., Черикбаева Л.Ш., Оралбекова Ж.О., Жартыбаева М.Г. Организация системы дистанционного контроля здоровья студентов	1	254
Уалханова А.Т., Денисова Н.Ф. Анализ текущего состояния вопроса создания инфраструктуры пространственных данных в Республике Казахстан	1	262
Хасенова З.Т., Рақышева М.А., Глазырина Н.С., Исайнова А.Н., Мукатов А.Т. Сенсорные технологии и машинное обучение: новые возможности для экологического мониторинга	3	217
Хомпыш А., Лизунов О.А. Легковесный алгоритм шифрования для устройств IoT	2	198
Хохлова А.Е., Бакланова О.Е., Тезекпаева Ш.Т. Применение метода наивного Байеса при решении задачи фильтрации спама	2	210

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Абдукаликова Г.М., Утепбергенова Л.М., Смагулова Э.М., Жаркенов Е.Б., Орысбай А.А., Тазабекова Ә.Ж., Жұмагелдиева А.Д., Абдуова А.А., Шахмов Ж.А. Вопросы водопользования в тепловых электростанциях. проблемы и решения	1	8
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 Ә.Ж. Совершенствование технологии очистки воды для водоснабжения сельских населенных пунктов	2	219

Абдукаликова Г.М., Утепбергенова Л.М., Шахмов Ж.А., Абдуова А.А., Аязбаев Д.А. Оценка состояния производственных сточных вод и основных методов их очистки	3	231
Алдунгарова А.К., Мухамеджанова А.Т., Тулебекова А.С., Назарова А.Г., Тлеубаева А.К., Кожас А.К. Анализ существующих методов определения промежуточных геотехнических характеристик грунтов	1	16
Аскербекова А., Дюсембинов Д., Жумагулова А., Лукпанов Р., Конканов М., Джексембаева А. Технология производства пенобетона на основе минеральной фибры, полученной из отходов производства минеральных утеплителей	2	233
Ахажанов С.Б., Нурланова Б.М., Абеуова Л.К., Мергенбекова А.Н. Анализ изгиба тонких изотропных пластин	2	241
Байдрахманова М.Г., Алдунгарова А.К., Monika Kulisz Методы применения экологического подхода в архитектурном проектировании в современных жилых комплексах	1	70
Байзакова Г.А., Руденко О.В., Аноп Д.К., Герасимов Е.П. Исследование прочности бетона, в составе которого используется мелкодисперсное стекло	3	240
Догадкин Д.С., Шевляков В.Ф., Қалиев Д.И., Денисова Н.Ф., Денисов И.В. Обоснование выбора несущей конструкции автономной станции для мониторинга лавиноопасных участков Восточно-Казахстанской области	3	253
Досжанов М.Ж., Байтасов К., Ембергенов М.А., Тасболат Ф.Ж. Теоретические исследования задач собственных колебаний пластинки как плоского элемента, взаимодействующего с окружающей средой	2	249
Есенгабулов С.К., Жаркенов Е.Б., Кожамет М.С., Нұрбаева М.Н., Джексембаева А.Е. Сравнительный анализ влияния юртоподобных и квадратных зданий на энергоэффективность	3	263
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	2	265
Зарифулин Р.М., Алдунгарова А.К., Жарасов Ш.Ж., Мухамеджан А.С., Мэнэндас И.П. Мониторинг технологических подходов с целью повышения надежности гидротехнических объектов	1	126
Ибрагимов К., Аубакирова Ф.Х., Артыкбаев Д.Ж., Досалиев К.С., Отарбаева Г.М. Лабораторное определения максимальной плотности и оптимальной влажности крупнообломочных грунтов	2	274
Кожасов С.К., Жолмагамбетов С.Р., Кожас А.К., Толкынбаев Т.А., Мухамеджанова А.Т., Толеубаева Ш.Б. Анализ факторов причин обрушения конструкций покрытия корпуса сгущения ФСО в г. Жезказган	1	154
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	2	281
Курманова Д.Т., Есполова З.А., Уазырханова Ж.К. Внедрение в учебный процесс графической программы ALLPLAN	2	292
Лукпанов Р.Е., Цыгулев Д.В., Дюсембинов Д.С., Алтынбекова А.Д., Енкебаев С.Б. Исследование работы свай переменного профиля с использованием метода численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D	3	271
Өжет А., Мамедов С.Э., Суранкулов Ш.Ж. Особенности архитектурного проектирования общеобразовательных организаций в историческом примере немецкой архитектуры	2	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	2	318
Самуратова Т., Ахметова-Абдик Г.А., Омарбекова Н., Ермекова Ж., Лунев И. Духовное наследие в искусстве тюркского мира – пространство и время в Казахском традиционном искусстве	3	280
Хамза Е.Е., Жугинисов М.Т., Жумадилова Ж.О., Селяев В.П. Влияние заполнителя из вулканического туфа и пепла на характеристики легких конструкций	3	288

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-Казахстанского 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 10 желтоқсан 2024 ж. қол қойылды.
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.
Көлемі: шартты баспа табағы 29,82, есептік баспа табағы 29,87.
Баспа нұсқасы. Таралымы 50 дана. № 1202-2024 тапсырыс.
Бағасы келісім бойынша.

Подписано в печать 10 декабря 2024 г.
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.
Объем: усл. печ. л. 29,82, уч.-изд. л. 29,87.
Печатная версия. Тираж 50 экз. Заказ № 1202-2024.
Цена договорная.

Signed to print on December 10, 2024.
Format 84'108 / 16. Offset paper.
Volume: conventional printing plate 29.82, estimated printing plate 29.87.
Printed version. Circulation 50 copies. Order No. 1202-2024.
The price is negotiable.

Шығыс Қазақстан техникалық университеті. 070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69.
Восточно-Казахстанский технический университет. 070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69.
D. Serikbayev East Kazakhstan technical university. 070004, Ust-Kamenogorsk, 69 Protozanov Street.