ISSN 1694-8335 (print)
ISSN 1694-8343 (online)

Известия

КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА имени И.Раззакова

ВЫПУСК 3 (79) 2026

И.Раззаков атындагы КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК УНИВЕРСИТЕТИНИН

Жарчысы

KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY
WWW.KSTU.KG

ISSN 1694-8335 (print)
ISSN 1694-8343 (online)

И. РАЗЗАКОВ АТЫНДАГЫ КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК УНИВЕРСИТЕТИНИН **ЖАРЧЫСЫ**

Теориялык жана илимий-техникалык колдонмо журнал

№ 3 (79) 2026-жыл

Жылына 4 жолу чыгат
Журналдын ээси: И.Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университети
Редакциянын дареги: 720044, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, Ч.Айтматов көчөсү 66. 1/254 каб.
Тел.:+996(312) 54-51-40

Журналдын сайты: https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-kgtu-im-i-razzakova
Электрондук почтасы: journal@kstu.kg

Журнал Кыргыз Республикасынын юстиция министрлигинде катталган.
Күбөлүктүн номуру № 925, 16- январь, 2004-жыл

Журнал Россиялык илимий цитата индексине катталган.
Журналга келген бардык материалдар көз карандысыз рецензиядан өткөрүлөт.

Басууга 30.06. 2026-ж. кол коюлду.
Журнал электрондук форматта чыгат

Башкы редактор: М.К. Чыныбаев, физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент, И. Раззаков атындагы КМТУнун ректору
Тел.: (312)54-51-25
Электрондук почтасы: rector@kstu.kg

Башкы редактордун орун басары: Р.Ш. Элеманова, техника илимдеринин доктору, профессор, КМТУнун илимий иштер проректору
Тел.: (312)54-51-40
Электрондук почтасы: elemanova@kstu.kg

Жоопту катчы: А.Б.Аманкулова
journal@kstu.kg

РЕДКОЛЛЕГИЯ МҮЧӨЛӨРҮ

А.Р. Абдиев — т.и.д., проф., Кыргызстан
А.А. Акунов — т.и.д. (тарых), проф., Кыргызстан
С.А. Алымкулов — т.и.д., проф., Кыргызстан
Д.С. Акматбаев - т.и.д., проф., Астана, Казакстан
М.З. Алмаматов — т.и.д., проф., Кыргызстан
У.Аматвалиев –т.и.д., проф., Дүйшөмбү, Тажикстан
А.Б. Бакасова — т.и.д., проф., Кыргызстан
Ж.И. Батырканов — т.и.д., проф., Кыргызстан
И.В. Бочкарев — т.и.д., проф., Кыргызстан
У.Н. Бримкулов — т.и.д., проф., КР УИАнын корр.-мүчөсү, Кыргызстан
Ж.Т. Галбаев — т.и.д., проф., Кыргызстан
У.Р. Давлятов — т.и.д., проф., КР УИАнын корр.-мүчөсү, Кыргызстан
М.Дж. Джаманбаев — физ.-мат.и. д., проф., КР УИАнын корр.-мүчөсү, Кыргызстан
М.С. Джуматаев — т.и.д., проф., КР УИАнын академиги, Кыргызстан
А.А. Долгушин — т.и.д., проф., Новосибирск мамлекеттик агрардык университети, Россия
Т.Б. Дуйшеналиев — ф.-м .и. д., проф., Кыргызстан
К.М. Иванов — т.и.д., проф., Россия
А.С. Иманкулова — т.и.д., проф., Кыргызстан
Г.Дж. Кабаева — физ.-мат. и. д., проф., Кыргызстан
К.Ч. Кожогулов — т.и.д., проф., КР УИАнын академиги, Кыргызстан
А.А. Косимов – т.и.д. доцент, М.С.Осими ат. Тажик техникалык университети, Дүйшөмбү, Тажикстан
Т.Ы. Маткеримов — т.и.д., проф., Кыргызстан
М.М. Мусульманова — т.и.д., проф., Кыргызстан
Л.А. Назарова — физ.-мат.и.д., Россия илимдер академиясынын Сибирь бөлүмү, Россия
А.Дж. Обозов — т.и.д., проф., КР УИАнын корр.-мүчөсү, Кыргызстан
Н.Д. Рогалев — т.и.д., проф., Россия
А.Б. Салиев — физ.-мат. и. д., проф., Кыргызстан
Р.М. Султаналиева — физ.-мат. и. д., проф., КР УИАнын корр.-мүчөсү, Кыргызстан
А.М. Таева — т.и.д., проф., Алматы технологиялык университети, Казакстан
А.Т. Татыбеков — т.и.д., проф., Кыргызстан
Б.Б. Токтосунова — хим.и. д., проф., Кыргызстан
Б.Т. Торобеков — т.и.д., проф., Кыргызстан
Г.Г. Трофимов – т.и.д. проф., Тель-Авив, Израиль
Ж.Ж. Тургумбаев — т.и.д., проф., Кыргызстан
А.С. Уметалиев — экон. и. д., проф., Кыргызстан

© И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университети

ISSN 1694-8335 (print)
ISSN 1694-8343 (online)

ИЗВЕСТИЯ
КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. И. РАЗЗАКОВА

Теоретический и прикладной
научно-технический журнал

№ 3 (79) 2026 год

Учредитель: Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
Адрес редакции: 720044, Кыргызская Республика, город Бишкек, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, каб 1/254
Тел.: +996(312) 54-51-40
Сайт: https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-kgtu-im-i-razzakova
email:
journal@kstu.kg

Журнал зарегистрирован В Министерстве юстиции Кыргызской Республики
Свидетельство № 925 от 16 января 2004 года.
Журнал зарегистрирован В Российском индексе научного цитирования
Материалы журнала проходит независимое рецензирование
Подписан в печать 30.06. 2026 г.
Журнал выходит в электронном формате

Главный редактор: М.К. Чыныбаев, кандидат физико-математических наук, доцент, ректор КГТУ им. И. Раззакова
Тел.: Тел.: (312)54-51-25
Электронная почта: rector@kstu.kg

Заместитель главного редактора:
Р.Ш. Элеманова, доктор технических наук, профессор,
проректор по научной работе КГТУ им. И. Раззакова
Тел.: (312)54-51-40
Электронная почта: elemanova@kstu.kg

Ответственный секретарь: А.Б. Аманкулова
journal@kstu.kg

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

А.Р. Абдиев — д.т.н., проф., Кыргызстан
А.А. Акунов — д.ист.н., проф., Кыргызстан
С.А. Алымкулов — д.т.н., проф., Кыргызстан
Д.С. Акматбаев – д.т.н., проф. Астана, Казахстан
М.З. Алмаматов — д.т.н., проф., Кыргызстан
У.Аматвалиев – д.т.н., проф., Душанбе, Таджикистан
А.Б. Бакасова — д.т.н., проф., Кыргызстан
Ж.И. Батырканов — д.т.н., проф., Кыргызстан
И.В. Бочкарев — д.т.н., проф., Кыргызстан
У.Н. Бримкулов — д.т.н., проф., чл.-корр. НАН КР, Кыргызстан
Ж.Т. Галбаев — д.т.н., проф., Кыргызстан
У.Р. Давлятов — д.т.н., проф., чл.-корр. НАН КР, Кыргызстан
М.Дж. Джаманбаев — д.физ.-мат.н., проф., чл.-корр. НАН КР, Кыргызстан
М.С. Джуматаев — д.т.н., проф., акад. НАН КР, Кыргызстан
А.А. Долгушин — д.т.н., проф., Новосибирский государственный аграрный университет, Россия
Т.Б. Дуйшеналиев — д.физ.-мат.н., проф., Кыргызстан
К.М. Иванов — д.т.н., проф., Россия
А.С. Иманкулова — д.т.н., проф., Кыргызстан
Г.Дж. Кабаева — д.ф.-м.н., проф., Кыргызстан
К.Ч. Кожогулов — д.т.н., проф., акад. НАН КР, Кыргызстан
А.А. Косимов – д.т.н. доцент, Таджикский технический университет имени М.С.Осими, Душанбе, Тажикстан
Т.Ы. Маткеримов — д.т.н., проф., Кыргызстан
М.М. Мусульманова — д.т.н., проф., Кыргызстан
Л.А. Назарова — д.физ.-мат.н., СО РАН, Россия
А.Дж. Обозов — д.т.н., проф., чл.-корр. НАН КР, Кыргызстан
Н.Д. Рогалев — д.т.н., проф., Россия
А.Б. Салиев — д.ф.-м.н., проф., Кыргызстан
Р.М. Султаналиева — д.физ.-мат.н., проф., чл.-корр. НАН КР, Кыргызстан
А.М. Таева — д.т.н., проф., Алматинский технологический университет, Казахстан
А.Т. Татыбеков — д.т.н., проф., Кыргызстан
Б.Б. Токтосунова — д.хим. н., проф., Кыргызстан
Б.Т. Торобеков — д.т.н., проф., Кыргызстан
Г.Г. Трофимов - д.т.н., проф., Тель- Авив, Израиль
Ж.Ж. Тургумбаев — д.т.н., проф., Кыргызстан
А.С. Уметалиев — д.экон. н., проф., Кыргызстан

© Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 2024

ISSN 1694-8335 (print)
ISSN 1694-8343 (online)

THE BULLETIN OF I. RAZZAKOV KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY

№ 3 (79) 2026

Theoretical and Applied Scientific and Technical Journal
The publisher: Kyrgyz State Technical University n.a. I.Razzakov
Editorial office address: 720044, Kyrgyz Republic, Bishkek city, No 66 Ch. Aitmatov Ave., room 1/254.
Tel.: +996(312) 54-51-40
Website: https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-kgtu-im-i-razzakova
email: journal@kstu.kg

The journal is registered with the Ministry of Justice of the Kyrgyz Republic
Certificate No. 925; dated 16.01.2004.
The journal is published in electronic format
The journal has been registered with the Russian Science Citation Index since
Journal content is independently reviewed

Chief editor: ***M.K. Chynybaev***, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Rector of KSTU I. Razzakov
Tel.: Tel.: (312)54-51-25
E-mail: rector@kstu.kg

Deputy Chief Editor: ***R.SH. Elemanova,*** Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research at KSTU named after I. Razzakov
Tel.: (312) 54-51-40
E-mail: elemanova@kstu.kg

Executive secretary: ***A.B. Amankulova***
email: journal@kstu.kg

EDITORIAL BOARD

A.R. Abdiev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
A.A. Akunov, Dr. Sci. (History), Professor, Kyrgyzstan
S.A. Alymkulov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
D.S. Akmatbayev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Astana, Kazakhstan
M.Z. Almamatov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
U. Amatvaliev , Dr. Sci. (Tech.), Dushanbe, Tajikistan
A.B. Bakasova, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
Zh.I. Batyrkanov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
I.V. Bochkarev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
U.N. Brimkulov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Corresponding Member of NAS KR, Kyrgyzstan
Zh.T. Galbaev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
U.R. Davlyatov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Corresponding Member of NAS KR, Kyrgyzstan
M.J. Jamanbaev, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Corresponding Member of NAS KR, Kyrgyzstan
M.S. Jumataev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Academician of NAS KR, Kyrgyzstan
A.A. Dolgushin, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Novosibirsk State Agrarian University, Russia
T.B. Duishenaliev, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Kyrgyzstan
K.M. Ivanov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Russia
A.S. Imankulova, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
G.J. Kabaeva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Kyrgyzstan
K.Ch. Kozhogulov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Academician of NAS KR, Kyrgyzstan
A.A. Kosimov, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Tajik Technical University named after M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan
T.Y. Matkerimov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
M.M. Musulmanova, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
L.A. Nazarova, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Siberian Branch of RAS, Russia
A.J. Obozov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Corresponding Member of NAS KR, Kyrgyzstan
N.D. Rogalev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Russia
A.B. Saliev, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Kyrgyzstan
R.M. Sultanalieva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Corresponding Member of NAS KR, Kyrgyzstan
A.M. Tayeva, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Almaty Technological University, Kazakhstan
A.T. Tatybekov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
B.B. Toktosunova, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Kyrgyzstan
B.T. Torobekov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
G.G. Trofimov– Dr. Sci. (Tech.), Professor, Tel Aviv, Israel
Zh.Zh. Turgumbaev, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kyrgyzstan
A.S. Umetaliev, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Kyrgyzstan

The journal is published quarterly.
All submissions to the Editorial Board undergo independent peer rev

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Абдылдаев М.Б., Кожобаева С.Т., Филатова Т.А. Комплексный анализ текущего состояния архитектурного памятника караван-сарая Таш-Рабат…… 6
Бейшеев М.К., А. Кенешбек у. Билим берүү чөйрөсүнүн XXI кылымдагы архитектурасы..... 16
Каткова Н.С.Международные принципы охраны наследия……... 26
Кожокулова А.Н., Шаршенова К.С., Байчубекова Б.Т. Кыргызстандын көргөзмөлүк идентүүлүгүн калыптандыруу контекстинде архитекуралык мурастарды сактоо жана трансформациялоо 41
СатеновА.Э., МукешовД.Ш. Природно-экологический анализ города Бишкек и её пригородной территории……..... 50
Тусупбекова Ш. М. Трансформация этнических традиций в современную дизайн-среду……..... 64
Чернов А.Ю. Шапошников Е.В. Проблемы неоднородности распределения просадочных грунтов Северного Кавказа России ……..... 77

ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ

Прокопенко С. И. Математический аппарат геополяритонной томографии (GPTS): от регистрации сигнала к томографической реконструкции напряжённо-деформированного состояния литосферы……..... 85
Ц. Чжан, Б. Жэнь, Чымыров А. У., С. Чень*Application of 3D modeling and visualization based on gpts remote sensing exploration data ……..... 102

ГОРНОЕ ДЕЛО

Назаралиев Б.А., Зарлыков А.К., Шамшиев О.Ш., Курманалиев К.З. Структурно-кинематические факторы морфологии жил и генетические особенности распределения золота месторождения Джамгыр ……..... 120
Пазылов Т.Ш., Базарбаев Э.Б., Курманалиев К.З. Модель договорного режима недропользования в Кыргызской Республике……..... 132

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Джумалиев А., Кабаева Г., Кудакеева Г. Гибридная верификация целостности данных с якорением хэшей ……..... 156

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Рывкина Н.В., Закирова Д.И. Разработка методики оценки уровня сформированности профессиональных компетенций студентов строительных специальностей ……..... 166

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА

Журавлев О.В., Мишин А.С. Режим максимизации мощности на основе метода стягивающего коэффициента для солнечных электростанций в условиях частичного затенения..... 177

Душко О.В, Бочков М.И., Баличева Е.Р., Матиевская А.П. Расчет свайного ростверка методом компенсирующих нагрузок с учетом полиномиального закона работы конструктивно-нелинейных опор ……..... 190
Казакбаева Г.О. Исследование особенностей распределения напряжений в массиве карьера, ослабленного разломом ……..... 200

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Молдоканова А. И., Турганбаева Б.Т. Разработка специальной термостойкой одежды для утюжников с использованием современных материалов, цифровых технологий проектирования и эргономических решений ……..... 206

ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Усубалиева А.М., Мусалиев Н.С.Азыктык баалуулугу жогорулатылган майлуу печеньенин сапатын баалоо..... 214
Усубалиева А.М., Озбекова Ж.Э., Бодошов А.У., Дейдиев А.У. Алма сыгындысынын сапаттык көрсөткүчтөрү..... 223

ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Зыкова Е.П., Мухтарбекова Р.М., Бубликова Ю.С. Анализ и классификация вспомогательных механизмов машин ……..... 232

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

Омурзакова У.М., Конокова А.С. Цифровые технологии оценки и управления финансовой устойчивостью строительных компаний……..... 241
С. Чэнь, Болотбеков Ы. Ж*. Исследование подготовки кадров в сфере многоязычной комплексной логистики в контексте эксплуатации железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан ……..... 254

ЭНЕРГЕТИКА

Джуматаев М.С. Приоритеты технологии накопления и хранения энергии в Кыргызстане……..... 264

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК: 72.025.4

Абдылдаев М.Б.[1], Кожобаева С.Т.[2], Филатова Т.А.[3]
И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова Бишкек, Кыргызская Республика
[1]ORCID: 0009-0009-9065-7180
[2]ORCID: 0000-0003-4858-1177
[3] ORCID: 0009-0001-1333-2560

M.B. Abdyldaev, S.T. Kozhobaeva, T.A.Filatova
I.Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
arhtechoffice@gmail.com, kozhobaeva-s@kstu.kg, t.filatova@kstu.kg

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ АРХИТЕКТУРНОГО ПАМЯТНИКА КАРАВАН-САРАЯ ТАШ-РАБАТ

ТАШ-РАБАТ КЕРВЕН-САРАЙДЫН АРХИТЕКТУРА ЭСТЕЛИГИНИН АЗЫРКЫ АБАЛЫН КОМПЛЕКСТҮҮ ТАЛДОО

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE CURRENT CONDITION OF THE ARCHITECTURAL MONUMENT OF TASH RABAT

Дүйнөлүк мурастын архитектуралык эстелиги болгон Таш-Рабат кербен-сарайына жүргүзүлгөн комплекстүү изилдөөнүн негизинде анын учурдагы абалы бааланган жана архитектуралык-тектоникалык өзгөчөлүктөрү каралган. Негизги факторлорду талдоо аркылуу физикалык эскириш көрсөткүчтөрү жана алардын табигый-климаттык шарттардын таасиринен келип чыккан себептери аныкталды. Акыркы жылдардагы натуралдык изилдөө жана пайдалануну талдоо аркылуу көйгөйлүү бөлүктөр жана сакталуу аймактары белгиленди. Абалды мониторинг кылуу жана алгачкы консервациялык иш-чаралардын багыттары боюнча сунуштар иштелип чыкты.

Ачкыч сөздөр: *архитектуралык эстелик, дүйнөлүк мурас, кербен-сарай, тарыхый талдоо, изилдөө, археология, Жибек жолу, конструкциялар, тектоника.*

На основании комплексного исследования памятника архитектуры всемирного наследия караван-сарая Таш-Рабат был сделана оценка текущего состояния, а также рассмотрены архитектурно-тектонические особенности. Анализируя основные факторы были выявлены показатели физического износа и их причины при воздействии природно-климатических условий. Проведенное натурное обследование и анализа эксплуатации в последние годы были определены проблемные участки и сохранные зоны. Сформулированы рекомендации по мониторингу состояния и направлениям первоочередных консервационных мероприятий.

Ключевые слова: *памятник архитектуры, всемирное наследие.ю караван-сарай, исторический анализ, исследование, археология, Шелковый путь, конструкции, тектоника.*

Based on a comprehensive study of the World Heritage architectural monument, the caravanserai Tash-Rabat, an assessment of its current condition was carried out, as well as an examination of its architectural and tectonic features. By analyzing the main factors, indicators of physical deterioration and their causes under the influence of natural and climatic conditions were identified. Field surveys and an analysis of its use in recent years determined problematic areas and zones of preservation. Recommendations were formulated regarding condition monitoring and directions for priority conservation measures.

Key words: *architectural monument, world heritage, caravanserai, historical analysis, research, archaeology, Silk Road, constructions, tectonics.*

Для цитирования: Абдылдаев М.Б., Кожобаева С.Т., Филатова Т.А. Комплексный анализ текущего состояния архитектурного памятника караван-сарая Таш-Рабат / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. №3(79). - стр. 6 -15.

Актуальность

Историко-архитектурное наследие Кыргызской Республики имеет несколько значимых обьектов, одним из которых является Караван-Сарай Таш-Рабат. Это уникальный памятник средневековой архитектуры Центральной Азии на Великом Шелковом пути. Особенности архитектурно-конструктивного решения и применение местных каменных материалов в необычной тектонической системе данного сооружения вызывает научную заинтересованность для изучения формирования и развития инженерно-строительных технологий в условиях высокогорья и сурового климата.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексного анализа современного состояния памятника, а также определения причин и факторов физического износа и возможных процессов разрушения конструкций. Влияние особых природно-климатических факторов данного региона, учет сейсмичности и регулярное увеличение антропогенной нагрузка, которая зависит от возрастающей туристической инфраструктуры, диктуют необходимость системного научного подхода при оценке состояния и защите исторического объекта.

Таким образом, комплексное исследование создаст условия для научного обоснования и формирования рекомендаций по консервации, реставрации и целесообразному использованию памятника, а также выработать оптимальные подходы его сохранности на долгий срок, что в дальнейшем позволит улучшение историко-культурного туризма, укрепления национальной ценности. Сохранение Караван-Сарая Таш-Рабат имеет важное значение не только для охраны историко-культурного наследия, но и для развития культурного туризма, популяризации истории Великого Шёлкового пути, а также продвижение исторических знаний о Кыргызстане.

Введение

Памятник архитектуры Караван сарай Таш-Рабат - это крепость, построенная в XV веке расположенная примерно в 80 км от Ат-Баши и в 18 км от Торугартского тракта, в юго-восточном направлении, в жипописном ущелье Кара-Коюм, на берегу одноименной горной реки – притоке реки Ат-Баши, на высоте более 3000 м над уровнем моря. Таш-Рабат находится на Великом Шёлковом пути и ранее служил очень важной точкой на этой дороге. Он является самым крупным каменным сооружением на территории Кыргызстана.

Это – здание, которое установленно на врезанной в гору площадке и ориентировано фасадами строго по сторонам света, а главный фасад с единственным входом обращен на восток (рис.1). Портал памятника представляет собой два мощных пилона прямоугольных в плане, выступающих на 1,24 м из кладки стены. Вход оформлен в виде двойной арки, пяты первой лежат в пилонах, а вторая арка - арочный проем в стене. От входа к главному помещению Таш-Рабата ведет длинный коридор, условно названный центральным. По сторонам центрального коридора расположены входные проемы. В северной стене их два и они ведут в боковые коридоры, каждый из которых ведет в помещения, перекрытые куполами.

Рисунок 1 – Нынешнее состояние Караван-Сарая Таш-Рабат

Первый боковой коридор имеет 6 проемов для прохода в купольные помещения, второй – один, соединяющий его через проходное купольное помещение с первым коридором. Центральный коридор заканчивается арочным проемом, ведущим в центральное помещение. Центральное помещение представляет собой в плане прямоугольник, приближающийся к квадрату, по осям которого разбиты помещения (рис.2). Оно перекрыто большим куполом. Переход от четверика к восьмиграннику и куполу осуществляется за счет консольных парусов, выполненных в виде мощных сталактитов в три ряда.

В куполе на уровне восьмерика имеются 4 проема, ориентированные по сторонам света, выше которых на 1,5 м расположено еще 4 проема, сдвинутые по отношению к нижним на 45 градусов и показывающие, соответственно, северо-восток, северо-запад, юго-восток, юго-запад.

Методология исследования

Исследование основано на проведении экспедиционного натурного обследования объекта историко-культурного наследия караван-сарая Таш-Рабат, а также сборе информации, анализе архитектурно-пространственной и конструктивной структуры. Работа выполнялась в разрезе реализации одного из мероприятия Госпрограммы «по сохранению, изучению и проведению археологических раскопок объектов историко-культурного

наследия «Көөнө тарых сырлары», а именно «Разработка подготовительной документации к реставрации памятника архитектуры караван-сарай Таш-Раба», в соответствии с Договором №2-Т-8-24 от 28.08. 2024г.

Исторический анализ исследуемого объекта. Теме Таш-Рабата было посвящено очень много исследований, результаты которых были отражены в записях и литературных источниках русских путешественников и ученных, датированных с 1859г. вплоть до 1983г. На протяжении двух веков по изучению памятника истории сделаны разные анализы и выводы о функциональном назначении здания, его планировочной структуре, а также точное время строительства.

Впервые сведения о Таш-Рабате приводит во второй половине 16 века историк Мухаммед Хайдар в своем труде “История хана Рашида”. Он сопоставляет Таш-Рабат с аналогичными памятниками Кашмира, а также считает, что он сооружен монгольским ханом Мухаммедом, правившим в 1408 – 1416 гг.

В 1859 г. Выдающийся казахский ученый Ч.Ч. Валиханов, возвращаясь из Кашгара, осмотрел памятник. В его трудах памятнику посвящены следующие строки: “Сооружение возведено из плоских плит камня-сланца, имеет длину 12, в ширину 7 саженей. Длинный коридор продолжается центральным купольным залом. Из коридора невысокие узкие двери вели в небольшие квадратные и прямоугольные помещения. Сооружение некогда было оштукатурено внутри, и снаружи” [1].

В 1879 г. Таш-Рабат был осмотрен краеведом А.М. Фетисовым. Он вокруг памятника отметил множество свежих могил дунган, погибших во время бегства из Кашгарии зимою 1877 г. Он пишет, что со слов местных жителей им записано, что Таш-Рабат “построен Абдуллой-ханом 500 лет назад с благотворительной целью” [2].

В 1886 г. Таш-Рабат был исследован краеведом Н.Л. Зеландом. Он произвел зарисовки памятника, которые позднее передал в дар туркестанскому отделению Общества любителей археологии в Ташкенте. Н.Л. Зеланд предполагал, что Таш-Рабат являлся скорее не караван-сараем, а религиозно-культовым храмом. В своих путевых записках исследователь приводит сообщение подполковника Волкова, который в 1871 г. видел на штукатурке стен “грубые фигуры трехглавого коня и пятиглавого дракона” [2].

Большой интерес к памятнику проявил выдающийся российский востоковед В.В. Бартольд, побывавший в 1894 г. в долине реки Ат-Баши. И хотя он сам не видел памятника, в его “Отчете о поездке в Среднюю Азию с научной целью”, опубликованном в 1897 г., были приведены два рисунка с изображением Таш-Рабата [3]. В своем научном исследовании “Очерки истории Семиречья” он соглашается с мнением Мухаммеда Хайдара о том, что сооружение построено в 1416 г. Мухаммед-ханом [4].

В 1902 г. Н.Н. Пантусов опубликовал подробное описание Таш-Рабата. В своем труде он дал схематичный план и разрезы, снятые при помощи инструментов в 1888 г. подполковником из Нарынского укрепления К.А. Ларионовым. Им прочитаны оставленные на штукатурке надписи, относящиеся к 1803, 1813, 1873 гг. Имея сведения о ранее найденном здесь нестарианском кайраке и приводя местные легенды, Н.Н. Пантусов, как и ранее Н.Л. Зеланд, признает что памятник носил культовый характер [5].

Исследование памятника проводились и в советское время. В 1937 г. экспедиция под руководством Б.М. Зимы в числе древних памятников Тенир-Тоо исследовала и Таш-Рабат.

В 1940 г. о Таш-Рабате публикуют архитекторы из Киргизии. Они провели архитектурные обмер, сделали зарисовки и фотофиксацию памятника. По итогам работ в республиканской газете помещена заметка, что Таш-Рабат – определен как мечеть и остановочный пункт на трассе торгового пути построенный при кашгарском хане Махмуд-Али в 1485 – 1505 гг., а также как некрополь или крепость “где возможно совершались религиозные обряды” [6].

В 1946 – 1949 гг. Таш-Рабат изучается Тянь-Шань-Алайской археологической экспедиции под руководством А.Н. Бернштама. По мнению ученого Таш-Рабат был караван-сараем. По данным А.Н. Бернштама план здания Таш-Рабат очень четок, отдельные небольшие комнаты в первой части предшествуют более обширным помещениям второй части здания. Стройность внутреннего плана соответствует простым линиям силуэта здания в целом [7].

В 1952 г. была опубликована статья Г.А. Пугаченковой о Таш-Рабате. Она считает, что памятник был караван-сараем с мечетью и возведен он в 20-30-х годах XVв. Объективно оценивая вклад предшественников в изучении памятника, она отметила неточности в имеющихся описаниях и характеристиках конструкций здания в работах Н.Н. Пантусова и А.Н, Бернштама, а также несостоятельность высказанных ранее предположений о назначении Таш-Рабата. Г.А. Пугаченкова относит памятник к числу интереснейших памятников монументального зодчества Кыргызстана и видит в его архитектуре наличие индо-афганской средневековой строительной традиции [8].

Б.Н. Засыпкин в своей публикации “Памятники архитектуры Киргизстана” посвятил Таш-Рабату целую главу, где опираясь на имеющиеся факты и материалы, соглашается с исследователями, считающими Таш-Рабат караван-сараем. По начертанию кривых арок, их пропорциям и системе сталактитов Б.Н. Засыпкин считает возможным отнести постройку в первой половинеXVв., предположив участие в ее возведении мастеров из Самарканда.

Оспаривая интерпретацию Таш-Рабата как караван-сарая, Б.Н. Засыпкин считал, что возникновение здания было связано с завоеванием Ферганы в 1414 г. Улугбеком и предназначалось для временных остановок вооруженного конного отряда. При этом купольный зал рассматривал как помещение для трапез, отправления религиозных обрядов или как мечеть [9].

В 1960 г. в связи с намечавшимися работами по реставрации ряда известных средневековых памятников Киргизии Таш-Рабат изучается архитекторами Б.В. Чурлявым, В.Е. Нусовым и В.А. Голубевым. Б.В. Чурляев произвел вторичный более полный архитектурный обмер Таш-Рабата. В то же время были произведены фотофиксации памятника фотографом А.А. Москвалевым и детальное обследование В.Е. Нусовым и В.А. Голубевым. Впоследствии была опубликована подробная статья В.Е. Нусова в Трудах ФПИ и издана книга с описанием Таш-Рабата. По его данным Таш-Рабат в плане имеет форму прямоугольника с размерами сторон 35,70Х33,70 и включает тридцать одно помещение, из них 20 перекрыты куполами и одинадцать – сводами. Толщина наружных стен 1.80 – 2.20; 2.26 – 2.60 м. Внутренних – от 1.07 до 1.84 м. Все помещения разделены на три группы. К первой группе относится центральный коридор размером 16.25Х3.75 м как рапределительное помещение. Вторая группа расположена налево и направо от центрального коридора, имеет еще два коридора размерами 11.56Х2.75 м, от которых направо и налево размещено по три небольших помещения размером в среднем 3Х.070 – 2.90 м. Третья группа помещений

состоит из центрального купольного зала с размерами сторон четверика 9.25Х9.15 м и другими небольшими помещениями, расположенными вокруг него [10].

Уже позднее с своем издании “Таш Рабат” С.Я. Перегудова обобщая ранние исследования, излагает, что архитектурно-пространственная структура исторического обьекта караван-сарая Таш-Рабат сформирована как сложный организм, где в центре находится главное помещение в виде общего зала и вокруг него примыкают множество других комнат [11].

На рисунке 2 и 3 отражен план здания, где видно, что все пространство поделено на две части, сгруппированы в виде нескольких помещений и связаны проемом в торце центрального коридора. Размеры его — 15,5×3,8 м, высота до щелыги свода — 4,5 м. В коридоре вдоль стен устроены низкие суфы (20 см). Пол вымощен каменными плитами, уровень его от входа до противоположного конца повышается на 30 см [12].

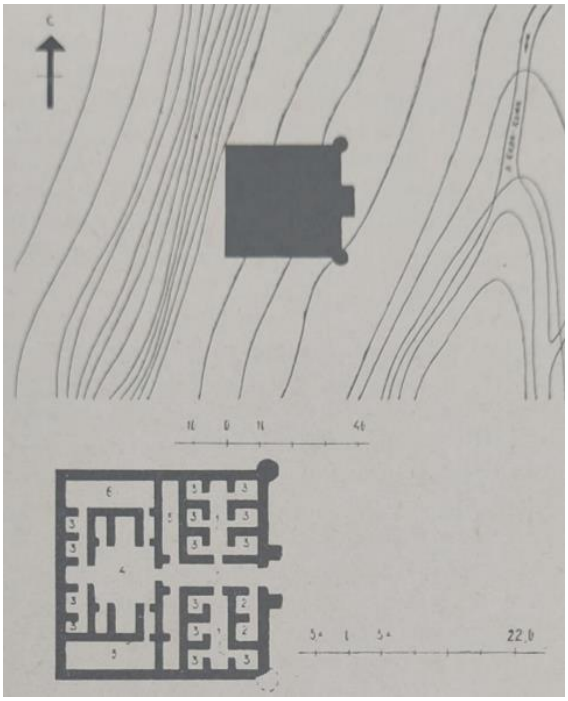


Рисунок 2 – План здания [10]

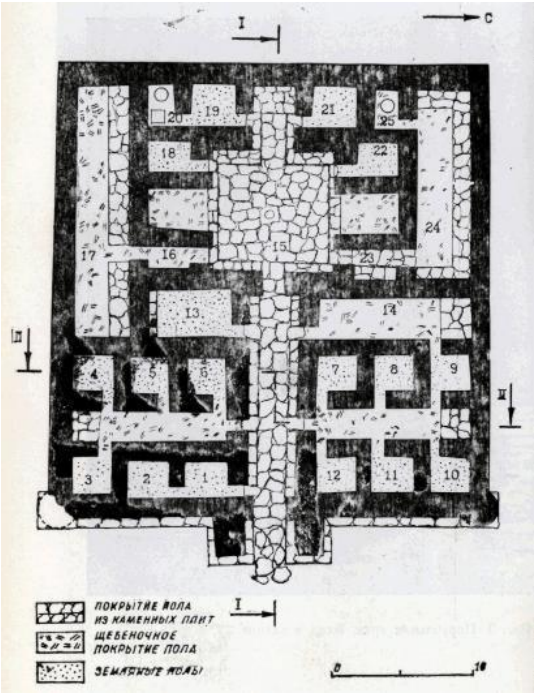


Рисунок 3 – План стен и полов [11]

Расположенный по центру коридор объединяет все помещения первой группы: две смежные комнаты, расположенные сразу у входа — очевидно, сторожевые (№ 1 и № 2), два боковых коридора (11,65×2,6 м) с суфами в торцах; десять небольших (от 7,7 до 8,9м2) квадратных комнат, одна из которых (№ 9) имеет второй выход и длинное (11,65×2,82) помещение № 14 с широкой суфой у торцевой стены. (На планах здания, опубликованных Н. Н. Палтусовым и В. Е. Нусовым, эта комната показана изолированной) [11].

Уровень полов в боковых коридорах и примыкающих к ним комнатах понижен относительно центрального коридора на 30 см. Покрытие полов в квадратных помещениях состоит из сланцевого щебня толщиной от 5 до 15 см по глиняному основанию. На полах лежал 3 — 5 сантиметровый слой золы с остатками древесного угля. При расчистке комнат № 1 — 14 в слоях поздних напластований и на уровне полов найдены обломки керамических сосудов [3]. Хотелось бы также отметить, что архитектурно-пространственная структура исследуемого объекта выполнена в той же стилистике как историческое архитектурное

зодчество Древнего Востока, Египта, Греции, Ирана, Индии, Средней Азии и Древней Руси, которое формировалось на основе канона гармонии. По принципу построения обобщенная формула представляет геометрическую прогрессию ряда вписанных квадратов Ип = И√2n [11].

На основании сделанного анализа С.Я. Перегудовой можно заключить, что архитектурно-композиционное построение выполнено в четкой гармонии и пропорциональности с соблюдением сетки динамических квадратов (рис.4) [12]. Таким образом, взяв за основу исторически датированные рисунки плана и выполнение на основании натурного обследования параметры, за основной исходный размер была взята длина главного восточного фасада (без выноса башен) и через геометрический центр главного купольного помещения построена сетка динамических квадратов. Математические исчисления сводились к принципу от целого к частному, что позволило в дальнейшем последовательно определить все размеры помещений и стен [3]. Результатом такого исчисления стали основные соразмерности плана, например, длина западного и восточного фасадов определена как И = 32,4 м. Опираясь на формулы С.Я. Перегудовой были сделаны расчеты остальных параметров здания и в тоже время для проверки осуществлены натурные обмеры. Сравнительными результатами стали небольшие погрешности, например на основании расчета длина боковых фасадов равна 34,5 м, а натурный обмер показал, что южная стена равна 34,8 м, северная 35,1 м. [3]. Полные данные такого расчета приведены в исследованиях и отражены в книге С.Я. Перегудовой “Таш Рабат” [12].

.

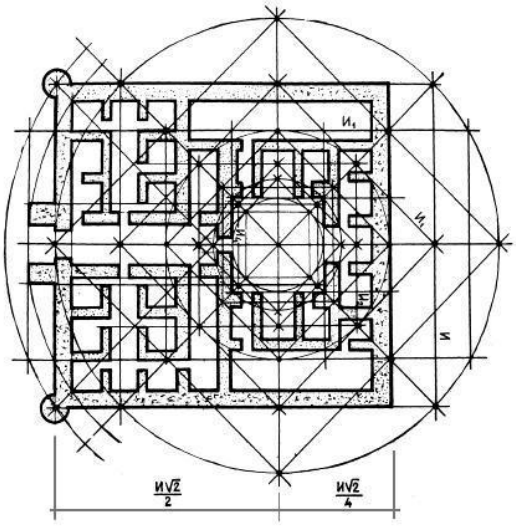


Рисунок 4 – Анализ геометрического построения плана [12]

Результат исследования

Как известно последние масштабные археологические работы проводились в 1978 г. и с тех пор велись только натурные обследования и теоретические исследования в области сохранения данного обьекта как памятника архитектурного наследия. На сегодняшний день Таш-Рабат как отмечалось выше один из уникальных памятников средневековой архитектуры Центральной Азии на Великом Шелковом пути и один из знаменательных исторических обьектов Кыргызстана. Он также представляет важный ресурс устойчивого туризма, сочетающий культурную ценность, природную привлекательность и потенциал

социально-экономического развития региона. Наиболее тщательные исследования были проведены в 1979-81 годах Научно-исследовательским бюро СНРПМ при Министерстве культуры КССР. На протяжении трех сезонов велись работы по археологическому исследованию и производству архитектурно-археологических обмеров, под руководством начала Помаскина Б.В., а затем эту работу продолжил профессор Иманкулов Д.Д. Однако на протяжении нескольких десятилетий обьект не был реставрирован и имеет многие проблемные задачи, поскольку за все время существования наблюдается, что значительное влияние на сохранность памятника оказывают природные и климатические особенности, в частности это сезонные и резкие колебания температуры вохдуха, направление ветра и сейсмическая активность региона. Дополнительно учитываются параметры текущего технического состояния, включая степень сохранности материалов, наличие деформаций и повреждений, что имеет принципиальное значение при разработке научно обоснованных реставрационных мероприятий. Комплексная оценка параметров Таш-Рабата формирует основу для его сохранения, реставрации и рационального использования в системе культурного и туристического потенциала региона.

Совокупность обозначенных проблем и факторов риска обусловила усиление государственного внимания к вопросам сохранения объектов историко-культурного наследия. В частности в 2022 году выходит Указ Президента Кыргызской Республики "О государственной поддержке по обеспечению сохранности, изучения и популяризации объектов историко-культурного наследия Кыргызской Республики". В 2023 году на основании данного Указа вступает в силу Постановление Кабинета министров Кыргызской Республики «Об утверждении Государственной программы по сохранению, изучению и проведению археологических раскопок объектов историко-культурного наследия "Көөнө тарых сырлары" на 2023-2027 годы [13]. В связи с этим для реализации одного из мероприятия Госпрограммы «по сохранению, изучению и проведению археологических раскопок объектов историко-культурного наследия «Көөнө тарых сырлары», проведено очередное обследование объекта с выездом экспедиционной научно- исследовательской группы представителей Архитектурной студии «Асмат» и НИПИ «Кыргызреставрация».

Основной целью являлось обследование современного состояния объекта, проведение архитектурных обмеров, подробная фотофиксация с последующей аннотацией видов разрушений, визуальное исследование материалов и разработки предложений последующей реставрации памятника. После проведения детального визуального изучения объекта были определены и зафиксированы важнейшие участки и проблемные зоны, которые были нанесены на планах вновь востановленных чертежей (рис.5.). Они обозначают следы разрушений от временных, природных и антропогенных факторов. При проведении фотофиксации были зафиксированы более 110 фрагментов стен, куполов, сводов[14]. После изучения и анализа всех фотографий были отобраны всего 12 фото с наиболее характерными видами разрушений в общей конструктивной структуре памятника. Фотографии выполнены членами исследовательской группы Акжолтоевой А.А., аннотированы Ситниковой Н.А. Следующий этап исследования включал комплексный анализ, характеризующий систему кладки стен, установление вида материала, определение состояния кладочных швов и соеденительных узлов, видимые дефекты кладки и потеря прочности швов, влияние влаги, возможные причины деформации конструкций [14].

По результатам проведенного исследования и анализа предложены научно обоснованные рекомендации по реставрации объекта и дана аргументация рекомендуемых методов, а также сделан «Альбом аннотированных фотографий с описанием видов разрушений поверхностей и конструкций объекта ИКН Таш-Рабат». В нем представлены результаты полевых и камеральных работ по проведению комплексных научных исследований памятника [15].

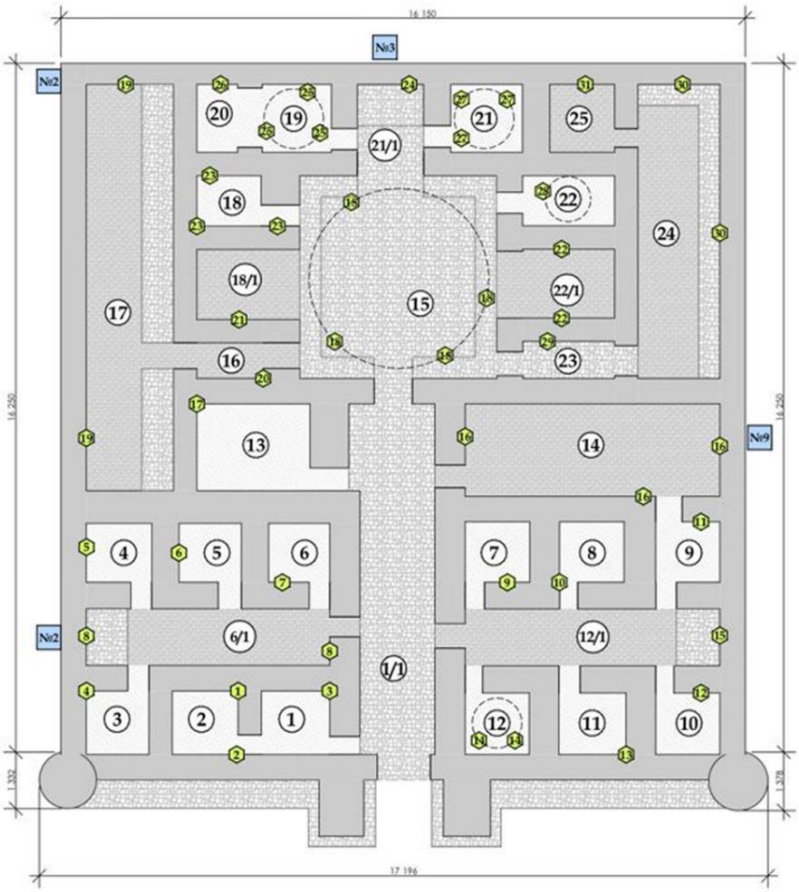


Рисунок 5 – Схема точек фиксации снимков (фото)

Заключение

Предоставленные материалы были обощены и послужили исходной основой для разработки проекта реставрации. Однако также были даны рекомендации для обязательного проведения дополнительных исследований и углубленного изучения причин износа и разрушения конструкций обькта.

После выполнения исследовательских работ и анализа полученных данных почти по каждому участку по фотофиксации проблемных зон были сформулированы основные характеристики тектонической системы здания. Даны возможные причины разрушений и дефформации, а также на основе анализа констатируются рекомендации для проведения обязательных реставрационных работ с аргуметацией эффективных методов восстановления и созранения первоначальной самобытности и уникальности памятника.

Список литературы

1. Валиханов Ч.Ч. Собр. соч.: в 5 т. Т.1. Алма-Ата, 1984.
2. Зеланд Н.Л. Кашгария и перевалы Тянь-Шаня // Пут. Зап. – Омск, 1888. С. 22 – 27.
3. Бартольд. В.В. Отчет о поездке в Среднюю Азию с научной целью. 1893 – 1894. – Соч. Т. IV. – М.: Восточная литература, 1966. С. 59 – 60.
4. Бартольд В.В. Очерки истории Семиречья. – Электронный ресурс https://studfile.net/preview/16571605
5. Пантусов, Н. Н. Таш-Рабат / Н. Н. Пантусов // ИИАК. – М., 1902. – Вып. 4. – С.
15-23.
6. Змиевский В.К. Таш-Рабат – архитектурный памятник//Сов. Киргизия, 1940. 28 июня. № 147. С. 4.
7. Бернштам А.Н. Историко-археологические очерки Центрального Тянь-Шаня и Памиро-Алая. МИА, №26. М. – Л., 1952, с. 100 – 101.
8. Засыпкин Б.Н. Выдающиеся памятники архитектуры Киргизии, - Фрунзе. 1954; См: ЦГА УзССР, ф. 2406, оп. 163, с. 141 – 147.
9. Нусов В. Архитектура Киргизии в древнейших времен до наших дней /В. Нусов.
10. – Фрунзе: Илим, 1971. – 150 с. (с. 42-43).
11. Перегудова, С. Я. Таш-Рабат / С. Я. Перегудова. – Фрунзе: Илим, 1989. – 68 с. –
12. ISBN 5-8355-0192-7.
13. Перегудова, С.Я. «Таш-Рабат» Архитектурный образ здания. Электронный ресурс
14. https://www.informer.kg/ru/tash_rabat/arhitektur/8547.html
15. Электронные ресурс: Постановление Кабинета министров Кыргызской Республики от 22 декабря 2023 года № 701 https://cbd.minjust.gov.kg/7-22925/edition/1354/ru
16. Подготовка документации для проведения реставрационных и консервационных работ на объекте ИКН Таш-Рабат. Проект., Т.1, Кн. 1. - Бишкек, 2024. С.91.
17. Подготовка документации для проведения реставрационных и консервационных работ на объекте ИКН Таш-Рабат. Раздел: Альбом аннотированных фотографий с описанием видов разрушений поверхностей и конструкций объекта ИКН Таш-Рабат. Проект., Т.1, Кн. 2. - Бишкек, 2024. С.75.
18. Бапанова Ж.Ж., Амангелдиева Г.Т. Анализ архитектурных решений старинных бань в городах Туркестан и Тараз / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2025.– №3(75). – стр.644- 658.

УДК 373.5:316.422

Бейшеев М.К. [1], А. Кенешбек уулу
И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова Бишкек, Кыргызская Республика

M.K. Beysheev, A. Keneshbek uulu
I.Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
[1]ORCID: 000020002-0866-4253
marat.beisheev@kstu.kg, keneshbekuulu@gmail.com

БИЛИМ БЕРҮҮ ЧӨЙРӨСҮНҮН XXI КЫЛЫМДАГЫ АРХИТЕКТУРАСЫ

АРХИТЕКТУРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ XXI ВЕКА

ARCHITECTURE OF THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF THE 21ST CENTURY

Макалада XXI кылымдагы билим берүү чөйрөсүнүн архитектуралык трансформациясы Кыргызстандын жана Финляндиянын мектептерин салыштырма талдоо мисалында каралат. Кыргызстандагы билим берүү чөйрөсүн калыптандырган советтик мектеп архитектурасынын өзгөчөлүктөрү, ошондой эле ийкемдүү жана адамга багытталган билим берүү мейкиндиктерин долбоорлоонун заманбап тенденциялары изилденет. Өзгөчө көңүл архитектуранын билим берүү процессине, социалдашууга жана окуучулардын инсандык өнүгүүсүнө тийгизген таасирине бурулат. Мейкиндиктин ийкемдүүлүгүнө, коммуникациялык зоналарды интеграциялоого жана ыңгайлуу окуу чөйрөсүн түзүүгө негизделген фин билим берүү системасынын заманбап ыкмалары талданат. Кыргызстандын билим берүү чөйрөсүнүн трансформациясынын мисалы катары Бишкектеги «Жаңы ой жүгүртүү мектеби» долбоору каралат. Типтүү советтик мектеп моделинен постиндустриалдык өнүгүүнүн элементтери бар заманбап билим берүү мейкиндиктерине акырындык менен өтүү жүрүп жатканы тууралуу жыйынтык чыгарылат.

Ачкыч сөздөр: *билим берүү чөйрөсүнүн архитектурасы, мектеп архитектурасы, билим берүү мейкиндиги, Финляндия, Кыргызстан, адамга багытталган мамиле, ийкемдүү мейкиндиктер, постсоветтик архитектура, заманбап мектеп, XXI кылымдын билим берүү чөйрөсү, мектептин трансформациясы, билим берүү кампусу.*

В статье рассматривается трансформация архитектуры образовательной среды XXI века на примере сравнительного анализа школ Кыргызстана и Финляндии. Исследуются особенности советской модели школьной архитектуры, сформировавшей образовательную среду Кыргызстана, а также современные тенденции проектирования гибких и человекоцентричных образовательных пространств. Особое внимание уделяется влиянию архитектуры на образовательный процесс, социализацию и развитие личности учащихся. Анализируются современные подходы финской образовательной системы, основанные на гибкости пространства, интеграции коммуникационных зон и создании комфортной среды обучения. В качестве примера трансформации образовательной среды Кыргызстана рассматривается проект «Школа нового мышления» в Бишкеке. Делается вывод о

постепенном переходе от типовой советской модели школы к современным образовательным пространствам общества с элементами постиндустриального развития.

Ключевые слова: *архитектура образовательной среды, школьная архитектура, образовательное пространство, Финляндия, Кыргызстан, человекоцентричный подход, гибкие пространства, постсоветская архитектура, современная школа, образовательная среда XXI века, трансформация школы, образовательный кампус.*

The article examines the transformation of the architecture of the educational environment in the 21st century through a comparative analysis of schools in Kyrgyzstan and Finland. It explores the features of the Soviet model of school architecture that shaped the educational environment of Kyrgyzstan, as well as contemporary trends in the design of flexible and human-centered educational spaces. Special attention is given to the influence of architecture on the educational process, socialization, and the personal development of students. The article analyzes contemporary approaches in the Finnish educational system, which are based on spatial flexibility, the integration of communication zones, and the creation of a comfortable learning environment. As an example of the transformation of Kyrgyzstan's educational environment, the "School of New Thinking" project in Bishkek is examined. A conclusion is made about the gradual transition from the typical Soviet school model to modern educational spaces of a society with elements of post-industrial development.

Key words: *architecture of the educational environment, school architecture, educational space, Finland, Kyrgyzstan, human-centered approach, flexible spaces, post-Soviet architecture, modern school, educational environment of the 21st century, school transformation, educational campus.*

Для цитирования: Бейшеев М.К., А. Кенешбек у. Билим берүү чөйрөсүнүн XXI кылымдагы архитектурасы / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3 (79) – стр. 16 - 25.

Киришүү

Азыркы дүйнөдө билим берүү чөйрөсүн долбоорлоо белгилүү бир принциптердин жана тенденциялардын негизинде жүргүзүлөт, бирок билим берүүдө архитектуранын ролун да эске алуу зарыл. Архитектура жалпы жонунан адамдын билим алуусуна таасир бере алабы жана постиндустриалдык коомдо билим берүү чөйрөсүнүн объектилери кандай болушу керек? Мурдагы Советтер Союзунун аймагындагы учурдагы объектилерге талдоо жүргүзүү зарыл, анткени бул биздин тарыхыбыздын ажырагыс бөлүгү болуп саналат. Ошол мезгилде колдонулган фронталдык окутуу системасы мамлекеттин калкты мүмкүн болушунча кыска убакытта билим берүү чөйрөсү менен камсыз кылуу талабына байланыштуу болгон. Ошондуктан советтик архитекторлор мектептердин типтүү долбоорлорун иштеп чыгышкан, анда зарыл болгон жайлардын топтому каралган: фронталдык окутуу үчүн класстар, коридорлор, рекреациялар, коомдук зоналар, башкача айтканда бардык стандарттарга ылайык жабдылган мейкиндик түзүлгөн. Билим берүү чөйрөсүн долбоорлоо бирдиктүү билим берүү программасынын талаптарына жооп бериши керек эле. Бул схема конвейердик завод өндүрүшүн эске салган: окуучулар окшош принцип боюнча даярдалып чыгарылган. Тилекке каршы, мындай чөйрө инклюзивдүү билим берүүнү караган эмес [1].

Азыр, XXI кылымда, билим берүү чөйрөсүнө болгон суроо-талап өзгөрдү. Советтик конвейердик окуучуну даярдоо ыкмасынан айырмаланып, бүгүнкү күндө билим берүүдө окуучулардын кызыкчылыктарын жана муктаждыктарын эске алган адамга багытталган

мамиле актуалдуу болууда. Бул тууралуу Кристофер Александер айтып, «жандуу структуралар» концепциясын өнүктүргөн. Ал бүтүндүккө жана «жашоого» ээ болгон системаларды сүрөттөп, алардын жардамы менен архитектура адамга жакын жана табигый болоорун белгилеген. Ал мындай структуралардын 15 касиетин бөлүп көрсөткөн, алардын ичинде масштабдуулук, симметрия жана чек аралар бар [2]. Ошондой эле билим берүүнүн санариптешүүсү билим берүү программаларын кайра карап чыгууга таасирин тийгизди: индивидуалдык сабактарды, топтук ишти, балдардын ортосундагы баарлашууну жана долбоордук ишмердүүлүктү эске алуу зарыл болду. Окуу жайларынын архитектуралык мейкиндигин долбоорлоого болгон мамиле да өзгөрүүдө. Долбоорлоочулар мейкиндикти жаңы талаптарга ылайыкташтыруу керектигин түшүнүшүүдө Ар түрдүү жана ийкемдүү мейкиндиктерди түзүү: индивидуалдык иш үчүн чакан зоналарды, жамааттык ишмердүүлүк үчүн чоң мейкиндиктерди, ошондой эле трансформацияланып жана бириктирилип колдонулуучу жайларды түзүү зарыл.

Изилдөөнүн милдеттери

1. Постиндустриалдык өнүгүүнүн элементтери бар коом шартында билим берүү чөйрөсүнүн архитектурасынын инсандын калыптанышына жана билим берүү процессинин сапатына тийгизген таасирин изилдөө.
2. Билим берүүнү санариптештирүүнү, адамга багытталган мамилени жана ден соолукка пайдалуу, коопсуз чөйрөнү калыптандырууну эске алуу менен билим берүү мейкиндиктерин долбоорлоонун заманбап тенденцияларын аныктоо.
3. Кыргызстандын жана Финляндиянын мектептеринин архитектуралык-пландоо чечимдерин салыштырып, Кыргыз Республикасында келечектеги мектепти долбоорлоонун перспективдүү принциптерин аныктоо.
4. Кыргызстандын билим берүү чөйрөсүнүн трансформациясын изилдөө.

Талкуу

Бүгүнкү күндө билим берүү мейкиндигинин архитектурасы окуучулардын жүрүм-турумун, ой жүгүртүүсүн жана социалдык көндүмдөрүн калыптандырууда активдүү фактор катары каралууда. Ал имараттарды долбоорлоо аркылуу мектептеги өзгөрүүлөргө жана окуучулардын чыгармачыл потенциалын өнүктүрүүгө кандай жол менен таасир бекерин изилдейт. Мектептик коомчулуктарды мейкиндиктерди редизайн кылуу процессине тартуучу ыкмаларды иштеп чыгуу зарыл, бул архитектуралык жана педагогикалык максаттарды бириктирүүгө мүмкүнчүлүк берет[3]. Мектеп мейкиндиги салттуу окутуу моделдерин күчөтүшү да, ошондой эле жаңы өз ара аракеттенүү формаларын — долбоордук ишмердүүлүктү, өз алдынча окууну, топтук маселелерди чечүүнү — стимулдаштырышы да мүмкүн.

Постиндустриалдык коомдо, анда негизги баалуулуктар билим, чыгармачылык жана маалымат менен иштөө жөндөмү болуп саналган шартта, архитектуралык чөйрө «жашыруун педагог» ролун аткара баштайт. Ал окуучунун кантип кыймылдаарына, ким менен өз ара аракеттенерине, маалыматты кандай кабыл аларына жана билим берүү процессине канчалык активдүү катышарына таасир берет. Архитектуралык чөйрө билим берүү мейкиндиги окуучулардын катышуусун, социалдык инклюзияны жана алардын жыргалчылыгын кандайча колдой турганын түшүнүүгө шарт түзүшү керек. [4] Ачык мейкиндиктер коммуникацияны жана командалык ишти өнүктүрөт, ал эми трансформацияланууучу класстар окутууну ар түрдүү форматтарга — лекциядан тартып топтук долбоорлорго чейин — ылайыкташтырууга мүмкүнчүлүк берет. Ошентип, билим берүү чөйрөсүнүн архитектурасы окутуунун физикалык шарттарын гана эмес, окуучулардын жүрүм-турум моделдерин да калыптандырат. Ал өз алдынчалуулуктун, демилгелүүлүктүн, сынчыл ой жүгүртүүнүн жана

кызматташуу көндүмдөрүнүн өнүгүшүнө таасир берет. Механикалык жаттоо келечекте күтүлгөн натыйжаны бербейт, бул жерде «learning by doing» — активдүү катышуу аркылуу үйрөнүү принцибин эске алуу ылайыктуу, ал балдарда жоопкерчиликти жана биргелешип маселелерди чечүү жөндөмүн калыптандырат[5].

Заманбап мектептерди долбоорлоо билим берүүнүн санариптешүүсү жана жекелештирилген билим берүү траекторияларына өтүү менен байланышкан терең социалдык жана технологиялык өзгөрүүлөрдүн шартында өнүгүүдө. Салттуу моделден айырмаланып, анда мейкиндик фронталдык окутууга баш ийсе, бүгүнкү күндө ал адаптивдүү жана көп сценарийлүү мүнөзгө ээ болууда. Негизги тенденциялардын бири — адамга багытталган мамиле, мында мектеп архитектурасы окуучунун муктаждыктарына ылайыкташат. Бул жеке иштөө зоналарын, коммуникация үчүн ачык коомдук мейкиндиктерди, изилдөө иштерине арналган лабораторияларды жана сабактын түрүнө жараша өзгөртүлө турган трансформацияланууучу класстарды түзүү аркылуу ишке ашат. Комфорттуу, ден соолукка пайдалуу жана эстетикалык жактан сапаттуу чөйрө ар бир мектеп үчүн зарыл. Бирок мындай чөйрөнү функционалдуулукка, экологиялуулукка жана адамга кам көрүүгө негизделген ойлонулган мектеп дизайнысыз түзүү мүмкүн эмес.

Мейкиндиктин негизги параметрлери өзгөчө маанаге ээ: табигый жарык, желдетүү, акустика жана эргономика. Эгерде бөлмөдө таза аба жана жетиштүү инсоляция болбосо, эң кымбат жана визуалдык жактан кооз интерьер да бул кемчиликтерди толуктай албайт. Сапатсыз чөйрө окуучулардын ден соолугуна жана билим алуунун натыйжалуулугуна түздөн-түз таасир этет. Билим берүү мейкиндиги мектептин баалуулуктарын да чагылдырышы керек. Эгерде эркиндик жана тандоо мүмкүнчүлүгү жарыяланса, окуучулар мейкиндикти жана эмеректерди ийкемдүү пайдалануууга мүмкүнчүлүк алышы зарыл. Эгер мектеп ачыктык принцибин карманса, бул мейкиндиктердин визуалдык байланышы жана ачык-айкындуулугу аркылуу көрүнүшү керек. Маанилүү принциптердин бири — пассивдүү коопсуздук: сокур зоналардын жана туюк мейкиндиктердин жоктугу, көрүнүктүү коридорлор, гардеробдор жана санитардык түйүндөр, ошондой эле айнектөө жана видеокөзөмөл аркылуу визуалдык көзөмөлдү камсыз кылуу. Демек, сапаттуу мектеп чөйрөсү — бул ден соолуктун, коопсуздуктун, функционалдуулуктун жана билим берүү процессинин баалуулуктарына шайкештиктин айкалышы. Маанилүү тенденциялардын бири — кызматташтыкты жана чыгармачылыкты стимулдаштыруучу мейкиндиктерди түзүү болуп саналат. Архитектура мындан ары статикалык эмес, билим берүү методикасынын бир инструменти катары карала баштайт: ал долбоордук ишмердүүлүктү, топтук ишти жана дисциплиналар аралык өз ара аракеттенүүнү колдойт. Ошентип, заманбап билим берүү мейкиндиктери ийкемдүү, адаптивдүү жана көп функциялуу чөйрөлөр катары долбоорлонуп, ар түрдүү окутуу формаларын колдоого жана постиндустриалдык коомдун талаптарына жооп берүүгө жөндөмдүү болуп калыптанат.

XXI кылымда билим берүү чөйрөсүнүн архитектурасы окуу процессин калыптандыруунун маанилүү бөлүгү болуп калууда. Мурда мектеп негизинен окуучуларды жайгаштыруу үчүн функционалдык имарат катары каралса, бүгүнкү күндө билим берүү мейкиндиги көбүрөөк окутуунун, социалдаштыруунун жана инсанды өнүктүрүүнүн инструменти катары кабыл алынууда. Заманбап мектептерди долбоорлоодогу тенденциялар ар кандай билим берүү сценарийлерине ылайыкташууга жөндөмдүү, ийкемдүү жана адамга багытталган чөйрөнү түзүүгө багытталган. Адамдар менен мейкиндиктин өз ара аракеттенүү алкактарын узак убакыт бою изилдеген Герман Херцбергер – нидерландык архитектор, педагог теоретиктердин бири болуп саналат [6]. Өзгөчө кызыктуу аспект — Кыргызстандын жана Финляндиянын билим берүү чөйрөсүн салыштыруу, анткени, бул эки өлкө мектеп мейкиндигин уюштуруунун эки башка ыкмасын көрсөтөт. Кыргызстан менен Финляндия мектептери билим берүү чөйрөсүнө жана окутуу архитектурасына болгон эки ар башка

мамилени чагылдырат. Финляндиянын билим берүү системасы заманбап билим берүүнүн эң ийгиликтүү моделдеринин бири катары эсептелет, ал эми Кыргызстандын билим берүү чөйрөсү көп жагынан советтик системанын салттарын улантып, акырындык менен постиндустриалдык коомдун жаңы талаптарына ылайыкташууда. Эгерде Кыргызстандын салттуу мектеби көбүнчө советтик моделди улантса, анда фин мектептери ийкемдүүлүккө, индивидуалдуулукка жана окуучунун психологиялык комфортуна багытталган.

1-таблица. Кыргыз жана фин мектептеринин салыштырмалуу мүнөздөмөсү

Негизги чен-өлчөмдөр	**Кыргызстандын мектептери**	**Фин мектептери**
Окутуу ыкмасы	Окутуунун фронталдык системасы басымдуулук кылат: мугалим — билимдин негизги булагы	Адамга багытталган мамиле, окуучу билим берүү процессинин активдүү катышуучусуна айланат.
Мейкиндик архитектурасы	Совет доорундагы типтүү имараттар, коридордук система, стандарттуу класстар.	Ийкемдүү мейкиндиктер, өзгөртүлүп уюштурулуучу бөлмөлөр, баарлашуу жана долбоордук иш үчүн ачык аймактар
Класстарды уюштуруу	Туруктуу отургузуу тартиби бар бирдей кабинеттер.	Кыймылдатууга ыңгайлуу эмеректер, жеке жана топтук иш үчүн ар түрдүү мейкиндиктер.
Архитектуранын ролу.	**Архитектура биринчи кезекте функционалдык чөйрө катары кызмат кылат.**	**Архитектура билим берүү процессинин бир бөлүгү катары каралат.**
Баарлашуу	Вертикалдык модель: мугалим → окуучу	**Горизонталдык байланыш, окуучулар менен мугалимдердин биргелешкен иши**
Жекелештирүү	Бирдиктүү программа жана окуучуларга бирдей мамиле.	**Ар бир баланын кызыкчылыктарын жана өзгөчөлүктөрүн эске алуу**
Рекреациялык аймактар	Көбүнчө өтмө мейкиндик катары кызмат кылат	**Баарлашуу, эс алуу жана окуу үчүн жайлар катары колдонулат.**
Санариптештирүү	Жарым-жартылай киргизилет.	Санариптик технологиялар билим берүү процессине интеграцияланган
Жаратылыш менен байланыш.	Чектелген.	Табигый жарыкка, короолорго, көчөгө чыгууга жана жаратылыш менен байланышка чоң көңүл бурулат
Негизги максат	Массалык билим берүү жана стандартташтыруу	Жеке инсанды өнүктүрүү, өз алдынчалык жана сынчыл ой жүгүртүүнү калыптандыруу

1- Сүрөт. Фин мектептеринин мисалдары

Кыргызстанда сакталып калган советтик мектеп архитектурасы калкты билим берүү инфраструктурасы менен тез арада камсыз кылуу зарылчылыгынын шарттарында калыптанган. Ошондуктан негиз катары типтүү долбоорлор алынган, алар массалуулукка, тартипке жана билим берүү процессинин бир түрдүүлүгүнө багытталган. Мектеп мейкиндиги так функционалдык уюштуруу принциби боюнча түзүлгөн: класстар, узун коридорлор, рекреациялык зоналар жана коомдук жайлар.

Ал эми фин мектеби тескерисинче, баланын инсан катары өнүгүшүнө шарт түзгөн чөйрө катары калыптанган. Заманбап фин мектептеринде архитектура билим берүүнүн инструменти болуп калат: мейкиндик коммуникацияны, өз алдынчалуулукту, чыгармачылыкты жана долбоордук ишмердүүлүктү стимулдайт. Архитектуралык чөйрө окуу үчүн гана эмес, ошондой эле окуучунун социалдашуу жана психологиялык комфорт мейкиндиги катары долбоорлонот.

Бул тууралуу «класссыз мектеп» идеясын өнүктүргөн Пракаш Нэйр да белгилеген — ал динамикалык, ийкемдүү чөйрөдө окутуу өз ара аракеттенүү, долбоордук ишмердүүлүк жана чыгармачыл ой жүгүртүү аркылуу жүрөрүн сунуштайт. Анын долбоорлору окуучуларда кызматташуу, коммуникация жана өз алдынча үйрөнүү көндүмдөрүн өнүктүрүүгө багытталган [7]. Акыркы жылдары Кыргызстанда да билим берүү мейкиндиктерин долбоорлоого болгон мамиле акырындык менен өзгөрүп жатат. Санарип технологиялардын өнүгүшү, жаңы педагогикалык ыкмалар жана коомдун талаптарынын өзгөрүшү билим берүүдө архитектуранын ролун кайрадан карап чыгууга алып келүүдө.

Кыргызстандагы билим берүү чөйрөсүнүн трансформациясынын мисалы катары Бишкек шаарындагы «Жаңы ой жүгүртүү мектеби» долбоорун көрсөтүүгө болот. Бул долбоор салттуу советтик мектеп моделинен заманбап билим берүү чөйрөсүнө өтүү аракетин чагылдырат. Бишкекте «Жаңы ой жүгүртүү мектеби» ишин баштайт — инновациялык билим берүү тармагындагы жаңы форматтагы уникалдуу долбоор. Андагы окутуу илимий изилдөөлөргө жана алдыңкы эл аралык тажрыйбага таянып курулуп, окуучулар менен мугалимдердин мотивациясын, ой жүгүртүүсүн, ишкердик жөндөмдөрүн жана биргелешкен ишин өнүктүрүүгө багытталган. 7-, 8- жана 9-класстарга кабыл алуу ачылган, окутуу 2026-жылдын сентябрында башталат. Америкалык Борбордук Азия университетинин Инновациялык колледжи менен кызматташуу үзгүлтүксүз билим берүү траекториясын түзөт.

Мектеп өзүнчө мекеме катары эмес, кеңири билим берүү экосистемасынын бир бөлүгү болуп калат.

Сабаттуулук деңгээли жогорулаган сайын мугалимдин ролу дагы татаалдашат: интернет аркылуу окуучулар чоң көлөмдөгү маалыматка жетишет, ошондуктан көп суроолор жаралып, алардын баарына дароо жооп табуу кыйын болот. Ушуга байланыштуу билим берүү чөйрөсүндө холистикалык жыргалчылыкты камсыз кылуу зарыл — физикалык, менталдык, руханий, эмоционалдык, социалдык жана экологиялык аспекттерди камтуу. [2] «Жаңы ой жүгүртүү мектеби» долбоору Бишкекте постсоветтик салттуу моделден заманбап билим берүү чөйрөсүнө, Финляндиянын билим берүү принциптерине жакын системага өтүү аракетин көрсөтөт. Долбоор окутуу гана эмес, окуучулар үчүн ийкемдүү, ыңгайлуу жана көп функциялуу мейкиндикти калыптандырууга багытталган.

2 - Сүрөт. Бишкек шаарындагы «Жаңы ой жүгүртүү мектеби»

Эгер бул долбоорду фин мектептери менен салыштырсак, бир нече окшоштуктарды жана айырмачылыктарды белгилөөгө болот.

Критерий	**Жаңы мезгилдин мектеби (Бишкек)**	**Фин мектеби**
Архитектуралык концепция	Көп функциялуу аймактары бар заманбап ийкемдүү мейкиндик	Мейкиндик билим берүү методикасынын бир бөлүгү
Мейкиндиктик уюштуруу	Баарлашуу, долбоордук иш жана жеке окуу үчүн аймактар пайда болууда	Максималдуу ийкемдүү жана трансформацияланууучу чөйрө

Интерьер дизайны	Заманбап индустриалдык стиль, ачык инженердик элементтер, жумшак түстөр	Минимализм, табигый материалдар, үй шартындай атмосфера
Коомдук мейкиндиктер	Чоң актовый зал жана спорттук блок социалдык активдүүлүктүн борбору катары	Жалпы мейкиндиктер күн сайын окутуунун бир бөлүгү катары колдонулат
Эмерек жана чөйрө	Мобилдүү эмеректер жана ар кандай отургузуу сценарийлери колдонулат	Мейкиндик ар кандай окутуу форматтарына оңой ыңгайлашат
Окуучуга болгон мамиле	Катуу фронталдык моделден баш тартуу байкалат	Баланын жекелигине толук багытталуу
Технологиялар:	Заманбап техникалык жабдуу	Билим берүүгө санариптик технологиялардын жогорку денгээлде интеграцияланышы
Атмосфера	Көбүрөөк академиялык жана шаардык	Көбүрөөк «бейформалдуу» жана психологиялык жактан ыңгайлуу
Архитектура менен педагогиканын байланышы	Архитектура билим берүүчү куралы катары иштей баштайт	Архитектура жана педагогика бир убакта долбоорлонуп

Бишкек шаарындагы жаңы мектептин архитектуралык көлөмүн визуалдык кабыл алуу — функционалдуулукка, санариптик чөйрөгө жана айкын визуалдык идентификацияга басым жасалган заманбап мектептин концептуалдык образын чагылдырат. Архитектура эл аралык деңгээлдеги жаңы муундагы билим берүү кампустарына окшош: компакттуу шаардык көлөм, модулдук формалар, чоң терезе тешиктери жана навигация үчүн түстүү акценттер колдонулган. Имарат окуу менен мейкиндиктин байланышы боюнча илимий изилдөөлөргө негизделген академиялык мектеп моделине ылайык долбоорлонгон.

Бул заманбап дүйнөлүк тенденцияларга шайкеш келип, билим берүү чөйрөсү окуучулардын концентрациясына, мотивациясына, социалдашуусуна жана өз алдынчалуулугунун өнүгүшүнө таасир этерин көрсөтөт. Мектепте педагогика жаатындагы илимий-изилдөө программасы ишке ашырылат, ал окуучулардын жетишкендиктерине байланышкан маалыматтарга таянып, окутуу процессинин натыйжалуулугун жогорулатууга багытталган сунуштарды берет. «Өспүрүмдөр үчүн университет» деген жаңы билим берүү парадигмасы киргизилип, ал кесиптик карьерага даярдоого, инсандык өнүгүүгө жана келечекте реалдуу мүмкүнчүлүктөрдү түзүүгө багытталган. Бул дагы заманбап дүйнөлүк тенденцияларга шайкеш келет, мында билим берүү чөйрөсү окуучулардын көңүл буруусуна, мотивациясына, социалдашуу жана өз алдынча иштөө жөндөмдөрүнүн өнүгүшүнө түздөн-түз таасир берет. Бул мектептин бардык артыкчылыктарынын ичинен билим берүү чөйрөсүнүн психологиялык коопсуздугунун актуалдуулугун түшүнүү маанилүү — бул бардык катышуучулар үчүн психологиялык зомбулуктан эркин жана инсандык өнүгүүгө шарт түзгөн системалык абал болуп саналат[8]. Ошондой эле билим берүү экологиялык

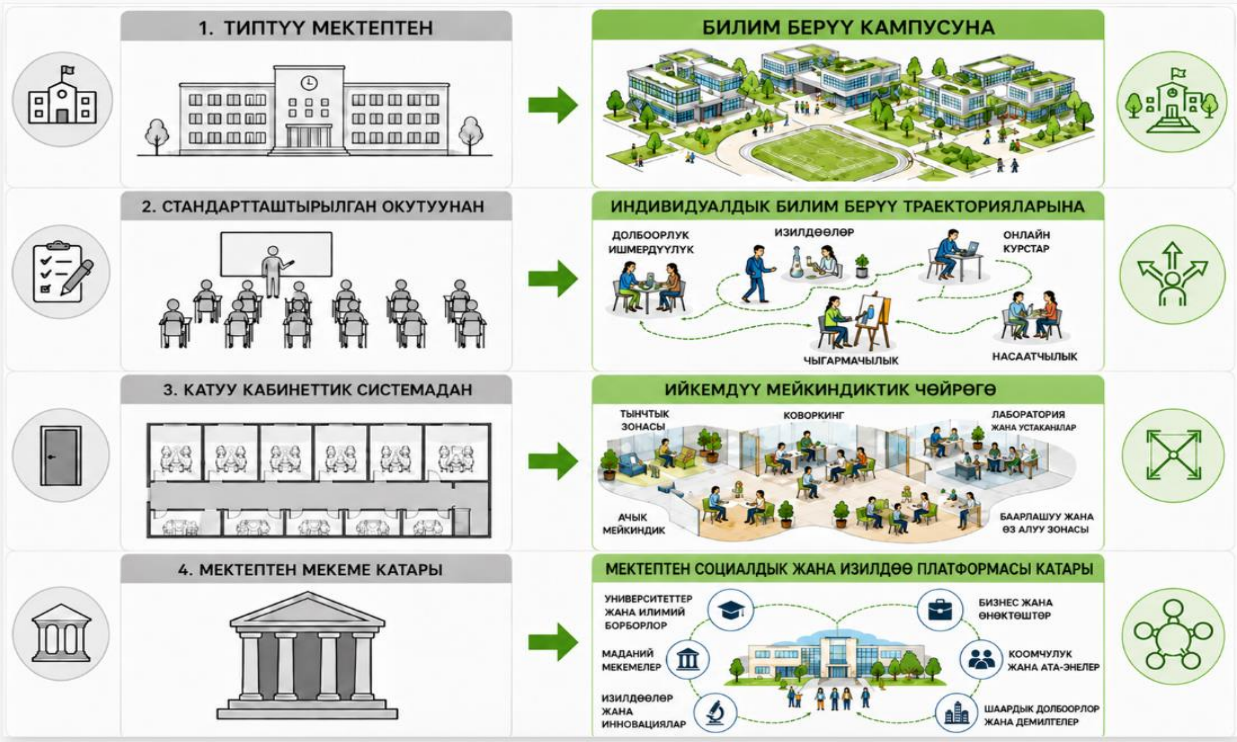
психологиясынын концепциясы да кызыктуу — ал инсан менен билим берүү чөйрөсүнүн өз ара байланышын изилдеген багыт [9].

Жыйынтык

XXI кылымдагы билим берүү чөйрөсүнүн архитектурасы трансформацияланып жатат, өзгөчө мектеп имараттарынын инфраструктурасы олуттуу өзгөрүүгө учурап жатат. 2026-жылы долбоорлонуп жаткан мектеп объектилери болжол менен 2029-жылы ишке ашырылат, ошондуктан бүгүнкү күндө жалпы билим берүү мекемелерин долбоорлоочу архитекторлор келечекти көрө билген стратегиялык мамиле кылышы зарыл. Кызыктуу жагдай — Бишкек шаарында жаңы муундагы мектептердин долбоорлору пайда болууда, алар лабораторияларды, спорттук зоналарды жана заманбап окуу мейкиндиктерин камтыйт.
Ошондой эле Кыргызстандагы архитектуралык практика туруктуу дизайн жана санариптик долбоорлоо принциптерине барган сайын көбүрөөк багыт алууда. Бишкектеги жаңы муундагы мектеп салттуу советтик «класс–коридор» схемасынан акырындап алыстап жатат. Коомдук мейкиндиктер көп функциялуу болуп, окуу жайларынын структурасы эркин жана ийкемдүү мүнөзгө ээ болууда, баарлашуу үчүн зоналар түзүлүүдө, спорт залы ачык универсалдуу мейкиндик катары долбоорлонуп, интерьер мобилдүүлүк, трансформацияланууучулук жана ачык коммуникациялар менен мүнөздөлөт. Ошентип, жаңы мектептин инфраструктурасы заманбап билим берүү чөйрөсүн долбоорлоонун талаптарына жооп берет. Социалдык көндүмдөр окуучуларды даярдоодо маанилүү роль ойнойт: натыйжалуу коммуникацияны түзө билүү билим берүү программасын ийгиликтүү өздөштүрүүгө өбөлгө түзөт [10].

Бирок кыргыз жана фин моделдеринин ортосунда дагы деле айырмачылык бар. Финляндия мектеби билим берүү философиясынын бир бөлүгү катары калыптанган, анда мейкиндик баланын өз алдынчалуулугунун, сынчыл ой жүгүртүүсүнүн жана эмоционалдык абалынын өнүгүшүнө түздөн-түз таасир берет. Кыргызстанда болсо мындай долбоорлор азырынча көбүнчө мурдагы билим берүү системасын модернизациялоо аракети катары каралат, анткени ал тарыхый жактан советтик моделге негизделген. Ошентсе да, «Жаңы ой жүгүртүү мектеби» сыяктуу долбоорлор маанилүү тенденцияны көрсөтөт: XXI кылымдагы билим берүү чөйрөсүнүн архитектурасы окуу процессинин жөн гана кабыгы катары эмес, окуучулар, мугалимдер жана коом ортосундагы өз ара аракеттенүүнү калыптандыруучу активдүү инструмент катары карала баштайт. Кыргызстан менен Финляндиянын билим берүү чөйрөсүн салыштыруу мектептерди долбоорлоодогу мамилелердин эволюциясын көрсөтөт: типтүү советтик моделдерден адамга багытталган ийкемдүү билим берүү мейкиндиктерине өтүү. Фин тажрыйбасы архитектура билим берүү процессинин сапатына, окуучулардын эмоционалдык абалына жана социалдык чөйрөнүн калыптанышына түздөн-түз таасирберерин далилдейт.

Ошентсе да, «Жаңы ой жүгүртүү мектеби» Бишкек шаарындагы билим берүү архитектурасынын трансформациясынын маанилүү мисалы катары каралышы мүмкүн. Долбоор төмөнкүдөй өтүүнү көрсөтөт:



3-Сүрөт. Билим берүү чөйрөсүн трансформациялоо үлгүсү

Кыргызстанда мындай ыкмалар жаңыдын гана жигердүү өнүгүп баштады, бирок заманбап долбоорлор билим берүү архитектурасынын ролун кайрадан карап чыгууга болгон умтулууну азыртадан эле көрсөтүүдө.

Адабияттар тизмеси

1. Монтессори, М. Монтессори ыкмасы / М. Монтессори - Рим 1912
2. Alexander, C. W. The Nature of Order / Christopher Wolfgang Alexander - NY 2001
3. Woolner ,Pamela Learning Environment Design and Use / Pamela Woolner, Paula Cardelino - UK 2022
4. Niemi, Kreeta Opening up learning environments: Liking school among students in reformed learning spaces / Kreeta Niemi, Jaana Minkkinen, Anna-Maija Poikkeus - Finland 2024
5. John Dewey Democracy and Education / John Dewey - США 1916
6. Hertzberger, Herman Lessons for Students in Architecture - Netherlands 1991
7. Prakash Nair A NEW Language of School Design / Prakash Nair - USA 2023
8. Баева, И.А. «Билим берүүдөгү психологиялык коопсуздук» / И.А. Баева - Санкт-Петербург 2002
9. Ясвин, В.А. Мектеп чөйрөсү ченөө объектиси катары: экспертиза, долбоорлоо, башкаруу / В.А. Ясвин *М.* 2019
10. Дерябо, С.Д. Пикир алмашуунун гроссмейстери / С.Д. Дерябо, В.А. Ясвин - М.2021
11. Золотов А.Д., Кенешов Т.С. Основные градостроительные предпосылки
12. формирования образовательных центров г. Бишкек / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2025. – №1(73) – .стр. 38-45.

УДК 72.025:351.853

Каткова Н.С.
И Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек, Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

N.S. Katkova
I. Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
natashakatkova@yandex.ru

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОХРАНЫ НАСЛЕДИЯ

МУРАСТЫ КОРГООНУН ЭЛ АРАЛЫК ПРИНЦИПТЕРИ

INTERNATIONAL PRINCIPLES OF HERITAGE CONSERVATION

Макалада ЮНЕСКО жана ИКОМОС документтеринин негизинде мурасты коргоонун эл аралык принциптеринин өнүгүшү каралат. Өзгөчө көңүл тарыхый курулуштарды сактоо ыкмаларынын эволюциясына - айрым эстеликтерди коргоодон тарыхый чөйрө менен маданий ландшафтты комплекстүү түшүнүүгө өтүү процессине бурулат. Коргоо объектисинин кеңейишине байланыштуу архитектуралык мурас объектилеринин абалын баалоо критерийлеринин өзгөрүшү талданат, анын ичинде тактык, бүтүндүк, тарыхый айлана-чөйрөнү жана шаардык чөйрөдөгү өзгөрүүлөргө мониторинг жүргүзүү түшүнүктөрү каралат.

Ачкыч сөздөр: *архитектуралык мурас, ЮНЕСКО, ИКОМОС, тарыхый чөйрө, маданий ландшафт, мурасты коргоо.*

В статье рассматривается развитие международных принципов охраны наследия на основе документов ЮНЕСКО и ИКОМОС. Особое внимание уделяется эволюции подходов к сохранению исторической застройки - от охраны отдельных памятников к комплексному пониманию исторической среды и культурного ландшафта. В связи с расширением предмета охраны анализируются изменения критериев оценки состояния объектов архитектурного наследия, включая понятия подлинности, целостности, исторического окружения и мониторинга изменений городской среды.

Ключевые слова: *архитектурное наследие, ЮНЕСКО, ИКОМОС, историческая среда, культурный ландшафт, охрана наследия.*

The article examines the development of international principles of heritage conservation based on UNESCO and ICOMOS documents. Particular attention is given to the evolution of approaches to the preservation of historic urban fabric - from the protection of individual monuments to a comprehensive understanding of the historic environment and cultural landscape. In connection with the expansion of the subject of protection, the study analyzes changes in the criteria for assessing the condition of architectural heritage objects, including the concepts of authenticity, integrity, historic setting, and monitoring of environmental changes.

Key words: *architectural heritage, UNESCO, ICOMOS, historic environment, cultural landscape, heritage conservation.*

Для цитирования: Каткова Н.С. Международные принципы охраны наследия / Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2026. – №3(79). – стр. 26 - 40.

Введение

В XXI веке сохранение архитектурного наследия является одной из ключевых задач современного общества, поскольку историческая застройка выступает важным носителем культурной памяти и отражает исторический опыт, традиции и ценности общества. Утрата объектов наследия приводит к обеднению историко-культурной идентичности.

В условиях интенсивной урбанизации, трансформации городской среды и роста антропогенной нагрузки традиционные методы охраны памятников уже не отвечают современным требованиям сохранения наследия. Международная практика показала необходимость перехода от охраны отдельных объектов к комплексному сохранению исторической среды, включающей архитектурную застройку, планировочную структуру, визуальные связи, историческое окружение и культурный ландшафт [5; 6; 13].

Формирование современных принципов охраны архитектурного наследия связано с деятельностью международных организаций ЮНЕСКО и ИКОМОС, разработавших основную нормативную и методологическую базу в сфере охраны наследия. Ключевое значение в развитии международной теории охраны имели Афинская хартия 1931 года, Венецианская хартия 1964 года, Конвенция ЮНЕСКО 1972 года, Вашингтонская хартия 1987 года, Венский меморандум 2005 года и Рекомендация об историческом городском ландшафте 2011 года [1; 4; 6; 7; 9].

Современные исследования в области охраны наследия сосредоточены на вопросах оценки состояния объектов культурного наследия, сохранения подлинности, мониторинга изменений исторической среды и превентивных мер сохранения [12; 13; 15; 18]. Аналогичные тенденции прослеживаются и в развитии реставрационной практики Кыргызстана, где формирование национальной школы реставрации происходило под влиянием международных принципов сохранения наследия и опыта стран СНГ [21]. Международные документы рассматривают состояние памятников не только с точки зрения их физической сохранности, но и в контексте историко-культурной ценности, целостности, степени подлинности, сохранения исторического окружения и характера изменений городской среды [1; 6; 8].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью систематизации международных подходов к сохранению архитектурного наследия и анализа эволюции критериев оценки состояния исторической застройки в условиях современного градостроительного развития.

Цель исследования - анализ развития международных подходов к сохранению архитектурного наследия на основе документов ЮНЕСКО и ИКОМОС, а также выявление изменений в принципах оценки состояния объектов наследия.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- проанализировать основные международные документы в сфере охраны наследия;
- проследить развитие подходов к сохранению исторической среды;
- выявить основные критерии оценки состояния архитектурного наследия.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при разработке методик обследования, фиксации и оценки состояния объектов архитектурного наследия, а также при подготовке научных и проектных материалов в области охраны исторической среды.

Теоретическая основа исследования

Современные подходы к сохранению архитектурного наследия основываются на понимании наследия как сложной историко-культурной системы, включающей не только отдельные памятники архитектуры, но и историческую среду, градостроительную структуру, культурный ландшафт и нематериальные аспекты исторического развития [6; 13].

В международной практике понятие архитектурного наследия постепенно эволюционировало от восприятия памятника как отдельного объекта к комплексному пониманию исторической среды. Такой метод получил развитие в документах ЮНЕСКО и ИКОМОС, рассматривающих историческую застройку как часть целостной пространственно-культурной системы [1; 5; 6].

Одними из ключевых понятий современной теории охраны наследия являются подлинность и целостность. Подлинность рассматривается как сохранение исторических материалов, архитектурной формы, функции, традиций и исторического окружения объекта, тогда как целостность отражает степень сохранности объекта и его взаимосвязь с окружающей средой [1; 4; 8; 12]. В современной международной практике данные категории являются основой для оценки состояния памятников архитектуры и определения степени сохранения их историко-культурной ценности [12; 18].

Особое значение в современных исследованиях приобретает средовой подход, основанный на анализе взаимосвязи архитектурных объектов с историческим окружением, ландшафтом, визуальными связями и процессами градостроительного развития [6; 7; 13]. В рамках данного подхода оценка состояния памятника включает не только фиксацию его физической сохранности, но и анализ изменений окружающей среды, характера вмешательств и факторов риска [7; 8; 15]. Подобное понимание наследия формирует переход от оценки отдельного объекта к комплексному анализу исторической городской среды как динамичной пространственно-культурной системы [13; 17].

Методы исследования

В исследовании использовалисся сравнительный анализ документов ЮНЕСКО и ИКОМОС; анализ положений международных хартий, конвернций и рекомендаций; систематизация критериев оценки состояния памяников архитектуры.

Материалом исследования послужили международные документы в области охраны наследия, принятые в период с 1931 по 2011 гг., включая Афинскую хартию, Венецианскую хартию, Конвенцию ЮНЕСКО 1972 г., Вашингтонскую хартию, Венский меморандум и Рекомендацию по историческому городскому ландшафту.

Теоретической основой исследования являются международные нормативные и рекомендательные документы ЮНЕСКО и ИКОМОС, а также научные труды, посвящённые проблемам сохранения архитектурного наследия и культурного ландшафта [12; 13; 15; 16; 18].

Таблица 1. - Основные международные документы в сфере охраны архитектурного наследия

Год	Документ	Значение для развития
1931	Афинская хартия по восстановлению исторических памятников	Формирование принципов консервации и научной реставрации
1933	Афинская хартия CIAM (градостроительный манифест)	Город как целостная градостроительная система
1962	Рекомендации ЮНЕСКО о сохранении красоты и своеобразия ландшафтов и местностей	Формирование средового и ландшафтного подходов
1964	Венецианская хартия	Закрепление принципов подлинности и исторического окружения
1972	Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия	Формирование международной системы охраны наследия
1976	Рекомендаии ЮНЕСКО о сохранении и современной роли исторических районов	Развитие территориального подхода к охране исторической среды
1987	Вашингтонская хартия	Формирование принципов охраны исторических городов
2005	Венский меморандум	Интеграция наследия в современное развитие города
2005	Сианьская декларация о сохранении окружения построек и иторических мест	Значение исторического окружения и визуальных связей
2011	Рекомендация об историческом городском ландшафте	Интеграция наследия в систему устойчивого развития города

Представленные документы отражают последовательное развитие международных подходов к сохранению архитектурного наследия. Если ранние международные хартии были ориентированы преимущественно на охрану отдельных памятников и вопросы научной реставрации, то начиная со второй половины XX века внимание постепенно смещается к сохранению исторической среды, исторических районов и культурного ландшафта. В последующих документах развитие получают территориальный, средовой и ландшафтный подходы, а оценка состояния наследия начинает включать анализ пространственных, визуальных, функциональных и социально-культурных характеристик исторической городской среды [6; 7; 9; 13].

Первым международным документом в сфере охраны культурного наследия стала Афинская хартия 1931 года, принятая на Первом международном конгрессе архитекторов и специалистов по охране памятников в Афинах [2]. Документ заложил основы

международного сотрудничества в области реставрации и сформировал базовые принципы научного подхода к сохранению архитектурного наследия.

Афинская хартия закрепила отказ от стилистического восстановления памятников в пользу их консервации и сохранения исторической подлинности. В документе подчёркивалась необходимость уважительного отношения к историческим наслоениям различных эпох, применения научных методов реставрации и учёта архитектурного окружения памятников [2]. Основное внимание при этом уделялось самому памятнику как самостоятельному объекту охраны.

Несмотря на преобладание объектного подхода, Афинская хартия стала важным этапом формирования международной теории охраны наследия. Документ впервые обозначил необходимость систематического наблюдения за состоянием памятников, научной фиксации реставрационных работ и учёта архитектурного окружения объекта [2]. В дальнейшем данные положения получили развитие в последующих хартиях и рекомендациях ЮНЕСКО и ИКОМОС.

Таблица 2. - Основные положения Афинской хартии 1931 года

№ п/п	Принцип	Содержание	Значение для оценки состояния
1	Научная реставрация	Проведение реставрационных работ на научной основе	Формирование принципов профессиональной оценки состояния памятников
2	Консервация	Приоритет сохранения подлинных элементов	Оценка степени сохранности исторической материи
3	Сохранение исторических наслоений	Уважение к элементам различных исторических периодов	Анализ многослойности и исторической эволюции памятника
4	Использовани е современных технологий	Допустимость современных материалов при сохраненении исторического облика	Оценка характера и допустимость вмешательств
5	Мониторинг	Необходимость постоянного наблюдения за состоянием памятников	Формирование системы реулярного обследования объектов наследия

Афинская хартия 1931 года заложила основы международной системы охраны архитектурного наследия, сформировав принципы научной реставрации, консервации и сохранения подлинности памятников. Несмотря на преобладание объектного подхода, документ обозначил необходимость учёта архитектурного окружения и регулярного контроля состояния объектов наследия.

Следующим этапом развития международной архитектурно-градостроительной мысли стала Афинская хартия CIAM 1933 года [3]. В отличие от Афинской хартии 1931 года, данный документ не являлся нормативным актом в сфере охраны наследия, а представлял собой градостроительный манифест, направленный на переосмысление функций и структуры современного города.

В хартии CIAM город рассматривался как единая функциональная система, включающая жилые, производственные, рекреационные и транспортные зоны [3]. Несмотря на преобладание идей модернистского градостроительства, документ впервые обозначил значение пространственной организации городской среды и взаимосвязи отдельных элементов городской структуры. Идеи функционального и пространственного анализа города впоследствии оказали влияние на развитие теории сохранения исторической городской среды [15; 16].

Значение Афинской хартии 1933 года заключается в формировании представления о городе как о целостной пространственной системе. В дальнейшем данный подход способствовал развитию территориальных методов анализа исторической застройки [12; 15].

Развитие пространственного подхода в международной теории охраны наследия способствовало формированию более широкого понимания культурного наследия, учитывающего не только отдельные архитектурные объекты, но и их природно-ландшафтное окружение. Существенную роль в этом процессе сыграли Рекомендации ЮНЕСКО по сохранению красоты и своеобразия ландшафтов и местностей 1962 года [5].

В отличие от ранних хартий, ориентированных преимущественно на охрану отдельных памятников или градостроительных структур, данный документ был направлен на сохранение природной и культурной среды в целом. Впервые на международном уровне было закреплено положение о том, что ландшафт, панорамные виды, визуальные связи и характер окружающей застройки являются важной частью восприятия и культурной ценности объектов наследия [5].

Особое внимание уделялось взаимосвязи памятника с окружающим пространством, а также влиянию хозяйственной деятельности и градостроительных изменений на состояние исторической среды. Документ закрепил необходимость интеграции охраны ландшафта в систему территориального и градостроительного планирования [5; 11].

Рекомендации ЮНЕСКО 1962 года существенно расширили представления об исторической среде, включив в систему оценки состояния ландшафтные характеристики, визуальные связи и факторы градостроительного воздействия. В дальнейшем данные положения получили развитие в концепциях исторического городского ландшафта и управления изменениями городской среды [6; 7; 13; 20].

Венецианская хартия (Международная хартия по консервации и реставрации памятников и исторических мест) является одним из основополагающих международных документов в области охраны архитектурного наследия. Документ был принят в 1964 году на II Международном конгрессе архитекторов и технических специалистов по историческим памятникам и утверждён ИКОМОС в 1965 году, что придало ему статус ключевого методологического ориентира в международной реставрационной практике [1].

Венецианская хартия закрепила научный и междисциплинарный характер охраны наследия, рассматривая памятник одновременно как историческое свидетельство и произведение искусства [1; 12]. Одним из важных положений документа стало расширение самого понятия исторического памятника. Согласно статье 1 Хартии: «The concept of historic monument embraces not only the single architectural work but also the urban setting in which is found the evidence of a particular civilization, a significant development or a historic event» [1] («Понятие памятника распространяется «не только на отдельное архитектурное произведение, но и на городскую и сельскую среду, в которой обнаруживаются

свидетельства определённой цивилизации, значительного развития или исторического события».) Данная формулировка закрепила понимание памятника в неразрывной связи с его историческим окружением [12; 16].

Важнейшим вкладом Венецианской хартии стало формирование принципа подлинности как основы сохранения культурного наследия. В документе были закреплены уважительное отношение к подлинному материалу, сохранение исторических наслоений, ограничение реконструктивных вмешательств и необходимость научного обоснования реставрационных работ (ст. 9–11) [1]. Данные положения оказали значительное влияние на развитие международной реставрационной теории и современных методик оценки состояния объектов наследия [12; 18].

Особое внимание в Хартии уделяется сохранению исторического окружения памятников, допустимости их современного использования, различимости новых элементов и обязательной научной фиксации всех этапов реставрации [1]. Важным положением документа стало признание необходимости постоянного ухода и профилактического сохранения памятников как обязательного условия их долговременной охраны.

В преамбуле Хартии подчёркивается, что памятники рассматриваются как общее наследие человечества, ответственность за сохранение которого возлагается на современное общество [1]. По мнению I. C. Berg, положения Венецианской хартии сохраняют актуальность и в современной практике охраны наследия, особенно в вопросах сохранения исторического окружения, культурного ландшафта и оценки воздействия современных вмешательств на историческую среду [19].

Таблица 3. - Основные положения Венецианской хартии 1964 года

Раздел	Статья	Ключевое положение	Значение для оценки состояния
Понятие памятника	1	Памятник рассматривается в связи с историческим окруженим	Оценке подлежит не только объект, но и его среда
Научный характер охраны	2	Консервация и реставрация основаны на научных методах	Формирование научной диагностики состояния
Цели охраны	3	Памятник является историческим свидетельством и произведением искусства	Учёт как физического состояния, так и историко-культурной ценности.
Консервация	4	Основой сохранения является постоянный уход и профилактика.	Оценка степени утрат и необходимости профолактических мер
	5	Памятник должен сохраниться в его истоическом окружении.	Анализ влияния функционального использования на состояние объекта.
	6	Памятник сохраняется в своём историческом окружении	Оценка состояния исторической среды и ландшафта.
	7	Перемещение памятника	Фиксация утраты подлинного

		допустимо лишь в исключительных случаях	местоположения как критерия состояния.
	8	Демонтаж элементов допускается только в целях их сохранения	Выявление допустимых и недопустимых вмешательств
Реставрация	9	Реставрация прекращается там, где начинается гипотеза.	Ограничение реконструктивных интерпретаций при оценке.
	10	Применене современных технологий допускаются при научном обосновании .	Возможность фиксации инженерных усилений.
	11	Исторические наслоения подлежат сохранению.	Оценка многослойности как показателя эволюции объекта.
	12	Новые элементы должны быть различимы от подлинных.	Выявление и фиксация новодела.
	13	Дополнения допустимы при сохранении композиции и среды.	Анализ допустимости изменений.
Исторические достопримечательные места	14	Комплексная охрана архитектурных ансамблей	Переход к территориальной оценке состояния.
Археология	15	Анастилоз допускается как метод сохранения.	Критерии оценки состояния руин и археологических объектов.
Документирование	16	Обязательная научная фиксация всех этапов работ	Документирование как неотъемлемая часть оценки состояния.

Подходы, сформулированные в Венецианской хартии, отражают уровень развития теории охраны наследия середины XX века. Вместе с тем положения Хартии заложили методологическую основу для последующего расширения предмета охраны — от отдельных сооружений к историческим районам, культурным ландшафтам и исторической среде в целом, что получило дальнейшее развитие в последующих документах ЮНЕСКО и ИКОМОС [4; 6; 9].

Следующим этапом развития международных принципов охраны наследия стала Конвенция ЮНЕСКО об охране всемирного культурного и природного наследия 1972 года [4]. Документ сформировал международную систему выявления, охраны и сохранения объектов всемирного наследия, представляющих выдающуюся универсальную ценность.

Конвенция закрепила понимание культурного и природного наследия как общего достояния человечества, ответственность за сохранение которого несут не только отдельные государства, но и международное сообщество [4]. В отличие от предшествующих хартий, ориентированных преимущественно на принципы реставрации и консервации, документ формирует систему международного сотрудничества, мониторинга и правовой защиты объектов наследия.

Особое значение Конвенции связано с введением критериев оценки выдающейся универсальной ценности объектов наследия, а также с формированием механизмов

международного контроля за их состоянием [4]. В систему оценки состояния объектов включаются требования сохранения подлинности, целостности и исторического окружения, что в дальнейшем становится основой международной практики мониторинга объектов всемирного наследия [6; 12].

Конвенция 1972 года существенно расширила международную систему охраны наследия и стала основой для дальнейшего развития принципов комплексной оценки состояния исторической среды.

Следующим этапом развития международных подходов к охране наследия стала Рекомендация ЮНЕСКО о сохранении и современной роли исторических районов 1976 года [5]. Документ существенно расширил понимание предмета охраны: в центре внимания оказались не отдельные здания и архитектурные ансамбли, а исторические районы как целостная городская среда.

В Рекомендации подчёркивается, что исторические районы являются носителями культурной идентичности и должны сохраняться не только как материальная структура, но и как пространство повседневной жизни, включающее планировочную структуру, функции, масштаб застройки и визуальные связи [5]. Охрана наследия впервые напрямую связывается с инструментами градостроительного регулирования и территориального управления.

Документ закрепил необходимость комплексной оценки состояния исторической застройки на уровне района, включая анализ сохранности планировочной структуры, характера застройки, степени утрат, а также воздействия современных вмешательств [5]. Территориальный подход к оценке наследия получает дальнейшее развитие, а историческая среда начинает рассматриваться как динамичная система, подверженная постоянным изменениям [13; 15].

Особое внимание в Рекомендации уделяется вопросам интеграции охраны наследия в процессы современного градостроительного развития. Новое строительство и реконструктивные вмешательства должны учитывать исторический характер среды, не нарушая её масштаб, композиционные связи и визуальное восприятие [5].

Рекомендация ЮНЕСКО 1976 года закрепила понимание исторического района как части развивающейся городской структуры и существенно расширила подходы к оценке состояния исторической среды, включив в них пространственные, функциональные и градостроительные характеристики.

Важным этапом развития международных принципов охраны исторической среды стала Вашингтонская хартия 1987 года — Международная хартия по охране исторических городов и городских районов [9]. Документ развил положения Венецианской хартии и Рекомендации ЮНЕСКО 1976 года, закрепив понимание исторического города как целостной пространственной и культурной системы.

В отличие от предшествующих документов, внимание в Хартии сосредоточено не только на сохранении отдельных памятников, но и на охране исторической городской структуры, включая планировку, масштаб застройки, силуэт города, функциональные связи и характер городской среды [9]. Исторический город рассматривается как результат длительного исторического развития, в котором архитектурные, пространственные и социальные элементы формируют единую культурную среду. Подобный подход находит отражение и в современных исследованиях городской среды, где формирование жилых

кварталов рассматривается во взаимосвязи с историческими, социальными и этнокультурными факторами территориального развития [23].

Документ подчёркивает необходимость интеграции охраны наследия в процессы социального и экономического развития города. Особое значение придаётся сохранению исторической идентичности городской среды в условиях её современного функционирования [9]. В связи с этим оценка состояния исторической застройки начинает включать не только анализ физической сохранности объектов, но и исследование пространственной структуры, функционального использования территории и характера градостроительных преобразований.

Развитие данных подходов получило теоретическое осмысление в исследованиях F. Choay, D. Rodwell и G. Ashworth, рассматривающих исторический город как носитель культурной памяти и важный элемент устойчивого развития городской среды [15; 16; 17]. По мнению J. Jokilehto и J. Stubbs, именно во второй половине XX века международная теория охраны наследия окончательно переходит от консервации отдельных памятников к комплексному сохранению исторической среды [12; 14].

Вашингтонская хартия 1987 года закрепила переход к комплексному пониманию исторического города и расширила критерии оценки состояния исторической среды, включив в них пространственные, функциональные и социокультурные характеристики.

Следующим этапом развития международных подходов стал Венский меморандум 2005 года «Всемирное наследие и современная архитектура – управление историческим городским ландшафтом» [7]. Документ был разработан в условиях активной урбанизации и усиления воздействия современной архитектуры на исторические города.

В отличие от Вашингтонской хартии, сосредоточенной преимущественно на сохранении исторической структуры города, Венский меморандум акцентирует внимание на вопросах управления изменениями городской среды [7]. Исторический город рассматривается как многослойная и динамично развивающаяся система, включающая архитектурное наследие, панорамные виды, силуэт города, природный ландшафт и визуальные связи.

Особое внимание в документе уделяется взаимодействию современной архитектуры и исторической застройки. Впервые на международном уровне в систему охраны наследия включаются вопросы оценки воздействия нового строительства на исторический городской ландшафт, включая анализ высотных доминант, панорам, визуальных коридоров и характера городской среды [7].

Венский меморандум существенно расширил подходы к оценке состояния исторической среды, сместив акцент с сохранения отдельных объектов и городской структуры на управление процессами трансформации исторического города в условиях современного развития.

Дальнейшее развитие подходов, связанных с сохранением исторической городской среды и управлением её изменениями, получило отражение в Сианьской декларации ИКОМОС 2005 года [8]. Если Венский меморандум был сосредоточен преимущественно на вопросах взаимодействия современной архитектуры и исторического городского ландшафта, то Сианьская декларация акцентировала внимание на значении исторического окружения объекта наследия и его роли в сохранении культурной ценности памятника.

Документ подчёркивает, что ценность объектов наследия определяется не только их материальной сохранностью, но и характером окружающей среды, включающей пространственные, визуальные, природные и культурные взаимосвязи [8]. Особое внимание уделяется понятию ***setting***, которое определяется как «The setting of a heritage structure. site or area is defined as the immediate and extended environment that is part of or contributes to its significance and distintive character» [8]. («Непосредственное и расширенное окружение, являющееся частью значения и отличительного характера объекта наследия»). Тем самым историческое окружение рассматривается не как фон памятника, а как самостоятельный элемент его культурной ценности.

В Сианьской декларации развитие получает положение о том, что изменение окружающей среды способно существенно повлиять на подлинность и целостность объекта наследия [8]. В связи с этим оценка состояния объектов культурного наследия начинает включать анализ визуального воздействия, характера окружающей застройки, пространственных связей, панорамных видов и изменений ландшафта.

Развитие средового и ландшафтного подходов к охране наследия также получило отражение в Европейской ландшафтной конвенции 2000 года, рассматривающей ландшафт как важную часть культурной и природной среды человека [11]. В документе подчёркивается значение ландшафта как фактора культурной идентичности, качества среды обитания и устойчивого развития территорий [11]. В отличие от предыдущих международных документов, ориентированных преимущественно на исторические города и памятники, Конвенция расширяет понятие наследия до уровня культурного ландшафта как элемента повседневной среды человека.

По мнению F. Matero, современная теория охраны наследия всё больше ориентируется на сохранение культурного значения объектов и среды, а не только их физической материи [18]. Подобный подход предполагает комплексный анализ подлинности, целостности, исторического контекста и характера изменений исторической среды.

Документы 2000–2005 годов существенно расширили международные подходы к охране наследия. Если ранее основное внимание уделялось сохранению исторических объектов и городской структуры, то в начале XXI века в систему оценки состояния наследия включаются историческое окружение, визуальные связи, ландшафтные характеристики и процессы трансформации городской среды. В результате охрана наследия начинает рассматриваться как система управления историческим городским ландшафтом и его пространственно-культурным контекстом [7; 8; 11; 13].

Логическим продолжением развития средового и ландшафтного подходов стала Рекомендация ЮНЕСКО об историческом городском ландшафте 2011 года Historic Urban Landscape Recommendation опрелеляется как: «the urban area understood as the result of a historic layering of cultural and natural values and attributes» [6]. («Городская территория, рассматриваемая как результат исторического наслоения культурных и природных ценностей и характеристик»). Документ объединил принципы сохранения исторической среды, устойчивого развития и управления изменениями городской территории.

В Рекомендации исторический городской ландшафт рассматривается как результат исторического наслоения культурных и природных ценностей, включающий не только архитектурные объекты и историческую застройку, но и топографию, ландшафт, пространственную организацию, визуальные связи, социальные процессы и нематериальные

аспекты городской среды [6]. В центре внимания оказывается уже не отдельный памятник или район, а историческая городская среда как целостная и изменяющаяся система.

Документ существенно расширяет подходы к оценке состояния наследия. Помимо физической сохранности застройки, анализируются функциональные изменения территории, трансформация городской структуры, влияние транспортной инфраструктуры, изменение силуэта города и визуальных связей [6].

Отдельное внимание уделяется мониторингу изменений и управлению рисками, связанными с современным градостроительным развитием. В отличие от более ранних документов, ориентированных преимущественно на сохранение существующего состояния объектов, Рекомендация 2011 года рассматривает изменение городской среды как неизбежный процесс, требующий регулирования и комплексного управления [6].

Концепция Historic Urban Landscape получила дальнейшее развитие в исследованиях F. Bandarin и R. van Oers, рассматривающих исторический городской ландшафт как инструмент интеграции культурного наследия в процессы устойчивого развития современных городов [13]. Авторы подчёркивают необходимость перехода от охраны отдельных объектов к управлению исторической городской средой как живой и постоянно изменяющейся системой [13].

Практические аспекты внедрения концепции HUL рассматриваются в исследовании «Towards Operationalizing UNESCO Recommendations on Historic Urban Landscape», посвящённом механизмам интеграции принципов HUL в систему градостроительного регулирования и управления историческими территориями [20]. В работе подчёркивается значение междисциплинарного подхода, мониторинга изменений, общественного участия и анализа факторов риска при оценке состояния исторической среды [20].

Современные подходы к сохранению исторического городского ландшафта тесно связаны с концепциями устойчивого развития и сохранения культурной идентичности города. По мнению D. Rodwell и G. Ashworth, историческая среда являеься важным ресурсом современного города, обеспечивающим преемственность культурного развития и сохранение его самобытности[15; 17]. В настоящее время наследие рассматривается не только как совокупность материальных объектов, но и как система культурных традиций и форм художественного выражения. Подобная тенденция прослеживается и в современном искусстве Кыргызстана, где традиционные формы получают новое осмысление в условиях современной культуры [22].

Рекомендация ЮНЕСКО 2011 года систематизировала ландшафтный подход к охране наследия и существенно расширила критерии оценки состояния исторической среды. В систему анализа были включены пространственные, визуальные, функциональные и социально-культурные характеристики городской среды, а сама охрана наследия стала рассматриваться как процесс управления изменениями исторического городского ландшафта.

Результаты исследования

Современные подходы к оценке состояния архитектурного наследия основаны на принципах подлинности, целостности, мониторинга изменений и управления историческим городским ландшафтом. В результате охрана наследия рассматривается не только как сохранение отдельных объектов, но и как регулирование процессов развития исторической среды (рис. 1).

Период / ключевые документы	Объект охраны	Основные принципы	Подход к оценке
1930-е годы Афинская хартия (1931)	Отдельный памятник архитектуры	• Консервация • Научная, обоснованная реставрация • Сохранение подлинности	Оценка физической сохранности и состояния исторической материи
1960-е годы Рекомендации ЮНЕСКО (1962), Венецианская хартия (1964)	Памятник в связи с историческим окружением и ландшафтом	• Сохранение подлинности • Учет исторического окружения и визуальных связей	Анализ состояния объекта и его исторической среды
1970-е годы Конвенция ЮНЕСКО (1972), Рекомендации (1976)	Исторические районы и городская среда	• Комплексное сохранение исторической застройки • Интеграция охраны наследия в градостроительное планирование	Градостроительный и территориальный анализ
2000-е годы Венский меморандум (2005)	Историческая городская среда	• Управление изменениями • Интеграция современной архитектуры в исторический контекст	Анализ воздействия новой застройки на исторический городской ландшафт
2010-е годы Рекомендация ЮНЕСКО (2011) об историческом городском ландшафте (HUL)	Исторический городской ландшафт	• Интеграция наследия в устойчивое развитие городской среды • Многомерный и ориентированный на человека подход	Комплексный анализ среды с учетом природных, культурных, пространственных и социальных факторов

Рис. 1. Эволюция международных подходов к охране архитектурного наследия и критериев оценки состояния исторической среды

Источник: составлено автором на основе документов ЮНЕСКО и ИКОМОС.

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что международная система охраны наследия прошла путь от объектного к ландшафтноу и средовому мотоду. Если в Афинской и Венецианкой хартиях основное внимание уделялось сохранению материальной подлинности памятника, то современные документы рассматривают наследие как часть динамично развивающегося города.

Полученные выводы слгласуются с исследованиями Jokilehto (2025) [12], Bandarin F (2012) [13]. которые отмечают переход от охраны отдельных объектов к упревлению историческим ландшафтом.

Заключение

Проведённый анализ показал, что развитие международных принципов охраны наследия сопровождалось последовательным расширением предмета охраны - от отдельных памятников к исторической городской среде и культурному ландшафту.

Документы ЮНЕСКО и ИКОМОС сформировали переход от объектного подхода к комплексному анализу исторической среды, учитывающему пространственные, визуальные, функциональные и социально-культурные характеристики.

Список литературы

1. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964) [Электронный ресурс]. – ICOMOS, 1964. – URL: https://www.icomos.org/en/charters-and-texts

2. Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments [Электронный ресурс]. – ICOMOS, 1931. – URL: https://www.icomos.org/en/charters-and-text

3. Le Corbusier. The Athens Charter [Текст]. – New York: Grossman Publishers, 1973. – 95 p.

4. Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage [Электронный ресурс]. – UNESCO, 1972. – URL: https://whc.unesco.org/en/conventiontext/

5. Recommendation concerning the Safeguarding and Contemporary Role of Historic Areas [Электронный ресурс]. – UNESCO, 1976. – URL: https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-concerning-safeguarding-and-contemporary-role-historic-areas

6. Recommendation on the Historic Urban Landscape [Электронный ресурс]. – UNESCO, 2011. – URL: https://whc.unesco.org/en/hul/

7. Vienna Memorandum on “World Heritage and Contemporary Architecture – Managing the Historic Urban Landscape” [Электронный ресурс]. – UNESCO, 2005. – URL: https://whc.unesco.org/en/documents/6814

8. Xi’an Declaration on the Conservation of the Setting of Heritage Structures, Sites and Areas [Электронный ресурс]. – ICOMOS, 2005. – URL: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/xian-declaration.pdf

9. Charter for the Conservation of Historic Towns and Urban Areas (Washington Charter) [Электронный ресурс]. – ICOMOS, 1987. – URL: https://www.icomos.org/charters/towns_e.pdf

10. The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance [Электронный ресурс]. – Australia ICOMOS, 2013. – URL: https://australia.icomos.org/publications/charters/

11. European Landscape Convention [Электронный ресурс]. – Council of Europe, 2000. – URL: https://www.coe.int/en/web/landscape

12. Jokilehto, J. A History of Architectural Conservation [Текст] / J. Jokilehto. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2005. – 355 p.

13. Bandarin, F. The Historic Urban Landscape: Managing Heritage in an Urban Century [Текст] / F. Bandarin, R. van Oers. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2012. – 256 p.

14. Stubbs, J. Time Honored: A Global View of Architectural Conservation [Текст] / J. Stubbs. – Hoboken: Wiley, 2009. – 480 p.

15. Rodwell, D. Conservation and Sustainability in Historic Cities [Текст] / D. Rodwell. – Oxford: Blackwell Publishing, 2007. – 248 p.

16. Choay, F. The Invention of the Historic Monument [Текст] / F. Choay. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001. – 263 p.

17. Ashworth, G. Preservation, Conservation and Heritage: Approaches to the Past in the Present through the Built Environment [Текст] / G. Ashworth // Asian Anthropology. – 2011. – Vol. 10. – P. 1–18.

18. Matero, F. Ethics and Policy in Conservation [Текст] / F. Matero // Journal of the American Institute for Conservation. – 2008. – Vol. 47, № 3. – P. 167–175.

19. Berg, I. C. The Relevance of the 1964 Venice Charter: An Analysis of Its Contributions to the Conservation of Ancient Sites and Their Landscapes in the Contemporary Context [Электронный ресурс] / I. C. Berg // ResearchGate. – 2025. – URL: https://www.researchgate.net/publication/392510331_The_relevance_of_the_1964_Venice_Charter_an_analysis_of_its_contributions_to_the_conservation_of_ancient_sites_and_their_landscapes_in_the_contemporary_context

20. Towards Operationalizing UNESCO Recommendations on Historic Urban Landscape: A Position Paper [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.ne

21. Каткова Н.С. Кыргызская школа реставрации и международный опыт // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2025. – № 4 (76). – С. 954–960. DOI: 10.56634/16948335.2025.4.954-960. https://lib.kstu.kg/wp-content/uploads/2025/12/476-2025-Известия-КГТУ.pdf

22. Галимзянова К.В. Переосмысление традиций: развитие современного ювелирного искусства в Кыргызстане // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2025. – № 3 (75). – С. 666–675. DOI: 10.56634/16948335.2025.3.666-675. https://lib.kstu.kg/wp-content/uploads/2025/12/375-2025-Известия-КГТУ2.pdf

23. Шамырканов Р.А., Омуралиев Д.Д. Этнокультурное формирование жилого квартала // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2025. – № 3 (75). – С. 676–688. https://lib.kstu.kg/wp-content/uploads/2025/12/375-2025-Известия-КГТУ2.pdf

УДК 347.787.(575.2)

Кожокулова А.Н., Шаршенова К.С., Байчубекова Б.Т.
И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика,

A. N. Kojokulova , K.S. Sharshenova , B.T. Baichubekova
I. Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
aigul.kojokulova@kstu.kg, , k.sharshenova@kstu.kg. b.baichubekova@kstu.kg

КЫРГЫЗСТАНДЫН КӨРГӨЗМӨЛҮК ИДЕНТТҮҮЛҮГҮН КАЛЫПТАНДЫРУУ КОНТЕКСТИНДЕ АРХИТЕКУРАЛЫК МУРАСТАРДЫ САКТОО ЖАНА ТРАНСФОРМАЦИЯЛОО

СОХРАНЕНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В КОНТЕКСТЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСТАВОЧНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ КЫРГЫЗСТАНА

PRESERVATION AND TRANSFORMATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE IN THE CONTEXT OF FORMATION OF EXHIBITION IDENTIFICATION OF KYRGYZSTAN

Бул макалада постсоветтик мезгилде Кыргыз Республикасынын архитектуралык мурасын сактоо жана трансформациялоо процесстери талданат. Совет доорундагы комплекстер, анын ичинде жоголууга учураган монументалдык-декоративдик искусство чыгармалары каралат. Бул процесстердин мамлекеттин заманбап көргөзмөлүк идентүүлүгүн калыптандырууга тийгизген таасири изилденет. Expo 2025 Osaka көргөзмөсүндө (Кыргызстан жана Өзбекстан) улуттук идентүүлүктү көрсөтүүнүн моделдерине салыштырма талдоо жүргүзүлөт. Монументалдык архитектуралык моделден экспозициялык-инсталляциялык формага өтүү аныкталат.

Ачкыч сөздөр: *архитектуралык мурастар, постсоветтик кайра түзүү, маданий эс тутум, көргөзмө өкүлчүлүгү, улуттук өзгөчөлүк, мурасты институтташтыруу, монументалдык жана декоративдик искусство*.

В статье анализируются процессы сохранения и трансформации архитектурного наследия Кыргызской Республики в постсоветский период. Рассматриваются комплексы советской эпохи, включая произведения монументально-декоративного искусства, подвергшиеся утрате. Исследуется влияние этих процессов на формирование современной выставочной идентичности государства. Проводится сравнительный анализ моделей репрезентации национальной идентичности на Expo 2025 Osaka (Кыргызстан и Узбекистан). Выявляется переход от монументальной архитектурной модели к экспозиционно-инсталляционной форме представления.

Ключевые слова: *архитектурное наследие, постсоветская трансформация, культурная память, выставочная репрезентация, национальная идентичность, институционализация наследия, монументально-декоративное искусство.*

The article analyzes the processes of preservation and transformation of the architectural heritage of the Kyrgyz Republic in the post-Soviet period. It examines complexes from the Soviet era, including works of monumental and decorative art that have been lost. The study explores the impact of these processes on the formation of the state's contemporary exhibition identity. A comparative analysis is conducted of models for representing national identity at Expo 2025 Osaka (Kyrgyzstan and Uzbekistan). The transition from a monumental architectural model to an exhibition-installation form of representation is identified.

Key words: *architectural heritage, post-Soviet transformation, cultural memory, exhibition representation, national identity, Institutionalization of heritage, monumental and decorative art.*

Для цитирования: Кожокулова А.Н., Шаршенова К.С., Байчубекова Б.Т. Сохранение и трансформация архитектурного наследия в контексте формирования выставочной идентичности Кыргызстана / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2026. − №3 (79).− стр. 41 - 49.

Киришүү

Борбордук Азия мамлекеттериндеги советтик доордогу архитектуралык мурас тарыхый эс тутумдун, идеологиялык трансформациялардын жана заманбап маданий репрезентация стратегияларынын кесилишинде турган татаал жана көп катмарлуу феномен болуп саналат. 1991-жылдан кийин архитектуралык мурас эки жактуу саясаттын объектисине айланды: бир жагынан ал «идеологиялык жактан эскирген» катары маргиналдаштырылса, экинчи жагынан тарыхый уланмалуулуктун материалдык белгилерин талап кылган маданий өзүн-өзү аныктоонун жаңы формалары калыптана баштады. Бул контекстте архитектуралык мурастарды сактоонун улуттук стратегияларын эл аралык көргөзмөлүк репрезентациянын практикалары менен салыштыруу өзгөчө кызыгуу жаратат, айрыкча Кыргызстандын Expo 2025 Osaka көргөзмөсүнө катышуусу мисалында.

Изилдөөнүн актуалдуулугу архитектураны коргоого тийиш болгон материалдык объект катары гана эмес, мамлекеттин көргөзмөлүк иденттүүлүгүн калыптандыруунун куралы катары да түшүнүү зарылдыгы менен шартталат.

Изилдөөнүн максаты

Кыргыз Республикасында советтик доордогу архитектуралык мураска болгон мамиленин трансформацияларын ири комплекстер, мозаикалык объекттердин жана ВДНХнын мисалында аныктоо жана теориялык жактан түшүндүрүү, ошондой эле бул мурасты сактоо жана кайра интерпретациялоо боюнча улуттук стратегиялардын мамлекеттин эл аралык көргөзмөлүк репрезентациясынын заманбап практикалары менен өз ара байланышын талдоо, тактап айтканда Expo 2025 Osaka көргөзмөсүнө катышуунун алкагында өлкөнүн архитектуралык образын калыптандыруу.

Изилдөөнүн милдеттери:

1. Борбордук Азиянын постсоциалисттик мамлекеттеринде советтик доордогу архитектуралык мурастарды тарыхый эс тутум жана маданий саясат феномени катары интерпретациялоонун теориялык ыкмаларын талдоо.

2. 1991-жылдан кийин Кыргыз Республикасында советтик архитектуранын жана монументалдык-декоративдик искусствонун объекттеринин трансформациясынын жана жоготууларынын негизги багыттарын аныктоо.

3. Кыргыз Республикасынын эл аралык аренада көргөзмөлүк идентичтүүлүгүн калыптандыруунун заманбап механизмдерин Expo 2025 Osaka көргөзмөсүнө катышуунун мисалында талдоо.

4. Постсоветтик мезгилде архитектуранын маданий репрезентациянын куралы жана улуттук идентүүлүктү калыптандыруу каражаты катары ролунун жыйынтыгын чыгаруу.

Борбордук Азия мамлекеттериндеги советтик доордогу архитектуралык мурасты маданий эс тутум теориясынын жана тарыхый өткөндү репрезентациялоо саясатынын контекстинде кароо максатка ылайыктуу. Ар бир элдин (же өлкөнүн) архитектурасынын өнүгүүсүн дарыяга салыштырууга болот: улуттук салттар негизги булак болсо, сырттан келген таасирлер жана өздөштүрүлгөн элементтер анын куймалары болуп саналат [1]. Постсоциалисттик коомдордо советтик архитектуралык мурасты интерпретациялоо саясий жана маданий дискурстун трансформациясы менен аныкталат. 1991-жылдан кийин модернисттик жана монументалдык мүнөздөгү архитектура символдук кайра баалоо кырдаалына туш болду: айрым объекттер идеологиялык жүккө ээ семантиканын алып жүрүүчүсү катары жоголуп же маргиналдаштырылды, башкалары болсо модернизация жана шаардык өнүгүү этабынын күбөсү катары жаңы улуттук нарративге интеграцияланды. Бул процесс «эс тутум саясатынын» призмасы аркылуу мүнөздөлүшү мүмкүн, башкача айтканда тарыхый мурастын элементтерин тандоо, сактоо же четтетүү боюнча мамлекеттик жана коомдук практикалардын жыйындысы катары түшүнүлөт [2].

Постсоциалисттик изилдөөлөрдүн алкагында социалисттик доордун материалдык чөйрөсү саясий система менен кошо жоголуп кетпестен, «калдык» маданий структура катары ишин улантып, күнүмдүк практикаларды жана шаардын визуалдык образын калыптандырары баса белгиленет [3]. Борбордук Азия өлкөлөрү үчүн бул аспект өзгөчө маниге ээ, анткени, советтик архитектура институционалдык модернизация процесстери, инфраструктуранын өнүгүшү жана жаңы шаардык борборлордун калыптанышы менен тыгыз байланышта болгон.

Советтик доордогу архитектуралык мурас тарыхый эс тутумдун, маданий саясаттын жана улуттук өзүн-өзү аныктоо процесстеринин кесилишинде турган көп катмарлуу феномен катары интерпретацияланышы керек [4]. Аны талдоо коллективдик эс тутум теориясын, постсоциалисттик дискурсту жана архитектуралык-тарыхый изилдөөнүн ыкмаларын бириктирген дисциплина аралык ыкманы талап кылат. Өзгөчө көңүл бул объекттердин заманбап практикада кандайча интерпретацияланып жатканына бурулат: алар сакталабы, кайрадан маанилештирилеби же демонтаждалабы, жана алар аркылуу постсоциалисттик мезгилде улуттук идентүүлүк кандайча калыптандырылат.

Постсоветтик мезгилде Бишкек шаарындагы архитектуралык объекттер жарым-жартылай жоготууга, функциясынын өзгөрүшүнө жана стихиялуу курулуш процесстерине

дуушар болду. Мындай кырдаалдын айкын мисалы катары ВДНХнын тагдырын айтууга болот. Анын тарыхы 1947-жылы Кыргыз мал чарбачылыгы жана ветеринария илим-изилдөө институтунун негизинде көргөзмө имараты курулганда башталат. 1956-жылы объектке расмий түрдө Эл чарба жетишкендиктеринин көргөзмөсү (ВДНХ) деген ат берилген. Долбоор архитекторлор В. Лызенко жана А. Нежурин тарабынан иштелип чыккан [5]. Тилекке каршы, 2024-жылы ВДНХ имараты бузулуп, анын ордуна конгресс-холл курулары жарыяланган.

1-сүрөт. Совет мезгилиндеги жана азыркы учурдагы ВДНХ

1990-жылдары мурдагы СССРдин ар кайсы шаарларында мозаикаларды жана советтик доордун паннолорун бузуу учурлары кеңири тарай баштады. Бул көрүнүш бир нече факторлор менен байланыштуу болгон. Биринчиден, идеологиялык өзгөрүү шартында советтик мезгилдин көркөм мурасы көп учурда эскирген же жаңы саясий жана маданий контекстке туура келбеген символ катары кабыл алынды. Экинчиден, өткөөл мезгилдеги институционалдык туруксуздук жана маданий мурасты коргоо системасынын начарлашы объекттерге жетиштүү көңүл бурулбай калышына алып келди. Натыйжада, көптөгөн чыгармалар расмий коргоодон тышкары калып, бузулуу же жоголуу коркунучуна туш болду. Ошол эле учурда, сүрөтчүлөрдүн эмгегине болгон мамиленин жетишсиз бааланышы да байкалган. Бирок көркөм чыгармачылыктын тарыхтагы ордун эске алганда, адамзаттын маданий өнүгүүсү биринчи кезекте сүрөтчүлөрдүн эмгеги аркылуу көрүнөрүн унутууга болбойт: дүйнөнүн көркөм тарыхы дал ушул визуалдык искусство аркылуу берилет жана ал поэзия, адабият жана илим үчүн да негиз болуп кызмат кылат. Ошондуктан, монументалдык искусствого болгон кайдыгер мамиле маданий эс тутумдун жоголушуна алып келүүчү олуттуу маселе катары каралышы керек.

Бул дагы белгилүү мозаикалык панно «Конокторду тосуу» (же «Кош келиңиздер») тарыхы өзгөчө өкүнүчтүү болуп саналат. Ал Бишкек шаарындагы Чыңгыз Айтматов проспектисинде жайгашып, жакында эле, 2025-жылы таптакыр жоголуп кеткен, Бул укмуштуу чыгарманын автору сүрөтчү Андрей Михалев болгон, аны автор 1963-жылы бүтүргөн. Бул мозаика Советтик Союздун элдеринин достугун символдоштуруп, 1960–1980-жылдары Фрунзе (Бишкек) шаарынын архитектуралык көрүнүшүн калыптандырган масштабдуу мозаикалык паннолордун сериясынын бир бөлүгү болгон.

Тилекке каршы, мындай мозаикалык паннолор мурдагы тарыхый контекстте кайрадан жаратылбайт, ал эми эстеликтин иш жүзүндө жок кылынышы, анын маданий маанисине карабастан, тарыхый убакытты артка кайтаруу мүмкүн эместигин көрсөтөт [6]. Бул жагдайда материалдык объекттер гана эмес, ошол доорго мүнөздүү идеологиялык жана маданий

маанилер да жоголот, анын ичинде элдердин достугу, патриотизм жана интернационализм сыяктуу түшүнүктөр да кайтарылгыс болду.

2-сүрөт. Мозаикалуу панно: “Конокторду тосуп алуу”, 1963-жыл

2025-жылдын октябрь айында Японияда масштабдуу иш-чара — Осакадагы Expo 2025 өттү. Бул дүйнөдөгү эң ири эл аралык көргөзмө болуп, анын темасы Designing Future Society for Our Lives (Биздин жашоо үчүн келечектеги коомду долбоорлоо) деп аталып, 160тан ашык өлкөнү бириктирген павильондорду камтыды. Көргөзмөнүн архитектуралык чөйрөсү өзүнчө эле салт менен инновациянын диалогунун мейкиндигине айланып, көптөгөн павильондор туруктуу келечек контекстинде улуттук идентүүлүктөрдүн чагылуусу катары кызмат кылды (мисалы, жыгач материалдарын жана модулдук элементтерди колдонуу аркылуу).

Биз үчүн өзгөчө кызыгуу жараткан объект — албетте, Кыргызстандын павильону болуп саналат. Салыштыруу иретинде коңшу өлкө катары Өзбекстандын павильонун да изилдөө маанилүү, анткени, ал мамлекеттин калыптаныш тарыхы жана өнүгүү жолунда көптөгөн окшоштуктарга ээ [7].

Негизги мүнөздөмөлөрү: Кыргызстандын улуттук павильону өлкөнүн маданий жана табигый мурасын көрсөтүүгө багытталган, анын өзгөчө тарыхына, экологиясына, кол өнөрчүлүгүнө, туристтик потенциалына жана инновацияларына басым жасайт. Павильондун архитектурасы түздөн-түз тарыхый реконструкцияга анча көңүл бурбайт — Кыргызстандын белгилүү тарыхый имараттарына түз шилтемелер жок — бирок мейкиндик Улуу Жибек Жолунун духун, Теңир-Тоо мейкиндигин жана элдик мурасты символдор, материалдар жана визуалдык сюжеттер аркылуу чагылдырууга аракет кылат.

Мындай чечмелөө постсоветтик өзүн-өзү көрсөтүү стратегиясын чагылдырат: өлкө өткөндү жөн гана көрсөтпөстөн, аны заманбап өнүгүү, туруктуу туризм жана IT-инновациялардын призмасы аркылуу кайра интерпретациялайт. Бул ыкма салттуу павильондордон айырмаланып турат, анткени анда көбүнчө архетиптик архитектура улуттук статусту билдирүүчү символ катары колдонулат.

Негизги мүнөздөмөлөрү: Өзбекстандын павильону “Garden of Knowledge: A Laboratory for a Future Society” («Билим бакчасы: келечек коом үчүн лаборатория») деген аталыш менен, маданий мурастын жана руханий билим борборлорунун символдук жана мейкиндиктик интерпретациясын билдирет. Ал Улуу Жибек Жолунун тарыхый бакчаларынан жана кербен

сарайларынан тартып медреселерге жана салттуу архитектуралык принциптерге чейин болгон билим жана маданияттын үзгүлтүксүз уланмалуулугун чагылдырат.

Архитектуралык концепция «билим бакчасы» метафорасына негизделген «мамыча токоюн» эске салган структурага ээ болуп, Өзбекстандын архитектуралык кодунун кайрадан чечмеленишин көрсөтөт: медреселерге мүнөздүү колоннадалардан тартып коомдук өз ара аракеттенүү мейкиндиктерине чейин.

Өзгөчө көңүл материалдык мураска бурулган: кыш, чопо, жыгач жана кол өнөрчүлүк элементтери заманбап архитектуралык тилди аймактык салттар менен байланыштырат. Бул архитектура мейкиндиктин ритуалдарын (бакча, токой, билим алмашуу аянтчалары) маданий-архитектуралык «мурас» катары сунуштап, имараттарды түздөн-түз кайталоого караганда Борбор Азия мейкиндиктеринин тарыхый функцияларына жакыныраак чечмелөөнү берет.

Эл аралык көргөзмөлөрдү өткөрүү — бул жөн гана технологиялар жана архитектура эмес, ошондой эле идеологиянын каражаты болуп саналат [8].

1-таблица. – Архитектуралык мурас призмасы аркылуу жүргүзүлгөн салыштырмалуу мүнөздөмөлөр

Мурас призмасы	**Кыргызстан**	**Өзбекстан**
Архитектуралык стратегия	Маданиятты экспозиция жана элдик символдор менен технологияларды презентациялоо аркылуу ачып көрсөтүү, архитектура болсо маданий ар түрдүүлүктүн фону катары каралат.	Архитектура — бакча, колоннада, алмашуу мейкиндиги сыяктуу маданий архетиптерди заманбап тилге активдүү котормо катары каралат.
Мурас менен байланыш	Кыйыр: визуалдык, санариптик жана маданий элементтер аркылуу.	Түз: тарых жана шаардык чөйрө менен байланышкан архитектуралык метафоралар аркылуу.
Туруктуулукка / инновацияларга басым жасоо	Туруктуу туризмди, санариптик мүмкүнчүлүктөрдү жана IT секторун көрсөтүү.	Туруктуу курулуш практикаларын, биологиялык кайра айлантуу (биорециркуляция) жана материалдарды пайдалануну интеграциялоо.
Архитектуралык мүнөздөмө	Экспозиция жана павильон — сахналык мейкиндик катары.	Бакча метафорасы менен конструктивдүү түрдө чагылдырылган архитектуралык мейкиндик.

Улуттук иденттүүлүктүн ролу	Күчтүү — көргөзмө объектилери жана маданий программалар аркылуу.	Күчтүү — архитектуралык формат жана маданият/кол өнөрчүлүк документтери аркылуу.
Архитектуралык автономдуулук	Жок	Чагылдырылган
Масштаб	50м^2	**Толук форматтагы чөйрө**
Репрезентациянын түрү	Маданий-экспозициялык	**Архитектуралык-мейкиндиктик.**
Мурас	Контент катары	Структура катары
Мейкиндиктик нарратив	Жок	Калыптанган
Геометрия	Жок	Үч бурчтуу композиция
Таянма конструкция	Көрсөтүлбөгөн	Чагылдырылган
Оюм - чийүү	Тегиздик	**Түзүлүш**
Жарык	Экран	Конструктивдик өтүмдүүлүк
Тажрыйба түрү	**Көрүү**	**Чөмүлүү**

3 – сүрөт. Кыргызстандын павильону

4 – сүрөт. Өзбекстандын павильону

Жыйынтык

Советтик доордогу архитектуралык мурасты сактоо маселеси постсоциалисттик коомдордун маданий эс тутумуна, шаардык чөйрөнүн трансформациясына жана модернизм мурасын институтташтырууга арналган эмгектерде чагылдырылган. Маданий эс тутум теориясы жаатындагы изилдөөлөр [1] архитектураны доордун идеологиялык жана символдук коддорун бекиткен «материалдашкан эс тутум» катары кароого мүмкүндүк берет. Expo 2025 Osaka көргөзмөсүндө Кыргызстан жана Өзбекстан мураска болгон мамиленин эки башка моделин көрсөтөт: Кыргызстан — архитектуралык идентүүлүктү дематериалдаштыруу, ал эми Өзбекстан — маданий кодду мейкиндиктик кайра түзүү аркылуу репрезентациялоо.

Ошентип, заманбап дүйнөлүк көргөзмө жөн гана маданияттын витринасы эмес, улуттук архитектуралык саясаттын индикатору болуп калат. Ошол эле учурда Expo 2025 Osakaga катышуу көргөзмөлүк идентүүлүктүн табиятынын өзгөрүшүн да бекитет: архитектуралык жактан бекемделген формадан убактылуу инсталляциялык репрезентацияга өтүү байкалат. Бул маданий эс тутумдун материалдык-мейкиндик моделинен медиалык-концептуалдык моделге өтүшүн көрсөтөт. Ошентип, советтик көргөзмөлүк мурасты жоготуу жана сактоо процесстерин заманбап мамлекеттин көргөзмөлүк идентүүлүгүн калыптандыруу менен салыштыруу боюнча изилдөөчүлүк тартыштык бар экенин айтууга болот. Жүргүзүлгөн талдоо постсоветтик мейкиндикте советтик архитектуралык мураска мамиле кылуунун стратегияларынын принципиалдуу айырмачылыгын аныктоого мүмкүндүк берет.

Демек, Кыргызстанда архитектуралык мурасты сактоо туруктуу көргөзмөлүк идентүүлүктү калыптандыруу мүмкүнчүлүгү менен түздөн-түз байланыштуу. Өткөн мезгилдин мейкиндиктик белгилеринин жоголушу тарыхый уланмалуулукту алсыратса,

алардын заманбап маданий саясатка интеграцияланышы улуттук позициялоонун маанилүү ресурсуна айланышы мүмкүн. Getty Conservation Institute (GCI) — бул АКШнын Лос-Анджелес шаарында жайгашкан изилдөө жана билим берүү борбору. Ал дүйнөлүк маданий мурастарды — архитектуралык эстеликтерден тартып музейдик коллекцияларга чейин — илимий изилдөөлөр, талаа долбоорлору жана реставрация методикаларын иштеп чыгуу аркылуу сактоо менен алектенет [9].

Список литературы

1. Хан-Магомедов, С. О. Советтик авангард архитектурасы / С.О. Хан-Магомедов. - М. 1996.
2. Ассман Я. Маданий эс тутум: жазуу, өткөндү эске алуу жана байыркы жогорку маданияттардагы саясий идентүүлүк / Я. Ассман. - М. 2004
3. Юрчак, А. Бул түбөлүк болчу, ал бүткөнгө чейин / А. Юрчак. - М. 2014
4. Поляков, Г.М. Кыргызстандагы советтик модернизм архитектурасы: улуттук архитектуралык мектептин калыптануу тажрыйбасы / Г.М. Поляков, Е.А. Бухарова. - KANT: Social science & Humanities. – 2023. №4 (16)
5. Материалы по истории ВДНХ СССР. [Электрондук ресурс] – Кирүү режими: https://kaktus.media/doc/486905_vdnh._mesto_slavy_kyrgyzstana_zabyto_i_zabrosheno_video.html (кайрылуу датасы 10.05.2026)
6. [Электрондук ресурс] – Кирүү режими: https://kaktus.media/doc/530477_mozaiky_vstrecha_gostey_na_prospekte_aytmatova_ybrali._ranee_mer_obeshal_sohranit_ee.html (кайрылуу датасы 11.05.2026)
7. Официальные материалы Expo 2025 Osaka. [Электрондук ресурс]- Кирүү режими: https://24.kg/obschestvo/331603_ekspo-2025_chem_udivlyayut_stranyi_tsentralnoy_azii_vosake/ (кайрылуу датасы 11.05.2026)
8. Robert W. Rydell *All the World's a Fair: Visions of Empire at American International Expositions, 1876-1916 /* Robert W. Rydell - Чикаго *1984*
9. Getty Conservation Institute [Электрондук ресурс] - Кирүү режими: https://www.getty.edu/conservation-institute/ (кайрылуу датасы 10.05.2026.)
10. Рахимжанова Г.Б. Формирование доверия и лояльности в архитектурной среде через айдентику: синтез графического дизайна и среды / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр. 176 –183.
11. Тусупбекова Ш.М. Этнодизайн в интерьере: гармония традиций и современности / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр. 191 –201.
12. Ералы Э.Ә. Диалог традиции и экодизайна как основа формирования современной городской среды Казахстана / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – 160-168.

УДК 504.054: 711.4 (575.2)

Сатенов А.Э. [1], Мукешов Д.Ш.
И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек, Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика
[1]ORCID: 0009-0001-0100-1166

A.E. Satenov, D.Sh. Mukeshov
I. Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Repulic
aibo.mc94@gmail.com , dastan.mukeshov@gmail.com

ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГОРОДА БИШКЕК И ЕЁ ПРИГОРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

БИШКЕК ШААРЫН ЖАНА АНЫН ТЕГЕРЕГИНДЕГИ АЙМАКТАРЫНЫН ЖАРАТЫЛЫШТЫК-ЭКОЛОГИЯЛЫК ТАЛДООСУ

NATURAL AND ECOLOGICAL ANALYSIS OF THE CITY OF BISHKEK AND ITS SUBURBAN TERRITORIES

Бул макалада интенсивдүү урбанизациянын жана климаттын өзгөрүшүнүн шартында Бишкек шаарынын жана анын чет жакасынын комплекстүү табигый-экологиялык анализи берилген. Изилдөөнүн максаты – шаардын экологиясынын бузулушунун негизги факторлорун аныктоо жана анын экологиялык реабилитациясынын артыкчылыктуу багыттарын негиздөө. Иш илимий адабияттарды, ченемдик документтерди, 2000-2024-жылдардагы статистикалык маалыматтарды талдоого, ошондой эле жашыл мейкиндиктердин жана жылуулук аралынын динамикасы боюнча даяр ГИС карталарын чечмелөөгө негизделген. Абанын булганышынын деңгээли санитардык нормалардан кыйла ашып, жашыл мейкиндиктердин аянты кыскарып жатканы аныкталды. Макалада экологиялык коркунучтун негизги зоналары жана калдык экокоридорлор аныкталып, жашылдандыруу, мониторингди модернизациялоо жана шаардык айлана-чөйрөнүн экологиялык туруктуулугун жакшыртуу боюнча чаралар сунушталат.

Ачкыч сөздөр: *табигый жана экологиялык анализ, Бишкек, шаар четиндеги аймак, жашыл алкак, экологиялык реабилитация, жашыл инфраструктура, шаардык жылуулук аралы.*

В данной статье представлен комплексный природно-экологический анализ города Бишкек и её пригородной территории в условиях интенсивной урбанизации и климатических изменений. Цель исследования заключается в выявлении ключевых факторов деградации городской среды и обосновании приоритетных направлений её экологической реабилитации. Работа опирается на анализе научной литературы, нормативных документов, статистических данных за период 2000-2024 гг., а также интерпретацию готовых ГИС-карт по динамике зелёных насаждений и тепловому острову. Установлено, что уровень загрязнения воздуха существенно превышает санитарные нормы, а площадь зелёных

территорий продолжает сокращаться. В статье выделены основные зоны экологического риска и остаточные экокоридоры, предложены меры по озеленению, модернизации мониторинга и улучшению экологической устойчивости городской среды.

Ключевые слова: *природно-экологический анализ, Бишкек, пригородная территория, зелёный каркас, экологическая реабилитация, зелёная инфраструктура, городской тепловой остров.*

This article presents a comprehensive natural and environmental analysis of Bishkek and its suburban area in the context of intensive urbanization and climate change. The purpose of the study is to identify key factors in the degradation of the urban environment and to substantiate priority areas for its environmental rehabilitation. The work is based on the analysis of scientific literature, regulatory documents, statistical data for the period 2000-2024, as well as the interpretation of ready-made GIS maps on the dynamics of green spaces and the heat island. It has been established that the level of air pollution significantly exceeds sanitary standards, and the area of green spaces continues to decrease. The article highlights the main environmental risk zones and residual eco-corridors, proposes measures for greening, modernization of monitoring and improvement of the environmental sustainability of the urban environment.

Key words: *natural and ecological analysis, Bishkek, suburban area, green framework, ecological rehabilitation, green infrastructure, urban heat island.*

Для цитирования: Сатенов А.Э., Мукешов Д.Ш. Природно-экологический анализ города Бишкек и её пригородной территории / Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2025. – № 3 (79). – стр. 51 - 63.

В последние 5-7 лет экологическое состояние Бишкека характеризуется ростом концентраций PM 2.5 в зимний период до 200-300 мкг/м³ (превышение ПДК в ≈10 раз) и сокращением площади городских зелёных насаждений на 20%. Комплекс негативных факторов – инверсионная погодная ситуация, использование твёрдого топлива для отопления, хаотичная плотная застройка и деградация защитного зелёного каркаса – усиливает дискомфорт и санитарно-гигиенические риски для 1,1 млн жителей столицы.

Цель исследования – провести интегральный природно-экологический анализ города Бишкек и её пригородных территорий и обосновать приоритетные направления улучшения экологической обстановки. Для достижения цели решаются следующие задачи:

- охарактеризовать природно-климатические предпосылки формирования экологической ситуации (рельеф котловины, климат, гидрология);
- проанализировать динамику и пространственное распределение загрязнения атмосферного воздуха и поверхностных вод;
- оценить изменение растительного покрова и степени антропогенной трансформации почвенного слоя;
- выявить основные антропогенные драйверы (транспорт, теплоэнергетика, несанкционированная застройка) и их пространственную корреляцию с зонами повышенного экологического риска.

Географическое положение

Бишкек расположен в центре Чуйской долины на высотах ~700-900 м над уровнем моря, у северного подножия Кыргызского хребта Тянь-Шаня. Географически город находится на крайнем юге умеренного пояса, близ границы субтропиков. Такое положение обуславливает резко континентальный климат столицы. Горы на юге влияют на микроклимат: они служат защитой от холодных ветров с севера, а также создают эффект горно-долинной циркуляции – по ночам в город стекает прохладный горный воздух, днём тёплый воздух поднимается в горы. Этот регулярный обмен смягчает климат и обеспечивает проветривание города в естественных условиях. Также горные ледники и снежники питают реки, давая городу и окрестностям пресную воду [1].

Климатические условия

Климат Бишкека характеризуется жарким сухим летом и умеренно холодной зимой (рис. 1). Среднегодовая температура воздуха составляет +12,2°C при годовой норме осадков около 451 мм. Основная масса осадков выпадает весной и в начале лета, тогда как летние месяцы очень сухие. Средняя температура июля достигает +25°C, а января около -2°C, однако возможны резкие экстремумы – летом воздух нередко прогревается выше +40 °C, а зимой бывают морозы до -30 °C. При этом зимой возможны оттепели с подъёмом температуры до +15…+20°C даже в середине сезона. Лето продолжительное (безморозный период до 180 дней), с большим количеством солнечного сияния (в среднем ~2584 часа в год). Низкая относительная влажность летом (около 40-45%) усиливает ощущение жары, тогда как зимой влажность повышается до 70% и выше. В целом климат столицы близок к условиям сухих субтропиков летом и умеренно холодному климату умеренных широт зимой. Такой контраст создает определённые требования к городской среде – необходимо учитывать жаркие засушливые летние условия и возможность сильного задымления в холодный сезон при застойных явлениях. Кроме того, в последние годы отмечается рост летних экстремальных температур. Жаркие дни стали чаще: например, в июле 2022 года и начале июня 2023 года побиты температурные рекорды. Одной из причин локального повышения температур является эффект городского теплового острова – плотная застройка и нагретые асфальт и бетон создают накопление тепла внутри города. В результате температура воздуха в урбанизированной зоне дополнительно повышается на несколько градусов по сравнению с пригородами [2].

Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Абсолютный максимум, °C	20,0	25,4	30,5	34,7	37,7	40,9	42,1	39,7	37,1	34,2	29,8	23,3	42,1
Средний суточный максимум, °C	3,3	5,3	12,9	18,8	24,7	30,0	32,7	31,5	25,8	17,6	9,9	4,0	18,1
Средняя температура, °C	−1,5	0,4	7,2	11	18,5	23,3	25,3	24,3	18,9	11,8	5,3	−0,4	12,2
Средний суточный минимум, °C	−6,5	−4,4	1,8	7,4	12,0	16,4	18,3	17,0	11,8	5,7	−0,4	−5,6	6,2
Абсолютный минимум, °C	−31,9	−34	−21,8	−12,3	−4	3,9	7,4	5,1	−2,8	−11,2	−32,2	−29,1	−34
Норма осадков, мм	27	34	52	71	63	33	21	14	18	42	44	33	451

Рисунок 1 – Климат Бишкек. Источник: www.weatheronline.co.uk

Состояние атмосферного воздуха

На начало 2020-х годов качество воздуха в Бишкеке оценивается как неудовлетворительное и продолжает ухудшаться. Данные мониторинга фиксируют регулярное превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по пыли, диоксиду азота, сернистому ангидриду и другим примесям. Особенно тяжёлая ситуация складывается

зимой, когда из-за массового сжигания угля и неблагоприятных метеоусловий (температурная инверсия, слабый ветер) над городом образуется смог. По данным НПО MoveGreen, **среднегодовая концентрация PM2.5 в Бишкеке за 2022 год превышала норму ВОЗ почти в 7 раз** (Рисунок 2). (Заметим, что ВОЗ недавно ужесточила норму до 5 мкг/м³, а национальный ориентир 10 мкг/м³, т.е. превышение огромное.) Зимой суточные средние концентрации PM2.5 достигают 200-300 мкг/м³, тогда как безопасный уровень для здоровья составляет всего 25-35 мкг/м³. В некоторые дни фиксировались экстремальные пики содержания пыли – до 350-400 мкг/м³, что в ~10-15 раз выше ПДК. Воздух Бишкека официально классифицируется как «**сильно загрязнённый**», и это признано одной из наиболее острых экологических проблем города [3].

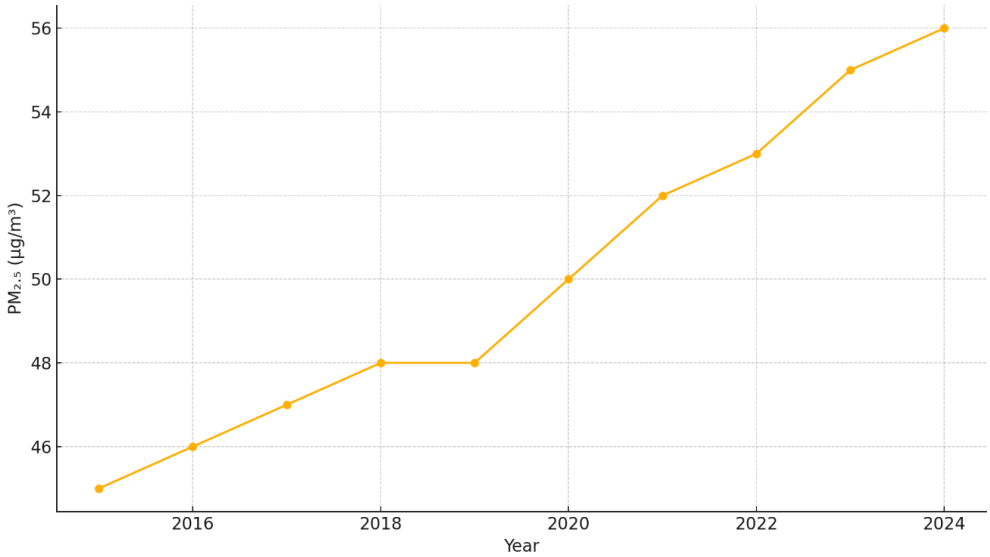


Рисунок 2 – Динамика среднегодового PM2.5, 2015-2024 гг.

Основные загрязнители воздуха – мелкодисперсные твердые частицы (сажистая пыль PM2.5 и PM10), а также диоксид серы, оксиды азота, бензапирен и формальдегид. Высокие уровни PM2.5 связаны с сезонным отоплением на угле и дровах, выбросами ТЭЦ и транспортом. Измерения показывают, что зимой на жилых массивах с печным отоплением вклад дыма от угля доминирует, в центре – смесь выхлопов и угольного смога, а летом преобладают автомобили [4]. Экономический ущерб от загрязнения воздуха за 2021-2022 годы оценён в ~2 млрд сомов – расходы на лечение, снижение производительности, ущерб имиджу города как туристического центра. Состояние воздуха в Бишкеке можно охарактеризовать как кризисное в зимний период и неудовлетворительное в остальное время. Негативная тенденция – увеличение частоты эпизодов смога и повышенного фона загрязнений.

Речная сеть и водные ресурсы

Город расположен между двумя горными реками – Ала-Арча и Аламедин, которые стекают с южных хребтов и протекают через городскую территорию (Рисунок 3). Эти реки исторически играли ключевую роль в становлении оазиса Бишкека в засушливой долине. В конце XIX - начале XX века на базе речной сети была создана разветвлённая система ирригационных каналов. От Аламедина и Ала-Арчи проложили каналы и арыки, которые использовались для осушения болотистых участков и орошения парков, скверов, городских

посадок [5]. Благодаря этому даже при малом количестве осадков удалось озеленить значительные территории и сформировать облик «зелёного города». Природные условия Чуйской долины сильно преобразованы человеком: изначально равнина представляла собой полупустыню и сухую степь, ныне прорезанную сетью каналов и оросительных систем. Главным звеном гидросети является Большой Чуйский канал (БЧК) – магистральный канал, построенный в советское время, который питает водой сельскохозяйственные угодья и города долины. По данным экологов, ежегодно по БЧК протекает ~296 млн м³ воды, благодаря чему орошаемыми стали около 100 000 га земель (около 40% всей площади Чуйской области) [6]. В границах города также создано множество мелких каналов, прудов и водоёмов, питаемых из рек и подземных источников.

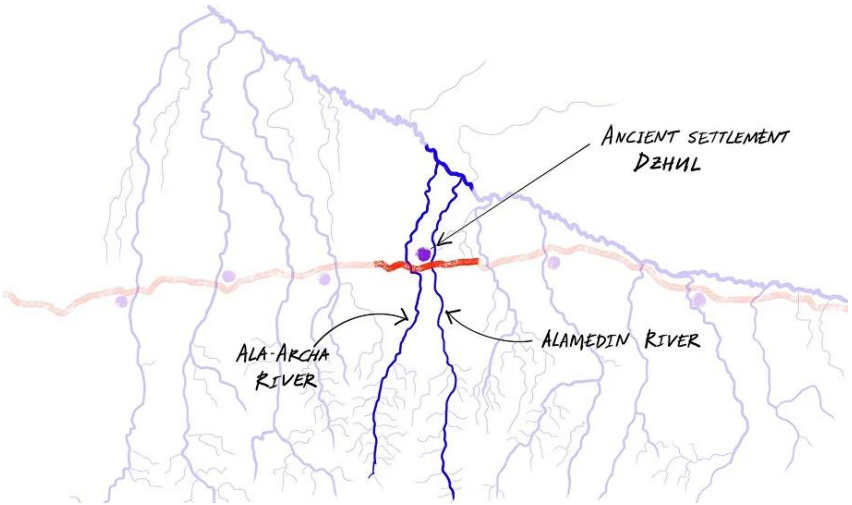


Рисунок 3 – Система поверхностных рек Бишкека (Чуйской долины) [5]

Однако современное состояние водных ресурсов вызывает обеспокоенность. Большая часть сточных вод города Бишкек отводится на городские очистные сооружения, но их эффективность недостаточна – неочищенные или недостаточно очищенные стоки попадают в русла рек и каналы. Это приводит к ухудшению качества поверхностных вод: зафиксированы высокие концентрации аммония и органических загрязнений в реках ниже по течению от города. По оценкам в рамках программы «Зелёный город», поверхностные воды в районе Бишкека *загрязнены аммиаком*, что отражает воздействие антропогенной деятельности. Помимо точечных источников сбросов (канализация, промышленные стоки), проблему усугубляет загрязнение русел мусором и несанкционированными свалками. С обеспеченностью питьевой водой ситуация в Бишкеке пока благополучная – около 90% населения подключены к централизованному водопроводу, который берёт воду из подземных скважин. Однако наблюдается тревожная тенденция: уровень грунтовых вод, используемых для водоснабжения, постепенно снижается, что грозит дефицитом воды в ближайшие десятилетия. Снижение уровня подпочвенных вод отмечается по всей Чуйской долине, что даже влияет на почвообразование. В некоторых местах осушение ведёт к смене лугового режима почвообразования на более засушливый серозёмный, происходит заиление каналов, снижается плодородие земель.

Почвенный покров и рельеф

Территория Бишкека расположена на аллювиально-делювиальной равнине, с незначительным уклоном на север. Почвенный покров сформирован преимущественно

серозёмными почвами – типичными для полупустынь и сухих степей Центральной Азии. До освоения территории в XIX веке в понижениях рельефа встречались болотистые участки (так называемые «**сазы**»), поросшие тростником и луговой растительностью. Эти болота были осушены системой арыков при основании города, и на их месте появились плодородные земли, частично распаханные либо застроенные [7]. Деградация почвенного покрова в районе Бишкека проявляется в нескольких формах: 1) из-за интенсивного строительства и уменьшения площадей под растительностью усиливаются процессы эрозии и дефляции верхнего слоя почвы на; 2) многолетнее орошение при недостаточном дренаже привело местами к засолению; 3) возникла проблема химического загрязнения городских земель. По оценкам экологического Отчёта План действий «Зелёный город» для города Бишкек, выполненный компанией «NTT Data», существует **значительная опасность загрязнения почв тяжёлыми металлами (Рисунок 4)**. Источниками таких загрязнений служат выхлопы транспорта, промышленные предприятия и городской полигон отходов [8]. Замеры показывают: в поверхностном слое почв вдоль дорог Бишкека содержание свинца и цинка превышает фон в 3-5 раз, а вблизи промзон обнаруживаются повышенные концентрации меди, никеля, хрома.

Ранг	Экологическая проблема	Область	Описание
1-й	Загрязнение и низкое качество воздуха	Воздух	Высокие уровни PM2,5, PM10, NOx и SOx, превышающие международные нормы, в основном по причине использования ископаемого топлива в энергетическом и транспортном секторе, сжигания отходов, низкой доли возобновляемых источников энергии и отсутствия мер по повышению энергоэффективности.
2-й	Загрязнение поверхностных вод и нехватка питьевой воды	Вода	Плохое качество поверхностных вод выше и ниже по течению от г. Бишкек с высоким содержанием аммония (NH4), вероятно, по причине устаревшей канализационной сети, неправильной очистки сточных вод, использования пригородных уборных с выгребными ямами.
3-й	Вырубка зеленых насаждений и необходимость реконструкции и сохранения зеленых насаждений в городе	Зеленые насаждения	Низкая доля зеленых насаждений в городских районах и тенденция к ухудшению ситуации по сравнению с контрольными показателями по причине роста населения и темпов строительства.
4-й	Загрязнение городской почвы	Почва	Высокое содержание тяжелых металлов в городской почве.
5-й	Отсутствие защиты биоразнообразия	Биоразнооб-разие	Биоразнообразие в городских районах деградирует, не признается важным и не охраняется.
6-й	Высокий уровень выбросов парниковых газов	Выбросы парниковых газов	Четкие данные о выбросах по г. Бишкек отсутствуют; зависимость от ископаемого топлива в сфере энергетики, наличие энергоемких зданий и транспорта указывает на высокие выбросы парниковых газов.
7-й	Нехватка воды	Климатичес-кая устойчивость	Проблемы нехватки воды в долгосрочной перспективе (орошение, питьевая вода). Хотя индекс водопользования указывает на умеренное водопотребление, имеется тенденция к увеличению.

Рисунок 4 – Основные выводы относительно экологических проблем [3]

Зелёные насаждения (озеленение). Состояние городских зелёных насаждений во многом зависит от степени озеленения и техногенной нагрузки. В Бишкеке наблюдается тревожная тенденция сокращения и деградации зелёных территорий. В советское время Бишкек называли самым зелёным городом региона: по данным инвентаризации 1987 г., на одного жителя приходилось ~27 м² озеленённых площадей. Однако за последние десятилетия этот показатель резко упал. По данным МП «Зеленстрой» в настоящее время реальная обеспеченность зелёными зонами общего пользования составляет лишь **6,8 м² на человека**, что в несколько раз ниже санитарных норм. В соответствии СН КР 30-01:2020 «Планировка и застройка городов и населённых пунктов городского типа», минимальная обеспеченность озеленёнными территориями общего пользования на одного жителя в крупнейших городах приходится 16 м^2 (общегородские озеленённые территории 10 м²/чел.; озеленённые территории жилых районов 6 м²/чел) [9]. Исследования фонда «Инициатива “Арча”» показали, что **с 2014 по 2021 год общая площадь зелёных насаждений в Бишкеке сократилась на 20%**. На карте изменений (Рисунок 5) отчётливо видны участки утраты древесной растительности (вырубка или усыхание) – они отмечены красным цветом, особенно много их в центральных районах и вдоль новых построек. Новые посадки (синие зоны) не компенсируют потери. В результате более **520 тысяч жителей** столицы сейчас лишены доступа к благоустроенным озеленённым территориям в пределах пешей доступности (500 м). Такая потеря зелёных зон приводит к ухудшению городской среды: росту запылённости, снижению влажности воздуха, исчезновению мест отдыха.

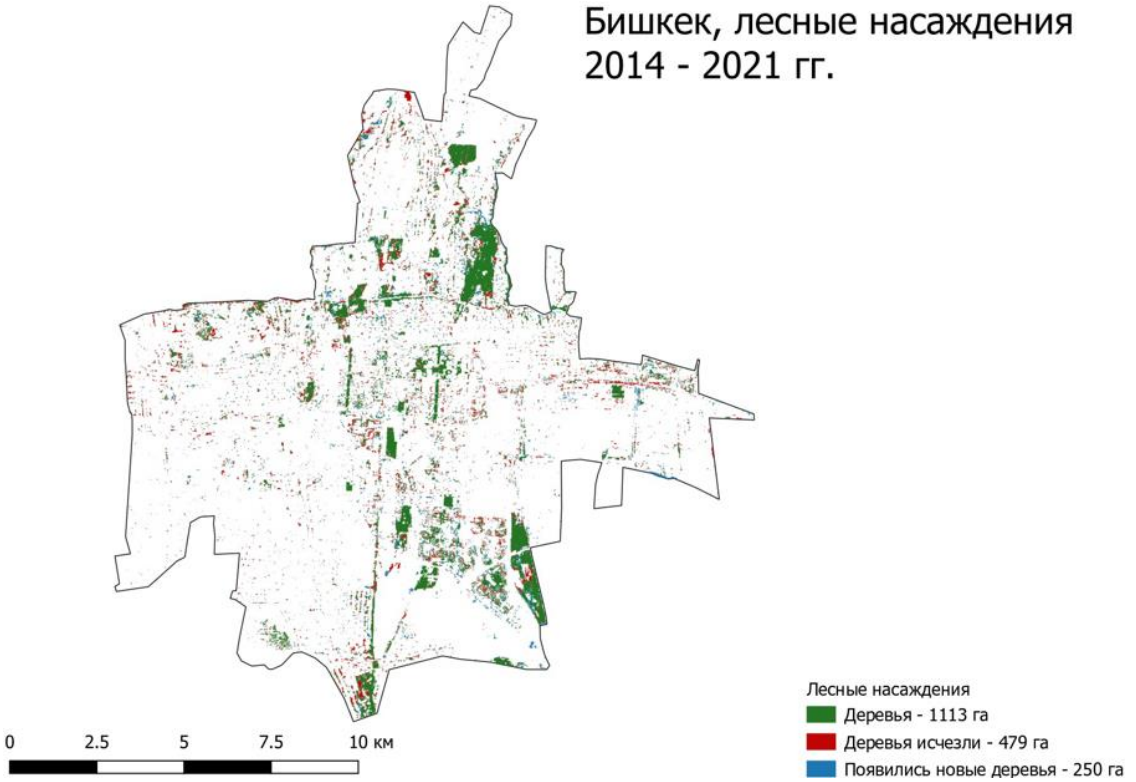


Рисунок 5 – Динамика древесной растительности в Бишкеке за 2014-2021 гг.: зелёным цветом показаны сохраняющиеся лесные насаждения (общая площадь ~1113 га), красным – утраченные деревья (~479 га), синим – новые древесные посадки (~250 га). Источник: ОФ «Инициатива “Арча”».

Сокращение зелени усугубляет проблему «**городского теплового острова**». Зелёные насаждения выполняют важную климаторегулирующую функцию – они дают тень, испаряют влагу и тем самым охлаждают воздух. Потеря деревьев приводит к перегреву городской застройки. По словам экологов, Бишкек уже ощущает эффект острова тепла: летом температура внутри города на 2-8°C выше, чем могла бы быть при достаточном озеленении. На тепловой карте отчётливо просматриваются прохладные оазисы (парковые массивы выделяются зеленовато-синим оттенком) и раскалённые участки застройки (ярко-оранжевые и красные регионы) (Рисунок 6).

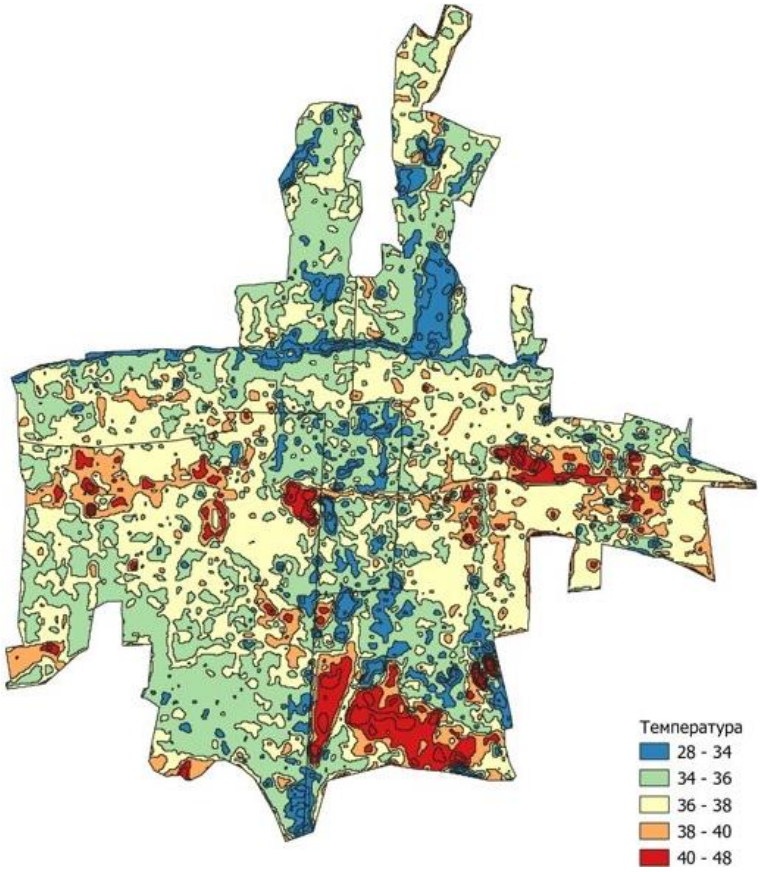


Рисунок 6 – Температура земной поверхности в Бишкеке в жаркий летний день (данные спутникового тепловизора): зелёным/синим показаны более прохладные районы (парки, водоёмы, пригороды с растительностью, температура ~28-34 °C), жёлтым/оранжевым – нагретые территории (плотно застроенные кварталы, 36-40 °C), красным – наиболее горячие «пятна» (до +48 °C на солнце) в промзонах и новых микрорайонах с отсутствием озеленения.

Растительность (флора)

Благодаря сочетанию природных факторов и историческим озеленительным инициативам, Бишкек заслужил репутацию одного из самых зелёных городов Центральной Азии. Городская флора представляет собой смесь интродуцированных древесно-кустарниковых пород и остаточных природных сообществ. В конце XIX – начале XX века в Пишпеке активно высаживали деревья, особенно тополя и карагачи – устойчивые к засухе породы, привезённые из Ферганской долины. Уже к 1881 г. было посажено около 300 тысяч саженцев карагача, что сформировало основу зелёных аллей. С тех пор в городе акклиматизировано множество древесных видов: платаны, клёны, ясени, берёзы, ели, сосны,

каштаны, липы и др. В советский период развитие системы парков и скверов продолжилось, были разбиты крупные парки (Дубовый парк, Парк им. Панфилова, Парк им. Фрунзе и др.) и бульвары. В южной части города расположен Ботанический сад НАН КР – уникальная территория площадью около 124 га, где собрано свыше 2500 видов растений из разных климатических зон (в том числе редкие и эндемичные виды Центральной Азии). Особое значение имеет **Карагачёвая роща** – природный лесопарк на северо-востоке Бишкека, заложенный ещё в 1881 году на месте заболоченной поймы. Площадь этой рощи составляет около 113 га. Здесь доминируют древостой тополей-карагача, ив, дуба, есть участки с грецким орехом, яблоней Сиверса и другими видами. Карагачёвая роща признана охраняемым памятником природы и истории с 2002 г., фактически являясь городским лесом. Она играет важную экологическую роль: поддерживает биоразнообразие, служит местом обитания птиц и мелких животных, очищает воздух от пыли, увлажняет и охлаждает окружающий район. В черте города также имеются другие лесопарковые массивы: к югу – парк Ататюрка с хвойными насаждениями, южнее Парк Победы. Большую ценность представляют придорожные полосы и дворовые посадки деревьев, которые образуют своеобразный «зелёный каркас» городской территории.

Животный мир (фауна)

Урбанизированная территория Бишкека относительно бедна дикой фауной, но всё же обеспечивает среду обитания для ряда видов, адаптированных к соседству с человеком. В городе и пригородах обитают более 100 видов птиц. Наиболее распространены синантропные птицы: домовой воробей, голубь сизый, ворона серая, галка, сизоворонка, скворец. В парках встречаются дрозды, славки, утки на водоёмах, а из хищных птиц – пустельга, сарыч (канюк) охотятся на открытых окраинах. Млекопитающие в городской черте представлены в основном грызунами (домовая мышь, серая крыса), насекомоядными (ёж обыкновенный, крот), а также летучими мышами летними вечерами. В Карагачёвой роще и больших парках можно увидеть белок, ласок, землероек. В реке Чу и каналах водятся некоторые виды рыб (карась, сазан, маринка), хотя их численность снижена из-за загрязнения воды. В окрестностях сохраняются также пресмыкающиеся и земноводные: разноцветные ящурки, степные агамы, жаба зелёная, лягушки – они обитают в пойменных биотопах за пределами плотной застройки.

Основные источники загрязнения окружающей среды

Быстрый рост города и индустриализация привели к увеличению нагрузки на все компоненты городской экосистемы. Наиболее значимыми источниками антропогенного загрязнения в Бишкеке являются транспорт, системы энергоснабжения (отопление), промышленные объекты и неконтролируемая застройка. По оценкам экспертов, **более 85% всех выбросов взвешенных частиц (PM2.5) в атмосферу приходится на сектор отопления жилых домов, выхлопы автотранспорта и работу ТЭЦ** [10]. Рассмотрим эти факторы подробнее:

- **Автотранспорт.** В столице зарегистрировано свыше 400 тысяч единиц автотранспорта. Большинство машин – подержанные с бензиновыми и дизельными двигателями, нередко с удалёнными каталитическими нейтрализаторами, что ведёт к повышенному выбросу вредных веществ. Автотранспорт является главным источником диоксида

азота (NO_2), окиси углерода (CO), углеводородов и мелкодисперсной пыли в приземном слое воздуха города. Движение транспорта приводит к вторичному пылеобразованию – взвешиванию уличной пыли, содержащей частицы резины, асфальта, тяжёлых металлов. Интенсивное автомобильное движение также способствует шумовому загрязнению. Пробки и низкая скорость движения увеличивают время воздействия выбросов на город.

- **Энергетика и отопление.** В Бишкеке функционирует крупная ТЭЦ (ТЭЦ-1) на угле, обеспечивающая центральное отопление части города и вырабатывающая электроэнергию. ТЭЦ выбрасывает в воздух значительные объёмы дымовых газов: это золы (PM10, PM2.5), диоксид серы (SO_2), оксиды азота, угарный газ. Несмотря на существование электрофильтров, зимой вокруг ТЭЦ фиксируется повышенное содержание взвешенных частиц и сернистых соединений. Кроме ТЭЦ, серьёзную проблему составляют тысячи частных домов, отапливающихся самостоятельно – в основном сжиганием угля, дров и отходов. Особенно это характерно для пригородных новостроек, не подключённых к газу и центральному отоплению. Над такими районами стелется густой дым, содержащий сажу и канцерогенные вещества.
- **Промышленные зоны и предприятия.** Бишкек – промышленно-торговый центр, на его территории и в пригородных территориях расположены предприятия советского периода и новые производства. К промышленным источникам загрязнения относятся: асфальтобетонные и кирпичные заводы, предприятия стройиндустрии, мебельные и деревообрабатывающие цеха, мелкие производства. Они выделяют в воздух пыль, органические летучие соединения, формальдегид, тяжёлые металлы и пр. Например, на окраине села Лебединовка долгие годы работал асфальтовый завод ОсОО «МЕАДИ», дым от которого накрывал жилые кварталы [11]. Аналогичные проблемы создают нелегальные мини-заводы по обжигу кирпича в окрестностях – они часто работают без современных фильтров, выбрасывая густой дым. В промзоне на востоке Бишкека хранятся отходы гальванического производства с тяжёлыми металлами, загрязняющие почву (историческое наследие советских заводов). Также существует ряд автосервисов, станций техобслуживания, заправок – при плохом контроле они могут загрязнять грунт нефтепродуктами и испарениями бензина.
- **Несанкционированная (хаотичная) застройка.** За годы независимости вокруг Бишкека возникло более 50 новых жилых массивов – так называемые «*жилмассивы»*, многие из которых первоначально были самовольно занятыми участками. Такая стихийная урбанизация привела к ряду экологических проблем: 1) жилмассивы часто создавались на ранее пустующих землях без учёта инженерных коммуникаций, из-за чего жители вынуждены отапливаться печами, а отходы нередко утилизируют прямо на месте; 2) при хаотичной застройке зачастую вырубаются зелёные насаждения; 3) плотная застройка внутри города – строительство высотных домов на месте скверов, дворов – ведёт к тому, что нарушается **естественная вентиляция** городской среды. Ранее открытые потоки воздуха с гор могли свободно проходить, теперь же их блокируют плотные кварталы высоток, особенно на южной окраине.

Пригородная территория: экологические особенности окрестных поселений

Бишкекская агломерация выходит за административные границы города, включая близлежащие населённые пункты – сёла и посёлки в радиусе 10-20 км (Аламединский и Сокулукский районы). Пригородная зона сталкивается с экологическими проблемами двойственного характера: 1) природа в окрестностях менее подвержена урбанистическому воздействию (больше открытых пространств, сельскохозяйственных земель, естественного ландшафта; 2) многие негативные эффекты распространяются и на пригороды (загрязнённый воздух, захламление, неорганизованная застройка).

Лебединовка – крупное село на восточной окраине Бишкека, фактически слившееся с городом. Экологическая обстановка Лебединовки долгие годы осложнялась соседством с промышленными объектами. Так, на границе с селом Восток работал асфальтный завод, чьи выбросы дыма и пыли регулярно накрывали жилые кварталы Лебединовки, вызывая жалобы жителей на гарь и удушливый воздух. Благодаря усилиям местных активистов и привлечению внимания властей, в 2023 году было начато разбирательство с этим предприятием на уровне Министерства экологии [11].

С**ело Арчалы** (Аламудунский район) к югу от Бишкека относительно небольшое поселение в предгорьях, где население традиционно занимается садоводством и животноводством. В Арчалы и близлежащих селах чище воздух за счёт близости гор и лучшего проветривания, однако и там наблюдаются экологические сложности: 1) из-за роста агломерации поля и пастбища вокруг Арчалы стали застраиваться коттеджами и дачами, что сокращает естественную экосистему; 2) сельская инфраструктура (водопровод, канализация) развита слабо – существует риск загрязнения почв и грунтовых вод бытовыми стоками и нитратами от сельхоздеятельности.

Аламединский район в целом (включая сёла Аламедин, Байтик, Кок-Жар и др.) граничит непосредственно с южной частью Бишкека. Оттуда в город поступает горный воздух по долинам рек Аламедин и Ала-Арча. Однако хаотичная застройка южной окраины Бишкека частично перекрывает эти воздушные коридоры. Кроме того, в Аламединском районе находятся популярные загородные зоны отдыха (Аламединское ущелье, базы отдыха), на которых растёт антропогенная нагрузка: увеличивается поток туристов, появляется мусор, разрастаются дачные посёлки.

В северных и западных пригородных территориях (села Ак-Жар, Военно-Антоновка, Ала-Арча, пригородные жилмассивы по трассе на Кара-Балту) основная нагрузка связана с отходами и транспортом. Здесь расположена главная городская свалка Бишкека – муниципальный полигон твёрдых отходов, находящийся примерно в 10 км к северу от центра. Старый полигон (действовавший с 1970-х годов) переполнен и много лет **горит, выделяя токсичный дым.** Мусор на свалке самовозгорается, выбрасывая диоксины и ядовитый газообразный *фильтрат* – всё это распространяется по округе и отравляет воздух и грунтовые воды. Рядом со свалкой (в пределах 500 м) протекает река, питающая оросительные водохранилища. Я**довитые фильтраты со свалки могут попадать в воду**, загрязняя сельхозпродукцию [12]. В 2023 году, при поддержке ЕБРР и ЕС, открыт новый санитарный полигон, отвечающий современным требованиям [13].

Несмотря на выявленные проблемы, пригородные территории являются и частью решения экологических проблем. Именно там ещё есть пространство для создания новых парков, лесопарков, буферных лесонасаждений вокруг города. Зелёный пояс пригородных

лесопосадок могло бы служить фильтром для пыли и поставить барьер распространению смога. Перевод пригородов на природный газ значимо улучшит ситуацию с загрязнением природного компонента.

Экологическая ситуация в пригородных территориях Бишкека разнообразна: рядом с относительно благополучными территориями (предгорные сёла с чистым воздухом) находятся неблагополучные зоны (промзоны, старые свалки, задымленные новостройки). Это требует **комплексного, межмуниципального подхода** к оздоровлению окружающей среды. Сегодня реализуется «План комплексных мер по улучшению экологической ситуации в городе Бишкек, и Сокулукском, Аламединском районах Чуйской области на 2021-2023 годы», который подразумевает совместные действия городских и районных властей. Подобная координация усилий важна, поскольку экосистема агломерации едина и не знает административных границ.

Учитывая выявленные проблемы и уязвимости природно-экологического комплекса города Бишкек и его окрестностей, необходимо реализовать ряд стратегических мер.

- **Снижение загрязнения воздуха.** Прежде всего, следует сократить выбросы от отопления и транспорта. Необходимо продолжить программу газификации жилмассивов, переведя частный сектор с угля на природный газ или электроотопление. Параллельно модернизировать городскую ТЭЦ – внедрить более чистые технологии сжигания топлива (фильтры, перевод на газ) или использовать возобновляемые источники энергии. В сфере транспорта рекомендуется развитие общественного электротранспорта (электробусы, троллейбусы), стимулирование перехода на экологичные автомобили (электромобили, газомоторные). Организация «парковочных перехватов» и улучшение условий для пешеходов и велосипедистов поможет снизить транспортную загруженность.
- **Развитие и защита зелёных зон.** Необходимо остановить сокращение зелёных насаждений и приступить к их восстановлению. Следует строго соблюдать нормы по озеленённой площади при новом строительстве (не менее 6 м² озеленения на человека в пределах квартала, как требует СН КР 30-01:2020). Восстановление утраченной зелени потребует масштабных акций по посадке деревьев. В рамках программы «Жашыл Мурас» уже высаживаются тысячи саженцев ежегодно, но важно повысить их приживаемость (качественный уход, полив, охрана от вытаптывания). Особое внимание стоит уделить равномерности озеленения: новые парки следует создавать именно в тех районах, где их остро не хватает. Также перспективно использование **вертикального озеленения** (озеленение фасадов, крыши домов).
- **Охрана водных ресурсов и улучшение водоснабжения.** Требуется модернизировать городские очистные сооружения и канализационную систему, чтобы исключить сброс недочищенных сточных вод в реки. Можно рассмотреть строительство дополнительных локальных станций очистки для новых жилмассивов. Необходимо расчистить русла рек Ала-Арча и Аламедин в черте города, обустроить прибрежные парковые зоны. В окрестностях города – следить за состоянием оросительных каналов (регулярная очистка от мусора) и проводить мероприятия по предотвращению их заиления и потерь воды.
- **Управление отходами и очистка территорий.** Важнейшей задачей является решение проблемы твёрдых бытовых отходов. Открытие нового санитарного полигона в

2023 году – лишь первый шаг. Необходимо рекультивировать старую свалку: потушить тлеющие очаги, изолировать отходы слоем грунта, установить системы сбора фильтрата и дегазации. Далее нужно налаживать **раздельный сбор отходов** в городе, внедрять переработку – это сократит объём мусора, попадающего на полигон, и снизит риски возгораний. В пригородах следует ликвидировать стихийные свалки, усилить контроль и ответственность за выброс мусора в неположенных местах.

- **Интегрированное градостроительное планирование.** Главный вывод из анализа – экологические факторы должны стать одним из оснований при планировании развития города. Зоны проветривания (коридоры вдоль рек и между массивами застройки) должны быть учтены и оставлены свободными от высотной застройки. Пригородную территорию важно рассматривать не как бесконечный ресурс для расширения застройки, а как часть экосистемы: сохранять сельскохозяйственные земли, лесополосы, водно-болотные угодья. Адаптация к уже происходящим климатическим изменениям должна стать составной частью градостроительной политики.

Природно-экологический анализ города Бишкек и пригородных территорий выявил тесную взаимосвязь всех компонентов: географические особенности усиливают эффект от антропогенных воздействий, а состояние природы влияет на здоровье населения. Экосистема Бишкека сегодня **уязвима**, но при своевременном принятии вышеуказанных мер возможно обратить негативные тенденции. Принципы устойчивого развития, опора на научные данные и активное вовлечение общества в охрану окружающей среды позволят сохранить благоприятную городскую среду.

Список литературы

1. **Подрезов, О.А.** Современный климат Бишкека, Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта / О.А. Подрезов. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 202 с.: ил. ISBN 978-9967-05-932-0.

2. Как вернуть Бишкеку былую славу самого зеленого города. Мнение эксперта. Статья из новостного портала 24KG. – 24KG: официальный сайт. – URL: https://24.kg/obschestvo (дата обращения: 06.05.2025).

3. Почва Чуйской долины. Статья из новостного портала Open.kg. – Open.kg: официальный сайт. – URL: https://open.kg/about-kyrgyzstan/nature/soil-and-minerals (дата обращения 06.05.2025).

4. План действий «Зелёный город» для города Бишкек. Отчет EBRD Green Cities: – EBRD Green Cities. – 2025. – URL: https://ebrdgreencities.com (дата обращения 06.05.2025).

5. **Насритдинов Э.** Mythology and Morphology of Rivers in Bishkek. Статья из сайта Social innovation lab Kyrgyzstan. – SILK: официальный сайт. – 2025. – URL: https://silk.kg/river (дата обращения 06.05.2025).

6. В селе Лебединовка прошла экологическая акция по очистке участка БЧК. Статья из сайта ОФ «ЭкоМиР». Общественный фонд. Экологический мониторинг и расследования. – ЭкоМиР: официальный сайт. – URL: https://ecostan.kg/vremya-kozhozhasha/ (дата обращения: 06.05.2025).

7. Карагачёвая роща // Википедия. [2024]. Дата обновления: 22.08.2024. – URL: https://ru.wikipedia.org (дата обращения: 06.05.2025).

8. **Борбиева, Д.Б.** Исследование химического состава почв Кыргызстана / Д.Б. Борбиева, Ш.С. Сыдыкова. КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек. – 2003.

9. **Кыргызская Республика. Строительные нормы.** СН КР 30-01-2020. Планировка и застройка городов и населенных пунктов городского типа: *(Утверждены и введены в действие приказом Государственного агентства архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики от 24 марта 2020 года № 39-нпа).* – Бишкек: Централизованный банк данных правовой информации Кыргызской Республики: официальный сайт. – 2024. – URL: https://cbd.minjust.gov.kg/200523?refId=1223164 (дата обращения: 24.05.2024).

10. Загрязнение воздуха в Бишкеке и Право на здоровую окружающую среду. Материал из сайта Бишкексмог. – Бишкексмог: официальный сайт. – URL: https://bishkeksmog.info (дата обращения: 06.05.2025).

11. Женщины села Лебединовка- за чистый воздух в селе! Статья из сайта Ecoaiyl.kg: устойчивые поселения в Кыргызстане. - Ecoaiyl.kg: официальный сайт. – URL: https://ecoaiyl.kg/zhenschiny (дата обращения: 06.05.2025).

12. Муниципальный полигон превращает Бишкек в самый токсичный город Земли. Материал из сайта Карта экологических нарушений. Карта экологических нарушений: официальный сайт: – URL: https://ecomap.kg/21-municipalnyj-poligon-prevraschaet-bishkek-v-samyj-toksichnyj-gorod-zemli (дата обращения: 06.05.2025). В Бишкеке открыт новый санитарный полигон. Статья из новостного портала Радио Азаттык. – Радио Азаттык: официальный сайт. – URL: https://rus.azattyk.org (дата обращения: 06.05.2025).

13. Глазунова А.В. Актуальные проблемы формирования комфортных условий среды в г. Бишкек / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2025. – №1(73) – стр... 45 –58.

14. Кенешов Т. С., Усенов С. Д., Дайирбеков Д. Э. Современное состояние реки Аламедин г. Бишкек и анализ теоретических работ по благоустройству и озеленению территорий городов / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2025. – №2 (74). – стр. 293 –300.

15. Сатенов А.Э., Кенешов Т.С., Чалданбаев Б.Б. Массивы индивидуальной жилой застройки в городе Бишкек /. Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2026. – Том 2. – №1 (77). – стр. 238 –251.

УДК 7.05:39(574)

Тусупбекова Ш. М.
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва,
Астана, Республика Казахстан
ORCID: 0000-0001-9675-2001

Sholpan Mukametkanovna Tusupbekova
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭТНИЧЕСКИХ ТРАДИЦИЙ В СОВРЕМЕННУЮ ДИЗАЙН-СРЕДУ

ЭТНИКАЛЫК САЛТТАРДЫН ЗАМАНБАП ДИЗАЙН ЧӨЙРӨСҮНӨ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАНЫШЫ

TRANSFORMATION OF ETHNIC TRADITIONS IN THE MODERN DESIGN ENVIRONMENT

Бул макалада этникалык салттардын заманбап дизайн мейкиндигиндеги трансформациясы каралат. Глобалдашуу шартында улуттук маданий кодду сактоо заманбап дизайн тармагынын эң маанилүү багыттарынын бири болуп саналат. Изилдөөнүн жүрүшүндө этнодизайндын теориялык негиздери, улуттук оймо-чиймелерди, символиканы, түстүк чечимдерди жана салттуу көркөм элементтерди заманбап графикалык, интерьердик жана декоративдик дизайнда колдонуу өзгөчөлүктөрү талданат. Мындан тышкары, Казакстандын жана чет өлкөлөрдүн тажрыйбасына салыштырма талдоо жүргүзүлүп, бренддик идентүүлүктү калыптандырууда этникалык мотивдердин ролу аныкталат.

***Ачкыч сөздөр**: этнодизайн, трансформация, улуттук маданият, графикалык дизайн, этникалык салттар, визуалдык коммуникация, маданий код.*

В данной статье рассматривается трансформация этнических традиций в современном дизайн-пространстве. В условиях глобализации сохранение национального культурного кода становится одним из важнейших направлений современной сферы дизайна. В ходе исследования анализируются теоретические основы этнодизайна, особенности применения национального орнамента, символики, цветовых решений и традиционных художественных элементов в современном графическом, интерьерном и декоративном дизайне. Кроме того, проводится сравнительный анализ казахстанского и зарубежного опыта, а также определяется роль этнических мотивов в формировании брендовой идентичности.

***Ключевые слова:** этнодизайн, трансформация, национальная культура, графический дизайн, этнические традиции, визуальная коммуникация, культурный код.*

This article examines the transformation of ethnic traditions in the modern design environment. In the context of globalization, the preservation of the national cultural code has become one of the most important directions in contemporary design. The study analyzes the theoretical foundations of ethnodesign, as well as the features of applying national ornaments, symbolism, color solutions, and traditional artistic elements in modern graphic, interior, and decorative design. In addition, a comparative analysis of Kazakhstani and international experience is conducted, and the role of ethnic motifs in the formation of brand identity is determined.

Key words: *ethnodesign, transformation, national culture, graphic design, ethnic traditions, visual communication, cultural code.*

Для цитирования: Тусупбекова Ш. М. Трансформация этнических традиций в современную дизайн-среду / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2026. – 3 (79).– стр. 64 -76.

Введение

В условиях современной глобализации наблюдается активное взаимодействие культур различных народов мира, что приводит к постепенной трансформации национальных особенностей и традиционных культурных ценностей. Развитие информационных технологий, расширение международных экономических и культурных связей, с одной стороны, способствует формированию общего мирового культурного пространства, а с другой – актуализирует проблему сохранения национальной идентичности. В связи с этим особую значимость приобретает поиск эффективных способов сохранения и адаптации культурного наследия к условиям современного общества.

В данном контексте дизайн выступает не только средством формирования предметно-пространственной и визуальной среды, но и важным инструментом передачи культурной информации, сохранения исторической памяти и репрезентации национального кода. Через визуальные образы, символы, орнаменты и художественные формы дизайн способен транслировать культурные ценности и обеспечивать преемственность традиций в современных условиях.

Развитие современной дизайн-среды тесно связано с социальными, культурными и технологическими изменениями. Сегодня визуальная коммуникация оказывает существенное влияние на формирование мировоззрения, культурного восприятия и национальной самоидентификации личности. В связи с этим переосмысление и интеграция этнических традиций в современный дизайн становятся одним из эффективных механизмов сохранения культурного наследия. Элементы традиционного искусства активно используются в графическом дизайне, интерьерных решениях, индустрии моды, цифровых медиа и брендинге, приобретая новые формы и значения.

Особое место в этом процессе занимает этнодизайн, представляющий собой направление проектной деятельности, основанное на синтезе традиционных культурных элементов и современных художественных подходов. Его основная задача заключается в сохранении и актуализации историко-культурного опыта народа посредством современного дизайнерского языка. Этнодизайн способствует не только сохранению национального наследия, но и его развитию в новых социокультурных условиях. При этом процесс трансформации этнических элементов предполагает не механическое воспроизведение

традиционных форм, а их творческую интерпретацию с учетом современных эстетических и функциональных требований.

Традиционная культура казахского народа представляет собой уникальную систему художественных и духовных ценностей, сформированную в ходе многовекового исторического развития. Национальные орнаменты, декоративно-прикладное искусство, культура юрты, символика цвета и ремесленные традиции отражают мировоззрение народа, его связь с природой и духовные ориентиры. Такие орнаменты, как «қошқар мүйіз», «түйетабан» и «ирек», являются не только декоративными элементами, но и носителями глубокого символического содержания, отражающего культурные коды и философские представления казахской культуры. Современные дизайнеры активно адаптируют эти элементы, сочетая их с новыми технологиями, принципами минимализма и международными стандартами визуальной коммуникации [1].

В настоящее время трансформация этнических мотивов способствует популяризации национальной культуры в мировом культурном пространстве. Международный опыт демонстрирует успешное использование японских, скандинавских, африканских и восточных культурных традиций в современной дизайн-индустрии, что подтверждает высокий потенциал этнического наследия как источника творческих решений. Аналогичные процессы наблюдаются и в Казахстане, где интерес к национальному стилю постоянно возрастает, а этнические элементы становятся важной составляющей брендинга, визуальной идентичности и формирования культурного имиджа страны [2].

Вместе с тем интеграция этнических традиций в современную дизайн-среду сопровождается рядом проблем. В отдельных случаях национальные мотивы используются исключительно как декоративный элемент, что может привести к утрате их первоначального культурного и символического значения. По этой причине исследование этнодизайна требует комплексного подхода, включающего художественный, исторический, культурологический, семиотический и философский анализ. Научное изучение процессов трансформации этнических традиций позволяет выявить механизмы сохранения культурного наследия и определить эффективные пути его адаптации к условиям современного общества.

Методы исследования

В ходе исследования был использован комплекс взаимодополняющих научных методов, направленных на всестороннее изучение особенностей трансформации этнических традиций в современной дизайн-среде. Методологическую основу работы составили культурологический, искусствоведческий и дизайнерский подходы к анализу этнокультурного наследия и его интеграции в современное визуальное пространство.

На первом этапе исследования был применен метод анализа научной литературы. Были изучены отечественные и зарубежные научные труды, посвященные вопросам этнодизайна, этнической культуры, традиционного декоративно-прикладного искусства, визуальной коммуникации и современного дизайна. Анализ монографий, диссертаций, научных статей и электронных источников позволил определить основные теоретические подходы к пониманию этнодизайна, проследить этапы его становления и выявить его место в современной проектной культуре.

Для выявления особенностей использования этнических элементов в современном дизайне был использован сравнительный метод исследования. В рамках данного метода

были сопоставлены примеры казахстанских и зарубежных дизайнерских проектов, основанных на использовании национальных мотивов. Особое внимание уделялось анализу орнаментальных форм, символических знаков, цветовых решений и композиционных принципов, а также способам их адаптации к современным эстетическим и функциональным требованиям.

Одним из ключевых методов исследования стал визуальный анализ. Его применение позволило изучить особенности использования этнических мотивов в графическом дизайне, интерьерных решениях, индустрии моды и цифровых медиа. Анализировались степень стилизации традиционных элементов, сохранение их символического содержания, особенности композиционного построения и характер взаимодействия национальных мотивов с современными средствами художественной выразительности.

С целью раскрытия культурного содержания этнических элементов был использован культурно-исторический метод. Данный подход позволил рассмотреть процесс формирования традиционной художественной культуры казахского народа, выявить особенности национального культурного кода и определить механизмы его отражения в современной дизайн-практике.

Кроме того, в исследовании применялись методы систематизации, классификации и обобщения научных данных. Полученные материалы были структурированы по тематическим направлениям, что позволило выявить основные тенденции трансформации этнических традиций в современном дизайне, определить их художественно-эстетические особенности и оценить их роль в формировании культурной идентичности.

На заключительном этапе исследования использовались методы анализа и синтеза, посредством которых были интерпретированы полученные результаты и сформулированы выводы относительно современных тенденций развития этнодизайна. Это позволило определить перспективы дальнейшего использования этнического наследия в условиях глобализации и цифровизации современного общества.

Результаты исследования

В результате исследования было установлено, что этнические традиции активно используются в различных направлениях современного дизайна:

Направление дизайна	**Используемые этнические элементы**
Графический дизайн	Орнаменты, национальная символика, шрифтовые решения
Интерьерный дизайн	Традиционные узоры, текстиль, декоративные элементы
Предметный дизайн	Национальные формы, материалы, декоративная отделка
Дизайн одежды	Народные орнаменты, вышивка, традиционная цветовая гамма

Результаты исследования показали, что этнические элементы в современном дизайне чаще всего используются в стилизованной и адаптированной форме, сохраняя при этом основные признаки национальной культуры. Анализ современных дизайнерских практик позволил установить, что этнические мотивы активно интегрируются в различные

направления проектной деятельности и выступают важным средством выражения культурной идентичности.

В современном дизайне этнические элементы выполняют не только декоративную функцию, но и служат инструментом передачи культурных смыслов и национальных ценностей. Они широко применяются в графическом, интерьерном, архитектурном, промышленном и модном дизайне. Использование традиционных мотивов способствует формированию уникального визуального образа объектов и усиливает их культурно-информационное содержание [3].

Проведённый анализ показал, что современные дизайнеры активно переосмысливают традиционные орнаменты, национальную символику, цветовые решения и элементы декоративно-прикладного искусства, адаптируя их к современным требованиям. Так, сложные национальные орнаменты нередко трансформируются в лаконичные графические элементы, используемые при разработке логотипов, фирменного стиля и визуальной идентификации брендов. В интерьерном дизайне традиционные мотивы сочетаются с современными материалами и технологиями, формируя выразительную художественную среду.

Одной из характерных особенностей современного этнодизайна является интерпретация культурных кодов с использованием новых технологий. Развитие цифровых инструментов значительно расширило возможности визуализации национальных мотивов. Благодаря этому элементы этнического наследия рассматриваются не только как историко-культурная ценность, но и как актуальный компонент современной эстетики и визуальной коммуникации [4].

Результаты исследования свидетельствуют о том, что использование этнических элементов в дизайне способствует сохранению национальной культуры, укреплению культурной идентичности и популяризации локальных традиций в условиях глобализации. Кроме того, этнические мотивы повышают художественную выразительность дизайнерских объектов и усиливают их конкурентоспособность в современном культурном пространстве.

Теоретический анализ показал, что этнодизайн представляет собой особое направление творческой деятельности, ориентированное на интеграцию исторического опыта народа, его мировоззрения, духовных ценностей и художественных традиций в современную проектную практику. Этнодизайн выступает не только художественным методом, но и важным инструментом культурной коммуникации, сохранения исторической памяти и формирования национальной идентичности.

Современные научные исследования рассматривают этнодизайн в тесной взаимосвязи с культурологией, искусствоведением, теорией дизайна и визуальными коммуникациями. По мнению исследователей, этнодизайн является эффективным механизмом сохранения культурного кода народа и его адаптации к новым социокультурным условиям. Он обеспечивает преемственность между традицией и инновацией, способствуя сохранению актуальности национального искусства в современном обществе.

Исследование показало, что развитие цифровых технологий, включая компьютерную графику, трёхмерное моделирование, интерактивную визуализацию и инструменты искусственного интеллекта, открывает новые возможности для использования этнических мотивов. Это способствует не только сохранению культурного наследия, но и его дальнейшему развитию в инновационной среде.

Установлено, что этнодизайн является одним из важных механизмов сохранения культурной идентичности в условиях глобализации. В ситуации усиления культурной унификации использование национальных художественных элементов позволяет поддерживать интерес к историческому наследию и укреплять связь общества с традиционными культурными ценностями.

Анализ структуры этнодизайна позволил выделить его основные компоненты:

- национальный орнамент как средство художественного и символического выражения;
- система визуальных символов, передающих культурную и историческую информацию;
- традиционная цветовая культура и её семантическое значение;
- композиционные принципы, сформировавшиеся в процессе исторического развития культуры;
- использование природных материалов и фактур, отражающих особенности традиционного образа жизни.

Особое внимание в исследовании уделено казахскому этнодизайну, который сформировался под влиянием кочевой культуры. Его характерными чертами являются тесная связь с природой, свобода пространственного мышления и высокая символическая насыщенность художественных образов. Орнаменты казахского декоративно-прикладного искусства выполняют не только эстетическую, но и смысловую функцию, отражая философские представления и духовные ценности народа.

Анализ современной дизайнерской практики показал, что элементы казахского этнодизайна активно используются в графическом дизайне, архитектуре, интерьере, индустрии моды и цифровых медиа. Национальные орнаменты всё чаще адаптируются к требованиям современной визуальной культуры и применяются в логотипах, упаковке, фирменном стиле и веб-дизайне в минималистичной и технологичной интерпретации.

Выявлено, что трансформация этнических элементов в современном дизайне осуществляется по нескольким основным направлениям:

- стилизация и упрощение традиционных орнаментов;
- адаптация национальной цветовой палитры к современным композиционным решениям;
- переосмысление исторических символов средствами современной графики;
- использование элементов национальной типографики в визуальных коммуникациях.

Таким образом, исследование подтвердило, что этнодизайн является эффективным инструментом сохранения культурного наследия, формирования национальной идентичности и интеграции традиционных художественных ценностей в современное визуальное пространство.

Рисунок 1 – Этнические элементы в логотипах и фирменном стиле

Рисунок 2 - Этнический стиль в цифровом интерфейсе и UI/UX-дизайне

В дизайне интерьера этнические традиции занимают важное место как средство формирования национальной атмосферы. Элементы юрты, фактура натурального дерева, национальные текстильные изделия и традиционные орнаменты широко используются в современных интерьерных пространствах.

Особенности этностиля в современном интерьере:

- использование натуральных материалов;
- сочетание национальных декоративных элементов с минимализмом;
- преобладание экологичных и функциональных решений;
- применение национальной цветовой палитры.

Этнический интерьер широко распространен в современных гостиницах, ресторанах, культурных центрах и жилых помещениях.

Рисунок 3 – Современная гостиная в этническом стиле

На сегодняшний день этнические традиции занимают особое место и в индустрии моды. Элементы казахской национальной одежды находят новое отражение в современных моделях одежды. Орнаменты, вышивка, национальные силуэты и традиционные аксессуары стали одним из ключевых трендов современного fashion-дизайна.

Современные дизайнеры используют этнический стиль:

- в повседневной одежде;
- в коллекциях haute couture;
- в дизайне аксессуаров;
- в текстильном искусстве.

Данный процесс способствует популяризации национальной культуры на международном уровне.

Рисунок 5 - Элементы казахской национальной одежды в современных модных образцах

В условиях глобализации многие народы стремятся сохранить свои культурные особенности. В этом контексте этнодизайн выступает как эффективный инструмент укрепления культурной идентичности. Сегодня среди потребителей растёт интерес к аутентичности. Дизайнерские продукты, в которых используются национальные мотивы, обладают высокой эстетической ценностью и усиливают уникальность бренда [5].

При трансформации этнических элементов важно сохранять их первоначальное смысловое содержание. Поверхностное использование национальных символов может привести к утрате их культурной значимости.

Казахстанские дизайнеры активно накапливают опыт в интеграции национальной культуры в современный визуальный язык. Казахские орнаменты, традиционные цвета и элементы кочевой культуры широко используются в современных брендах.

С целью выявления особенностей трансформации этнических традиций в современном дизайн-пространстве был проведен сравнительный анализ дизайнерских практик Японии, Скандинавии, Африки и Восточной Азии. Исследования показывают, что этническое наследие внедряется в современный дизайн не путем прямого копирования его традиционных форм, а посредством адаптации культурных и эстетических особенностей к новым формам, функциям и технологиям.

В японском дизайне традиционная эстетика *wabi-sabi* оказывает влияние на современное декоративно-прикладное и предметное проектирование, способствуя переосмыслению таких эстетических принципов, как простота, естественность и несовершенство [6].

В скандинавском дизайне связь традиции с современным проектированием формируется через преемственность с природой, функциональность, минималистичность форм и сохранение культурной идентичности. Направление «New Nordic» демонстрирует переинтерпретацию традиционных ценностей скандинавского дизайна в контексте современного международного дизайнерского языка [7].

В африканском дизайне традиционные текстильные материалы, орнаменты, формы одежды и культурные символы получают новое применение в современном дизайне моды. Традиция в одних случаях выступает как очевидная визуальная отсылка, а в других - глубоко интегрируется в творческий процесс, формируя новое смысловое содержание [8].

В опыте Восточной Азии интеграция традиционных культурных элементов в современный дизайн осуществляется на уровнях формы, функции, материала, ремесленных техник, орнамента, цвета и символики [9]. Методы систематизации традиционных китайских культурных элементов и их внедрения во внешний облик современных промышленных изделий также рассматриваются в научных исследованиях [10].

Сравнительный анализ показывает, что основная особенность интеграции этнических традиций в современный дизайн заключается не в прямом воспроизведении традиционных форм, а в их переинтерпретации в новом визуальном и функциональном контексте при сохранении культурно-семантического содержания и художественной ценности.

Анализ международного опыта показал, что внедрение этнических традиций в современный дизайн основывается на взаимосвязи традиции и инновации. На этой основе в исследовании систематизированы четыре основных направления трансформации этнических элементов: адаптация, стилизация, интерпретация и интеграция.

Адаптация предполагает приведение традиционных элементов в соответствие с современными функциональными и эстетическими требованиями; стилизация - упрощение, геометризацию и художественное преобразование их форм; интерпретация - переосмысление традиционных символов и культурных значений в новом художественном контексте; интеграция - органичное объединение этнических элементов с современными формами, материалами и технологиями.

Предложенная классификация конкретизирует научную новизну исследования и позволяет систематизировать механизмы трансформации этнических традиций в современной дизайн-среде. Кроме того, данный подход создает основу для сохранения национального культурного кода при его сочетании с современными художественными, функциональными и технологическими требованиями дизайна.

Особенность казахстанского этнодизайна заключается в опоре на символическую систему кочевой культуры, что позволяет ему позиционироваться как уникальное направление в международном дизайн-пространстве [11].

Научная новизна исследования заключается в систематизации особенностей трансформации и переосмысления этнических традиций в современной дизайн-среде, а также в выявлении их художественного и культурного потенциала. В ходе исследования определены четыре основных направления внедрения этнических элементов в современный дизайн: адаптация, стилизация, интерпретация и интеграция.

Установлено, что традиционный орнамент, национальная символика, цветовые решения, композиционные структуры и материалы в процессе адаптации к современным требованиям не воспроизводятся в первоначальном виде. При этом сохраняются их основные культурно-семантические и художественные характеристики, которые посредством упрощения, геометризации, стилизации, композиционной переработки и сочетания с современными технологиями приобретают новое визуальное выражение.

Особенность исследования состоит в рассмотрении этнических традиций не только как декоративного средства, но и как значимого культурно-художественного ресурса. Их использование способствует сохранению национальной идентичности, раскрытию содержательного и семантического потенциала дизайн-объекта, а также формированию новых творческих решений и инновационных подходов в современном дизайне.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают значимую роль этнических традиций в формировании современной дизайн-среды. Проведённый анализ показал, что адаптация национальных культурных элементов к современным художественным и технологическим условиям способствует сохранению культурного наследия и его передаче новым поколениям. Интеграция этнических мотивов в различные направления дизайна позволяет не только поддерживать связь с историческими традициями, но и создавать уникальные визуальные решения, отражающие национальную идентичность.

Результаты исследования согласуются с выводами отечественных и зарубежных учёных, рассматривающих этнодизайн как эффективный механизм сохранения культурной самобытности в условиях глобализации. Исследователи отмечают, что использование традиционных художественных форм в современном проектировании способствует сохранению культурного кода народа и укреплению национального самосознания.

Анализ современных дизайнерских практик показал, что процесс трансформации этнических элементов не ограничивается простым воспроизведением традиционных форм. Напротив, он предполагает их творческое переосмысление и адаптацию к современным эстетическим, функциональным и технологическим требованиям. Благодаря этому формируется гармоничное взаимодействие традиций и инноваций, расширяются выразительные возможности дизайна и повышается его культурная ценность.

Таким образом, трансформация этнических традиций в современной дизайн-среде является важным условием сохранения национального культурного наследия, развития визуальной культуры и укрепления культурной идентичности общества.

Заключение

Трансформация этнических традиций в современную дизайн-среду является одним из важнейших направлений сохранения, возрождения и адаптации национального культурного наследия к требованиям современного общества. В условиях глобализации культурные особенности многих народов постепенно подвергаются изменениям, что делает проблему сохранения национальной идентичности особенно актуальной. В этой связи этнодизайн рассматривается не только как художественное явление, но и как важный механизм сохранения исторической памяти, духовных ценностей и культурного кода.

Использование этнических элементов в современном дизайн-пространстве позволяет национальной культуре продолжать своё развитие в новой форме. Национальные орнаменты, символические знаки, цветовая культура и традиционные композиционные структуры широко применяются в современном графическом дизайне, интерьере, индустрии моды, архитектуре и цифровой визуальной среде. Данный процесс подтверждает, что традиционная культура является не только историческим наследием, но и живой культурной системой, способной отвечать эстетическим и коммуникационным потребностям современного общества.

Этнодизайн является важным культурным инструментом, укрепляющим национальную идентичность. Он позволяет передавать историческое мировоззрение народа, его эстетический вкус и духовные ценности через визуальную форму. Особенно рост интереса к национальному стилю среди молодежи способствует новому восприятию культурного наследия в сознании нового поколения. С этой точки зрения этнодизайн определяется как важное творческое направление, обеспечивающее культурную преемственность и сохранение национальной самобытности.

Было установлено, что трансформация этнических традиций представляет собой процесс их адаптации к современным требованиям без утраты первоначального смысла. Современные дизайнеры не ограничиваются механическим повторением традиционных элементов, а формируют новые художественные решения посредством их интеграции с современными технологиями, принципами минимализма и международными визуальными стандартами. Данный процесс позволяет интегрировать национальную культуру в мировое дизайн-пространство и создавать конкурентоспособные визуальные продукты на международном уровне.

В то же время широкое распространение этнического стиля оказывает влияние и на коммерциализацию национальной культуры. В некоторых случаях поверхностное использование этнических элементов на декоративном уровне может привести к ослаблению

их глубокого символического и духовного содержания. Поэтому в сфере этнодизайна особое значение приобретает вопрос культурной ответственности.

Казахстанский этнодизайн в настоящее время активно развивается. Художественные особенности, характерные для кочевой цивилизации казахского народа, такие как гармония с природой, символическое мышление, а также элементы декоративно-прикладного искусства, находят новое воплощение в современной дизайн-практике. Данный процесс способствует формированию культурного имиджа Казахстана, развитию национальных брендов и международному признанию отечественной дизайн-индустрии.

В будущем одним из актуальных научных направлений станет изучение этнодизайна в контексте цифровых технологий, искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности. Использование национальных культурных элементов в интерактивной цифровой среде открывает новые возможности визуальной коммуникации. Кроме того, развитие этнодизайна в сочетании с экодизайном, медиаискусством и инновационными технологиями усиливает трансформационный потенциал национальной культуры в новую эпоху.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что этнические традиции в современной дизайн-среде сохраняют свою культурно-смысловую основу, одновременно приобретая новые художественные формы посредством адаптации, стилизации, интерпретации и интеграции. Национальные орнаменты, символы, особенности цветовой культуры и традиционные композиционные приемы используются не только в декоративных целях, но и как средства выражения культурной идентичности и формирования смыслового содержания дизайн-объектов.

Таким образом, научная новизна исследования заключается в систематизации основных способов трансформации этнических традиций в современной дизайн-среде и выявлении их художественного и культурного потенциала для создания новых дизайнерских решений при сохранении национального наследия.

Подводя итог, можно отметить, что трансформация этнических традиций в современную дизайн-среду является важным направлением сохранения культурного наследия, популяризации национальных ценностей, а также формирования современной визуальной культуры. Этнодизайн выступает как важное творческое направление, которое соединяет прошлое и настоящее, адаптирует духовные ценности народа к современному обществу и сохраняет культурную идентичность.

Список литературы

1. Әбдіғапбарова Ұ. Қазақ ою-өрнектерінің тарихы мен теориясы. – Алматы, 2018.
2. Қасиманов С. Қазақ халқының қолөнері. – Алматы: Қазақстан, 2015.
3. Meggs P. History of Graphic Design. – New York: Wiley, 2016.
4. Heller S. Design Literacy: Understanding Graphic Design. – New York: Allworth Press, 2010.
5. Бектенова В.Е. Использование этнических мотивов в современном дизайне // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2019. – № 50. – С. 289–293.

6. Loughman, S. (2000). The Wabi Sabi Aesthetic in Contemporary Japanese Craft and Product Design // *Proceedings of the Annual Conference of the Japanese Society for the Science of Design*. Vol. 47. P. 394–395. DOI: 10.11247/jssd.47.0_394.

7. Skou, N. P., & Munch, A. V. (2016). New Nordic and Scandinavian Retro: Reassessment of Values and Aesthetics in Contemporary Nordic Design // *Journal of Aesthetics & Culture*. Vol. 8. DOI: 10.3402/jac.v8.32573.

8. Rovine, V. L. (2019). African Fashion Design and the Mobilization of Tradition // *A Companion to Contemporary Design since 1945*. Wiley. P. 91–110. DOI: 10.1002/9781119112297.ch5.

9. Bujimo, V., Perumal, V., Rahman, K. A. A., Siow, M. L., & Lama, Z. Q. (2022). Integration of Chinese Yi Traditional Cultural Elements in Contemporary Designs: A Scoping Review // *Journal of Legal, Ethical and Regulatory Issues*. Vol. 25(S2). P. 1–10.

10. *Construction of Basic-element Database for Traditional Chinese Culture in Industrial Design* (2016) // *Procedia Computer Science*. Vol. 91. P. 1011–1017. DOI: 10.1016/j.procs.2016.07.137.

11. Ибраева А. Қазақ этнодизайны: дәстүр және заманауи бағыттар. – Алматы, 2020.

12. Абдуллаева Г.М. Изучение художественного проектирования дизайна костюма и текстиля как аспект наследия народного творчества кыргызов // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2015. – № 35.

13. Lupton E. Thinking with Type: A Critical Guide for Designers, Writers, Editors, and Students. – New York: Princeton Architectural Press, 2014.

14. Papanek V. Design for the Real World: Human Ecology and Social Change. – London: Thames & Hudson, 2019.

15. Samara T. Design Elements: A Graphic Style Manual. – Beverly, MA: Rockport Publishers, 2020.

16. Armstrong H. Graphic Design Theory: Readings from the Field. – New York: Princeton Architectural Press, 2019.

17. Ambrose G., Harris P. The Fundamentals of Graphic Design. – London: Bloomsbury Publishing, 2021.

18. Оморкулова Д. К. Новые веяния в современной моде / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – Бишкек: 2024. №2 (70). – стр. 623–629.

УДК 624.131.23 + 624.131.31

Чернов А.Ю., Шапошников Е.В.
Түндүк Кавказ федералдык университети, Ставрополь шаары, Россия
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, Россия

A.Y. Chernov[1], E.V. Shaposhnikov[2]
North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
[1]ORCID: 0000-0001-9688-6683
[2]ORCID: 0000-0002-7961-6435
achernov@ncfu.ru; eshaposhnikov@ncfu.ru

ПРОБЛЕМЫ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА РОССИИ

РОССИЯНЫН ТҮНДҮК КАВКАЗЫНДАГЫ ЧӨКМӨ КЫРТЫШТАРДЫН БИРДЕЙ ЭМЕС ЖАЙГАШУУ МАСЕЛЕЛЕРИ

PROBLEMS OF HETEROGENEITY IN THE DISTRIBUTION OF SUBSIDENCE SOILS IN THE NORTH CAUCASUS OF RUSSIA

Түндүк Кавказда көптөгөн имараттар жана курулмалар үчүн пайдубал (негиз) болуп саналган чөкмө кыртыштар кеңири жайылып жатат. Бул макаланын максаты — Түндүк Кавказдагы чөкмө кыртыштардын бир өңчөй эмес жайгашкан факторун карап чыгуу, ошондой эле инженердик изилдөөлөрдөгү маселелерди талдоо болуп саналат, анткени изилдөөлөрдө кеткен кемчиликтер долбоорлоо ишинде да так эместиктерге жана кемчиликтерге жол берип, натыйжада имараттар менен курулмалар кыйрап калышы мүмкүн.

Бул эмгектин максаты бир нече көз карандысыз булактардан алынган маалыматтар, ошондой эле 2024-2025-жылдары Ставрополь крайынын аймагында жүргүзүлгөн инженердик-геологиялык изилдөөлөрдүн жүрүшүндө авторлор тарабынан алынган маалыматтарды талдоо жана синтездөө болуп саналат. Маалыматтарды иштеп чыгуу көрсөткүчтөрдүн өзгөрмөлүүлүгүн баалоо үчүн математикалык статистика методдорун жана алынган натыйжаларды колдонуудагы нормативдик базанын талаптары менен салыштырмалуу талдоону камтыды.

Колдонуудагы нормативдик документтерде Түндүк Кавказ шарттары үчүн статикалык жана динамикалык зонддоо маалыматтарын лёсс сыяктуу кыртыштардын нормативдик жана эсептик мүнөздөмөлөрүнө кайра эсептөө боюнча бекитилген таблицалар жана корреляциялык көз карандылыктар камтылган эмес. Тармактык уюмдардын фонддорунда зонддоонун олуттуу маалыматтар массиви топтолгон, бирок ал пайдаланылбай калууда.

Региондогу чөкмө кыртыштардын жайгашуусунун реалдуу бир өңчөй эместиги эске алынбаган инженердик изилдөөлөрдүн натыйжалары пайдубалдын негизин даярдоо методун жана фундаменталдык түрүн тандоодо ката кетирүүгө өбөлгө түзөт.

Кийинчерээк бул имараттар менен курулмалардын бирдей эмес чөгүшү жана кыйрап калышы мүмкүн.

Инженердик изилдөөлөр жана архитектуралык-курулуштук долбоорлоо баскычында чөкмө кыртыштардын таралышынын бир өңчөй эместик факторлорун олуттуу муноздө эсепке албоо негизди даярдоо методун жана пайдубалды курууну туура эмес тандоого алып келет. Мындай ката чечимдерди камтыган курулуш объектилери олуттуу техникалык-экономикалык көйгөйлөр менен коштолот жана аларды алгач пландаштырылган параметрлерге ылайык пайдалануу кыйындатат. Айрым учурларда бул объектилерди коопсуз пайдалануу мүмкүн эмес болуп калат.

Ачкыч сөздөр: *чөкмө кыртыштар; кыртыштын бир өңчөй эместиги; имараттардын жана курулмалардын деформациясы; имараттардын жана курулмалардын ишенимдүүлүгү.*

Северный Кавказ характеризуется распространением просадочных грунтов, служащих основанием для значительного количества зданий и сооружений. Целью настоящей работы является рассмотрение фактора неоднородности распределения просадочных грунтов Северного Кавказа, а также анализ проблем их исследования при инженерных изысканиях, ведущих к проектным ошибкам и аварийным состояниям зданий и сооружений.

В основу работы положен анализ и синтез данных, полученных из нескольких независимых источников, а также данных, полученных авторами статьи при инженерно-геологических изысканиях, проводимых в период 2024-2025 года на территории Ставропольского края. Обработка данных включала методы математической статистики для оценки изменчивости показателей и сравнительный анализ полученных результатов с требованиями действующей нормативной базы.

Действующие нормативные документы не содержат утвержденных таблиц и корреляционных зависимостей для пересчета данных статического и динамического зондирования в нормативные и расчетные характеристики лессовых грунтов для условий Северного Кавказа. В фондах профильных организаций накоплен существенный массив данных зондирования, который остается невостребованным.

Результаты инженерных изысканий, не учитывающие реальную неоднородность распространения просадочных грунтов в регионе, формируют ошибочную основу для выбора метода подготовки основания и типа фундамента. Впоследствии это проявляется в виде неравномерных осадок и аварийных деформаций зданий и сооружений.

Недоучет факторов неоднородности распространения просадочных грунтов на стадии инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования приводит к ошибочному выбору методов подготовки основания и устройству фундамента. Эксплуатация объектов строительства, содержащих подобные ошибочные решения, сопряжена со значительными технико-экономическими проблемами и затрудняет их использование в соответствии с изначально намеченными параметрами. В отдельных случаях безопасная эксплуатация данных объектов не представляется возможной.

Ключевые слова: *просадочные грунты; неоднородность грунтов; деформация зданий и сооружений; надежность зданий и сооружений.*

The North Caucasus is characterized by the spread of subsidence soils, which serve as the base for a significant number of buildings and structures. The purpose of this work is to consider the factor of heterogeneity in the distribution of subsidence soils in the North Caucasus, as well as to analyze the problems of their study during engineering surveys leading to design errors and emergency conditions of buildings and structures.

The work is based on the analysis and synthesis of data obtained from several independent sources, as well as data obtained by the authors of the article during engineering and geological surveys conducted in the period 2024-2025 in the Stavropol Region. Data processing included mathematical statistical methods to assess the variability of indicators and a comparative analysis of the results obtained with the requirements of the current regulatory framework.

The current regulatory documents do not contain approved tables and correlations for converting static and dynamic sensing data into normative and calculated characteristics of loess soils for the conditions of the North Caucasus. The funds of relevant organizations have accumulated a significant array of sensing data, which remains unclaimed.

The results of engineering surveys, which do not take into account the real heterogeneity of the distribution of subsidence soils in the region, form an erroneous basis for choosing the method of base preparing and type of foundation. Subsequently, this manifests itself in the form of unequal building settlement and emergency deformations of structures.

Underestimation of the factors of heterogeneity in the spread of subsidence soils at the stage of engineering surveys and architectural and construction design leads to an erroneous choice of methods for preparing the base and laying the foundation. The operation of construction facilities containing such erroneous solutions is paired with significant technical and economic problems and makes it difficult to use them in accordance with the initially planned parameters. In some cases, the safe operation of these facilities is not possible.

Key words: *subsidence soils; soil heterogeneity; deformation of buildings and structures; reliability of buildings and structures.*

Для цитирования: Чернов А.Ю. Шапошников Е.В. Проблемы неоднородности распределения просадочных грунтов Северного Кавказа России / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр. 77 - 84.

Введение

Северный Кавказ характеризуется распространением просадочных грунтов, служащих основанием для значительного количества зданий и сооружений. Ключевой проблемой, осложняющей строительство и эксплуатацию объектов в регионе, является крайняя неоднородность этих грунтов, ведущая к аварийным деформациям и снижению надежности зданий и сооружений.

Северный Кавказ является одним из наиболее сложных в инженерно-геологическом отношении регионов России. Ключевая проблема строительства здесь – распространение просадочных грунтов (лессовых прежде всего), которые служат основанием для значительного количества зданий и сооружений [1, 4]. Эти грунты обладают специфическим свойством – давать дополнительные осадки (просадки) при замачивании под нагрузкой, что создает прямую угрозу эксплуатационной надежности и безопасности объектов

капитального строительства. Масштаб проблемы усугубляется не просто наличием просадочных грунтов, но и их крайней неоднородностью: изменчивостью состава, состояния и свойств как по площади, так и по глубине. Именно эта неоднородность является причиной многих аварийных деформаций и требует разработки особых подходов к инженерным изысканиям, архитектурно-строительному проектированию и строительству. Цель настоящей статьи – рассмотреть основные факторы неоднородности распределения просадочных грунтов Северного Кавказа, а также проанализировать проблемы их оценки при инженерных изысканиях, ведущие к проектным ошибкам и аварийным состояниям зданий и сооружений.

Обзор литературы

Вопросы неоднородности лессовых грунтов Северного Кавказа наиболее полно рассмотрены в работах, выполненных под руководством профессора Б. Ф. Галая. В диссертации Е. Ю. Григоряна отмечено, что лессовая формация на Северном Кавказе простирается в виде субширотной полосы от Каспийского до Азовского морей, причем ее основными особенностями являются: широкое, почти повсеместное распространение в равнинной зоне и значительное присутствие в предгорных районах; большая региональная изменчивость состава — от пылеватых песков и типичных лессов в восточных районах до тяжелых суглинков и глин в Западном Предкавказье; исключительная мощность и просадочность в восточных и северо-восточных районах (мощность до 100 и более м, просадочная толща до 50–60 м, просадка от собственного веса до 2,5–3,0 м); закономерное, стратиграфически обусловленное, цикличное строение и выдержанность состава мощных лессовых разрезов региона.

Особого внимания заслуживает исследование Б. Ф. Галая, В. В. Сербина и О. Б. Галай, в котором показано, что многие здания и сооружения испытали аварийные деформации не только в связи с ошибками изыскателей, проектировщиков и строителей, но также из-за недостатков нормативных технических документов, обнаруженных практикой строительства на просадочных грунтах региона.

Рядом авторов подчеркивается необходимость учета не только просадочности самих лессовых горизонтов, но и грунтов погребенных почв. В статье С. Д. Балыковой и Т. В. Андреевой «О необходимости изучения просадочности грунтов погребенных почв циклитно построенных лессовых толщ Северного Кавказа» (VII Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», Ессентуки, 2017 г.) приведена характеристика просадочных свойств грунтов погребенных почв лессовых толщ Предкавказья. Авторами рассмотрена связь величины их просадочности с глубиной залегания, дисперсностью, естественной влажностью и плотностью, а также типы изменения просадочности по профилю погребенных почв. На основе полученных данных делается вывод о необходимости учета просадочности грунтов погребенных почв наравне с просадочностью грунтов лессовых горизонтов.

Теоретическая часть

Теоретические основы инженерно-геологического анализа лессовых массивов базируются на концепции о их формировании в условиях аридного или семиаридного климата, где преобладал эоловый перенос пылеватых частиц. Это привело к накоплению

мощных толщ, в которых зерна карбонатов и солей играют роль цементирующего агента. В сухом состоянии такие связи способны выдерживать значительные нагрузки, однако при контакте с водой карбонатные и сульфатные цементы растворяются, глинистые прослойки набухают, а затем начинают действовать расклинивающие силы тонких водных пленок. В результате структура грунта теряет жесткость, твердые включения проваливаются в макропоры, вызывая резкую осадку, получившую название «просадка».

Согласно обобщению В. Т. Трофимова, для массивов Северной Евразии максимальная относительная просадочность достигает 0,17–0,21, а мощность просадочной толщи при природной нагрузке составляет до 55 м. При этом количество просадочных погребенных почв в одном разрезе лессовой толщи не превышает 4–5. Для Северного Кавказа, по данным Б. Ф. Галая и Е. Ю. Григоряна, характерна субширотная полоса простирания лессов от Каспийского до Азовского морей, где наблюдается большая региональная изменчивость состава — от пылеватых песков и типичных лессов в восточных районах до тяжелых суглинков и глин в Западном Предкавказье. Восточные и северо-восточные районы отличаются исключительной мощностью (до 100 м и более) при просадке от собственного веса до 2,5–3,0 м. В западных районах мощность лессовых толщ составляет 10–20 м, при этом они часто непросадочны от собственного веса (I тип).

Особенностью региона является гетерогенность лессовых разрезов: верхняя часть представлена современными грунтами с высокой просадочностью, а погребенные почвы нижележащих горизонтов могут обладать уже уплотненной, водоустойчивой структурой. Фундаментальное инженерно-геологическое свойство лессов Северного Кавказа — их способность давать просадки не только под внешней нагрузкой от зданий, но и от собственного веса при глубоком замачивании (просадки II типа). Мощность просадочной толщи в регионе может превышать 50 м, а просадки достигать нескольких метров, что создает предпосылки для катастрофических деформаций.

Ключевые параметры, определяющие степень опасности, — это относительная просадочность ε_sl, начальное просадочное давление и начальная просадочная влажность. Нормативной базой для их лабораторного определения служит ГОСТ 23161–2012, распространяющийся на просадочные грунты и устанавливающий метод лабораторного определения характеристик просадочности при замачивании грунта водой. Согласно СП 11-105-97 и СП 446.1325800.2019, помимо природной влажности, плотности и границ текучести, требуется выполнять определения гранулометрического состава при двух методах подготовки грунта к анализу, а также содержания воднорастворимых солей и органических веществ (особенно для горизонтов погребенных почв).

Таким образом, теоретическое осмысление проблемы базируется на комплексе гипотез формирования лессов, описывающих механизм разупрочнения структурных связей при замачивании. Это позволяет разрабатывать как методы прогноза просадок, так и геотехнические мероприятия по их предотвращению (предварительное замачивание, глубинное уплотнение, грунтовые сваи, химическое закрепление). При этом современные исследования, в том числе О. В. Паниной и соавторов (2022), демонстрируют возможность оперативного определения показателей просадочности по физическим свойствам грунтов, с высокой теснотой корреляционных связей, что дает возможность специалистам проектных организаций быстро получать необходимую информацию для предварительной оценки инженерно-геологических условий. Региональные закономерности распространения и изменчивости лессов Предкавказья были детально изучены в диссертационных

исследованиях Е. Ю. Григоряна (2007) и Н. Г. Вострикова (2012), который рассмотрел также влияние просадочных процессов на градостроительство и сельскохозяйственное освоение территории на примере Прикубанской равнины.

Методы и материалы

В основу работы положен анализ и синтез данных, полученных из нескольких независимых источников, а также данных, полученных авторами статьи при инженерно-геологических изысканиях, проводимых в период 2024–2025 года на территории Ставропольского края. Обобщены результаты инженерно-геологических изысканий, выполненных профильными организациями юга России (включая территории Ставропольского и Краснодарского краев, Ростовской области) за период с 2000 по 2025 гг. Проведен критический анализ научных публикаций в рецензируемых журналах («Инженерный вестник Дона», «Основания, фундаменты и механика грунтов», «Bulletin of the Tomsk Polytechnic University» и др.), диссертационных исследований и материалов профильных конференций [1-10]. Использованы результаты статического и динамического зондирования, выполненного на опорных площадках в различных геоморфологических условиях региона, а также данные режимных наблюдений за изменением влажности грунтов [4, 6, 9]. Проанализированы данные определений физико-механических свойств грунтов (гранулометрический состав, природная влажность, пористость, коэффициент фильтрации, просадочность при различных давлениях), выполненных в аттестованных лабораториях, а том числе лаборатории Северо-Кавказского федерального университета. Обработка данных включала методы математической статистики для оценки изменчивости показателей и сравнительный анализ полученных результатов с требованиями действующей нормативной базы.

Результаты

На основании проведенного анализа были получены следующие ключевые результаты, характеризующие масштабы и природу неоднородности просадочных толщ Северного Кавказа. Лессовые грунты занимают около 80–85% территории равнинной части Северного Кавказа и широко распространены в предгорных районах на поверхностях речных террас [2, 5, 6, 9, 10]. Мощность просадочной толщи варьируется в очень широких пределах: от 5–10 до 50–55 метров [3, 10]. Величина просадки грунта от собственного веса в районах со II типом грунтовых условий достигает 2–2,5 метров [10]. Установлено, что в пределах даже относительно небольших территорий (городских районов, промышленных площадок) происходит смена I типа грунтовых условий по просадочности (просадка только от внешней нагрузки) на II тип (просадка от собственного веса грунта). Границы перехода приурочены к зонам изменения геоморфологии, литологии или мощности покровных отложений. Зафиксирована вертикальная и латеральная изменчивость: свойства грунтов существенно меняются как по глубине, так и по площади. Так, на участках, удаленных друг от друга всего на несколько десятков метров, пористость, влажность и модуль деформации могут различаться на 30–50%. Природная влажность грунтов подвержена значительным сезонным колебаниям. В засушливый период грунты могут характеризоваться пониженной влажностью, что ведет к недооценке их потенциальной просадочности при лабораторных испытаниях, проводимых на пробах, отобранных в это время [4]. Содержание активных пор (диаметром более 0,01 мм), определяющих фильтрационную способность и возможность химического закрепления, варьируется от 20 до 50% общей пористости [1]. Ключевым

результатом анализа стало выявление методологической проблемы: действующие нормативные документы не содержат утвержденных таблиц и корреляционных зависимостей для пересчета данных статического и динамического зондирования в нормативные и расчетные характеристики лессовых грунтов для условий Северного Кавказа [6, 9]. При этом в фондах профильных организаций накоплен существенный массив данных зондирования, который в настоящее время остается невостребованным.

Заключение

Полученные данные позволяют говорить о системном характере недооценки проблемы неоднородности распределения просадочных грунтов в регионе. Неоднородность является объективным природным свойством лессовых толщ. Однако существующая практика инженерных изысканий, опирающаяся на редкую сеть точечных выборок, не в состоянии полно отразить эту изменчивость. Отбор монолитов, их транспортировка и хранение зачастую нарушают структуру и природную влажность грунта, искажая реальную картину [6]. Присутствует некоторый разрыв между полевыми методами и нормативами. Повсеместное распространение статического зондирования, применяемого профильными организациями [6, 9], не обеспечено соответствующей нормативной базой для интерпретации его результатов применительно к специфическим лессовым просадочным грунтам. Это приводит к тому, что огромный объем высококачественной полевой информации используется лишь для качественной оценки или не используется вовсе. Игнорирование пространственной изменчивости и несовершенство методов оценки напрямую ведут к ошибкам на этапе архитектурно-строительного проектирования. Это подтверждается примерами неудачных попыток применения методов глубинного уплотнения, закрепления и усиления оснований, зафиксированных в регионе [1, 10]. Для предварительного замачивания котлованов на Северном Кавказе требуется в 2–4 раза больше воды, чем предусмотрено строительными нормами [10]. Химическое закрепление (силикатизация) оказалось неэффективным на грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут, которые широко распространены [1]. Таким образом, результаты инженерных изысканий, не учитывающие реальную неоднородность, формируют ошибочную основу для выбора метода подготовки основания и типа фундамента, что впоследствии проявляется в виде неравномерных осадок и аварийных деформаций зданий и сооружений.

Лессовые просадочные грунты Северного Кавказа характеризуются высокой степенью природной неоднородности, проявляющейся в значительной изменчивости мощности просадочной толщи (от 5 до 55 м), чередовании I и II типов грунтовых условий по просадочности на относительно небольших расстояниях, а также существенной вариативности физико-механических свойств (влажности, пористости, фильтрационной способности) в плане и по глубине. Существующая система инженерных изысканий, базирующаяся на точечном отборе проб и лабораторных испытаниях, не в полной мере обеспечивает получения достоверной информации о пространственной изменчивости свойств грунтового массива в целом. Выявлено несоответствие между объемом накопленных в регионе данных статического и динамического зондирования и возможностями их нормативно-обоснованной интерпретации для определения расчетных характеристик лессовых грунтов, что является существенным резервом повышения качества инженерных изысканий. Недоучет факторов неоднородности распространения просадочных грунтов на стадии инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования приводит к ошибочному выбору методов подготовки основания и устройству фундамента. Эксплуатация

объектов строительства, содержащих подобные ошибочные решения, сопряжена со значительными технико-экономическими проблемами и затрудняет их использование в соответствии с изначально намеченными параметрами. В отдельных случаях безопасная эксплуатация данных объектов не представляется возможной.

Список литературы

1. Выбор метода преобразования лессовых грунтов Ростовской области с учетом различных факторов // Инженерный вестник Дона. — URL:ivdon.ru (дата обращения: 15.01.2026). — Текст: электронный.

2. Tarasenko, E. O. Mathematical modeling of consolidation of subsidence loess soils of the north caucasus by deep explosions / E. O. Tarasenko, V. S. Tarasenko, A. V. Gladkov // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. — 2019. — Vol. 330, № 5. — P. 166–177.

3. Галай, Б. Ф. Лёссовые грунты Северного Кавказа и Крыма (сравнительный анализ) / Б. Ф. Галай, В. В. Сербин, В. С. Плахтюкова, О. Б. Галай // Наука. Инновации. Технологии. — 2017. — № 4. — С. 205–220.

4. Ахлюстин, О. Е. Закономерности изменчивости физико-механических свойств просадочных грунтов Анапского района Краснодарского края: диссертация ... кандидата наук / О. Е. Ахлюстин. — Краснодар, 2013. — 150 с.

5. Tarasenko, E. O. Solution for inverse boundary value problems on the power of a concentrated charge in a mathematical model of subsidence soils compaction / E. O. Tarasenko, A. V. Gladkov, N. A. Gladkova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2022. — Vol. 1045, № 1. — P. 012105.

6. Григорян, Е. Ю. Исследование свойств лессовых грунтов методами зондирования (на примере Северного Кавказа): диссертация ... кандидата технических наук / Е. Ю. Григорян. — Пятигорск, 2007. — 174 с.

7. Галай, Б. Ф. Опыт уплотнения просадочных грунтов на Северном Кавказе / Б. Ф. Галай, В. В. Сербин, О. Б. Галай // Геомаркетинг. — 2016. — № 3. — С. 42–47.

8. Тарасенко, Е. О. Методология расчета осадок и прогнозирования просадок лессовых грунтов при использовании энергии взрыва: диссертация ... доктора технических наук / Е. О. Тарасенко. — Новочеркасск, 2022. — 340 с.

9. Григорян, Е. Ю. Исследование просадочных свойств лессовых грунтов методом статического зондирования / Е. Ю. Григорян // Транспортное строительство. — 2007. — № 7. — С. 24–26.

10. Галай, Б. Ф. Деформации зданий и сооружений на просадочных грунтах Северного Кавказа / Б. Ф. Галай, В. В. Сербин, О. Б. Галай // Жилищное строительство. — 2017. — № 8. — С. 20–24.

11. Temikeev K. Estimation of the operation resource level of the load bearing structures of buildings and facilities during design and operation period (К вопросу оценки уровня эксплуатационного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений в период проектирования и эксплуатации) / K. Temikeev, A. Abdykalykov, A.M. Zulpuev и др. / Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2023. – №1(65). – стр.551– 558.

ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ

УДК 550.34:550.83

Прокопенко С. И.[1,2]
[1]И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек Кыргыз Республикасы
[1]КГТУ им. И. Раззакова Бишкек, Кыргызская Республика
[2]Хэбэй DSF-GEOS Technology Co., Ltd, Чжанцзякоу, Китай

S. I. Prokopenko[1,2]
[1]I. Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
[2]Hebei DSF-GEOS Technology Co., Ltd, Zhangjiakou, China
sergiy.prokopenko@kstu.kg

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ГЕОПОЛЯРИТОННОЙ ТОМОГРАФИИ (GPTS): ОТ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛА К ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТОСФЕРЫ

ГЕОПОЛЯРИТОНДУК ТОМОГРАФИЯНЫН (GPTS) МАТЕМАТИКАЛЫК АППАРАТЫ: СИГНАЛДЫ КАТТООДОН БАШТАП ЛИТОСФЕРАНЫН ЧЫҢАЛУУ–ДЕФОРМАЦИЯЛЫК АБАЛЫН ТОМОГРАФИЯЛЫК РЕКОНСТРУКЦИЯЛООГО ЧЕЙИН

MATHEMATICAL FRAMEWORK OF GEOPOLARITON TOMOGRAPHY (GPTS): FROM SIGNAL ACQUISITION TO TOMOGRAPHIC RECONSTRUCTION OF THE LITHOSPHERIC STRESS–STRAIN STATE

Макалада литосферанын табигый электромагниттик жообун (ЭМОЛ) пассивдүү каттоого негизделген геополяритондук томографиянын (GPTS) математикалык аппараты сунушталган. Катталган электромагниттик жоопту талдоонун негизинде геологиялык чөйрөнүн терең түзүлүшү жана анын чыңалуу-деформациялык абалы (ЧДА) 50 км жана андан терең интервалдар үчүн калыбына келтирилет. Маалыматтарды иштетүү сигналды кабыл алуудан тартып корреляциялык жана мейкиндиктик-спектралдык кесилиштерди түзүүгө чейинки толук циклди камтыйт. Негизги алгоритмдерге спектралдык талдоо терезесин адаптивдүү кеңейтүү, Лагерр полиномдорунун негизиндеги регуляризация жана диагностикалык V_P параметрин эсептөө кирет. Методика Түндүк Теңир-Тоонун эталондук профилдеринде текшерилип, алынган тереңдиктик байланыштыруу көз карандысыз геофизикалык ыкмалардын жыйынтыктары менен шайкеш келери көрсөтүлгөн.

Ачкыч сөздөр: *геополяритондук томография, GPTS, литосферанын электромагниттик жообу, корреляциялык талдоо, Лагерр-спектралдык талдоо, мейкиндиктик-спектралдык параметр, адаптивдүү терезе, чыңалуу-деформациялык абал.*

В статье представлен математический аппарат геополяритонной томографии (GPTS), основанный на пассивной регистрации естественного электромагнитного отклика литосферы (ЭМОЛ). На основе анализа электромагнитного отклика восстанавливаются глубинное строение среды и её напряжённо-деформированное состояние (НДС) в интервале глубин до 50 км и более. Обработка данных охватывает полный цикл — от приёма сигнала до построения корреляционных и пространственно-спектральных разрезов. В числе ключевых алгоритмов — адаптивное расширение окна спектрального анализа, регуляризация на основе полиномов Лагерра и расчёт диагностического параметра V_p. Проверка методики выполнена по эталонным профилям Северного Тянь-Шаня; полученная глубинная привязка согласуется с результатами независимых геофизических методов.

Ключевые слова: *геополяритонная томография, GPTS, электромагнитный отклик литосферы, корреляционный анализ, Лагерр-спектральный анализ, пространственно-спектральный параметр, адаптивное окно, напряжённо-деформированное состояние.*

The article presents the mathematical framework of geopolariton tomography (GPTS), based on the passive recording of the natural electromagnetic response of the lithosphere (EMRL). The deep structure of the geological medium and its stress–strain state (SSS) are reconstructed to depths of 50 km and beyond through analysis of the recorded electromagnetic response. Data processing encompasses the entire workflow, from signal acquisition to the construction of correlation and spatial–spectral sections. The principal algorithms include adaptive extension of the spectral analysis window, regularization based on Laguerre polynomials, and computation of the diagnostic parameter V_p. The methodology was validated using reference profiles from the Northern Tien Shan, and the resulting depth calibration is consistent with the results obtained by independent geophysical methods.

Key words: *geopolariton tomography, GPTS, natural electromagnetic response of the lithosphere, correlation analysis, Laguerre spectral analysis, spatial–spectral parameter, adaptive window, stress–strain state.*

Для цитирования: Прокопенко С. И. Математический аппарат геополяритонной томографии (GPTS): от регистрации сигнала к томографической реконструкции напряжённо-деформированного состояния литосферы / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр.85 - 101.

Введение

Геополяритонная томография (GPTS) представляет собой пассивный метод дистанционного исследования недр Земли, основанный на регистрации естественного электромагнитного отклика литосферы (ЭМОЛ) – совокупности электромагнитных сигналов, формирующихся в геологической среде в процессе деформации горных пород и отражающих сопряжённые электромагнитно-механические состояния геосреды [1,2,3,11,12,13,14,29].

В отличие от классических геофизических методов (сейсморазведка, магнитотеллурическое зондирование), GPTS не требует искусственных источников возбуждения и позволяет получать информацию о глубинном строении и напряжённо-

деформированном состоянии литосферы в пассивном режиме [1,4,16,21]. Метод ранее апробирован при изучении активных разломных зон, поиске полезных ископаемых, мониторинге геодинамических процессов и оценке сейсмической опасности [4,5,6].

Цель настоящей работы — разработка математического алгоритма обработки данных геополяритонной томографии (GPTS) для реконструкции напряжённо-деформированного состояния (НДС) литосферы по корреляционным и спектральным характеристикам естественного электромагнитного отклика.

Исходный сигнал регистрируется в широком частотном диапазоне (1–100 кГц) [7]. Однако выделение импульсных событий — это только первый шаг. Далее мы анализируем интенсивность событий как функцию времени — по сути, это огибающая нашего высокочастотного сигнала, и здесь важно, что шаг дискретизации выбран 0.1 с (то есть частота 10 Гц). При такой частоте Найквиста (5 Гц) мы уверенно перекрываем рабочий диапазон 0.001–1 Гц. Почему именно низкие частоты? Потому что именно в этой области электромагнитный отклик наиболее чувствительный к перестройке состояний в разломно-блоковых средах — там, где идёт накопление напряжений и перераспределение энергии в литосфере. Это даёт нам диагностический ключ к глубинным процессам [1].

1. Методика и алгоритмы обработки

1.1. Полевые измерения

Для регистрации ЭМОЛ используется трёхкомпонентная система DSF [26,27]. Система одинаково хорошо работает как на наземном носителе, так и на беспилотном летательном аппарате (БПЛА). Измерения выполняются непрерывно вдоль профиля. Каждый отсчёт привязан к координатам GNSS (E, N, Alt), одновременно регистрируются три ортогональные компоненты поля:

$$H(t) = \big(H_x(t),\ H_y(t),\ H_z(t)\big), \tag{1}$$

где H_x, H_y, H_z — компоненты напряжённости магнитной составляющей электромагнитного поля в системе координат датчика.

Далее переходим от сигнала к его импульсной характеристике. Высокочастотный сигнал преобразуется во временной ряд интенсивности Λ(t). По сути, это число импульсных событий, которые попали в скользящее окно длительностью 1 с (по профилю это 10 м). Окно сдвигается с шагом 0.1 с, поэтому на выходе получаем ряд Λ(t) с частотой 10 Гц. Каждый отсчёт этого ряда привязан к пространственному окну длиной 10 м. Именно этот ряд идёт в расчёт.

При этом мы исходим из того, что каждая компонента сигнала складывается из полезной части (литосфера) и шума:

$$H_i(t) = S_i(t) + N_i(t), \quad i \in \{x, y, z\}. \tag{2}$$

1.2. Предварительная фильтрация

Первичная обработка направлена на подавление техногенных, атмосферных и аппаратурных помех [24].

1.2.1. Выделение импульсных событий

Для этого устанавливаем адаптивный порог — он вычисляется через локальное среднеквадратическое отклонение:

$$C(t) = a_{thr} \cdot \sigma(t), \tag{3}$$

где σ(t) — это текущая оценка стандартного отклонения, a_{thr} — коэффициент, который подбирается (обычно от 3 до 5 сигм). Как только сигнал превышает заданный порог, то считаем, что событие произошло:

$$\left|\widetilde{H}_i(t)\right| > C(t), \tag{4}$$

где $\tilde{H}_i$(t) — это сигнал после того, как убрали тренд и высокочастотный шум.

Дальше вводится параметр Λ(t) — он показывает, сколько событий случилось за единицу времени:

$$\Lambda_i(r,t) = \frac{n_i(r,t)}{\Delta t},\ i = x, y, z\,. \tag{5}$$

где n_i(r, t) — количество импульсов за интервал Δt.

1.2.2.Частотная фильтрация накопленных данных

На этом этапе переходим с высокочастотного сигнала на низкочастотные вариации интенсивности полученные вдоль профиля. Временной ряд Λ(t) с шагом 0.1 с обрабатываем как дискретный сигнал и пропускаем через частотный фильтр.

Чтобы убрать тренды и высокочастотные флуктуации, используем полосовой фильтр 0.001–1 Гц:

$$\tilde{\Lambda}(t) = \mathcal{F}^{-1}[G(f) \cdot \mathscr{F}\{\Lambda(t)\}], \tag{6}$$

где $\mathcal{F}$ и $\mathcal{F}^{-1}$ — прямое и обратное преобразования Фурье, G(f) — передаточная функция:

$$G(f) = \begin{cases} 1, & 0.001 \le |f| \le 1, \\ 0, & \text{иначе}, \end{cases} \tag{7}$$

Нижняя граница 0.001 Гц (период 1000 с) отсекает тренды и сверхдолгопериодные вариации (сезонные вариации, инструментальные дрейфы). Верхняя граница 1 Гц (период 1 с) ограничивает высокочастотные атмосферные и техногенные помехи, их спектр начинается выше 1 Гц. Так покрывается весь интервал, соответствующий временам накопления τ_{rec} = 1…1000 с. Фильтрация применяется одинаково ко всем рядам Λ(t) на всех глубинах, чтобы результаты были сопоставимы.

1.2.3. Пространственная фильтрация вдоль профиля

Пространственная фильтрация — это скользящее среднее с параметром R ≥ 5 отсчётов (CorrFilterRo). R выбираем под конкретную съёмку и плотность данных:

$$y_{\text{ф}}(x_j) = \frac{1}{2R+1}\sum_{k=-R}^{R} y\left(x_{j+k}\right). \tag{8}$$

При шаге по профилю ΔX = 1 м минимальное R = 5 даёт окно 11 м. Если взять R = 10 или 15, мы сильнее подавим короткопериодные флуктуации — это полезно на региональных профилях, но теряем детальность. Выбор R всегда компромиссный: он зависит от задач и от того, что мы знаем о масштабах неоднородностей. При R = 5 мы уверенно подавляем флуктуации с длинами волн менее 15 м, почти не затрагивая аномалии с периодами больше 20–30 м.

2. Корреляционный анализ и определение глубины

2.1. Формирование пространственного окна

Корреляционный анализ выполняется в пространственном окне длиной $\Delta L = 10$ м, которое скользит вдоль профиля с шагом 1 м.

2.2. Расчёт автокорреляционной функции

Для дискретного ряда измерений $y(x_i)$, $i = 1, \dots, N$, нормированная автокорреляционная функция вычисляется как:

$$R(l) = \frac{\sum_{i=1}^{N-k}(y(x_i)-\bar{y})(y(x_{i+k})-\bar{y})}{\sum_{i=1}^{N-k}(y(x_i)-\bar{y})^2}, \quad (9)$$

где $l = k\Delta x$ — пространственный лаг, $\bar{y}$ — среднее значение по профилю.

Коэффициент корреляции $R(l)$ принимает значения в диапазоне от -1 до $+1$, что позволяет фиксировать как синфазные (положительная корреляция), так и противофазные (отрицательная корреляция) изменения сигнала. Отрицательная корреляция интерпретируется как признак зон растяжения или сдвиговых напряжений. Использование нормированной автокорреляционной функции соответствует общепринятой практике анализа случайных процессов и геофизических сигналов [20].

2.3. Определение структурного масштаба

Структурный масштаб пространственной согласованности L_{corr} определяется как интегральная характеристика положительной области автокорреляционной функции:

$$L_{\text{corr}} = \int_0^{l_0} R\,(l)\,dl, \quad (10)$$

где l_0 — первое значение лага, при котором корреляция обращается в ноль или становится статистически незначимой.

Поле корреляционной согласованности определяется как нормированное распределение автокорреляционной функции [20,23] в пределах анализируемого окна:

$$\Gamma(x,z) = \frac{R(x,z)(0)}{\max\limits_{x,z} R(x,z)(0)}, \quad (11)$$

где *Rx,z(l)* — автокорреляционная функция, вычисленная по реализации сигнала в скользящем пространственном окне с центром в точке (x,z). Значение *Rx,z*(0) соответствует дисперсии сигнала в данном окне и служит локальной мерой интенсивности когерентных колебаний. Нормировка на глобальный максимум обеспечивает приведение *Г(x,z)* к безразмерному виду в диапазоне [0,1], что удобно для последующего томографического восстановления.

В дискретной реализации интеграл заменяется суммированием по дискретным значениям лага с учётом шага дискретизации Δx.

2.4. Расчёт глубины

Эффективная глубина локализации источника Z определяется через характеристическую корреляционную длину L_{corr} по соотношению:

$$Z = k \cdot L_{\text{corr}}, \quad (12)$$

где $k = 0.75$ — эмпирический калибровочный коэффициент (DepthCoeff), установленный путём сопоставления результатов обработки с данными бурения и независимых геофизических исследований [4]. Использование эмпирической калибровки соответствует распространённому подходу при решении некорректных обратных задач в геофизике [15,16,22].

На рис. 1 приведена схема определения корреляционной длины и её преобразования в эффективную глубину локализации источника.

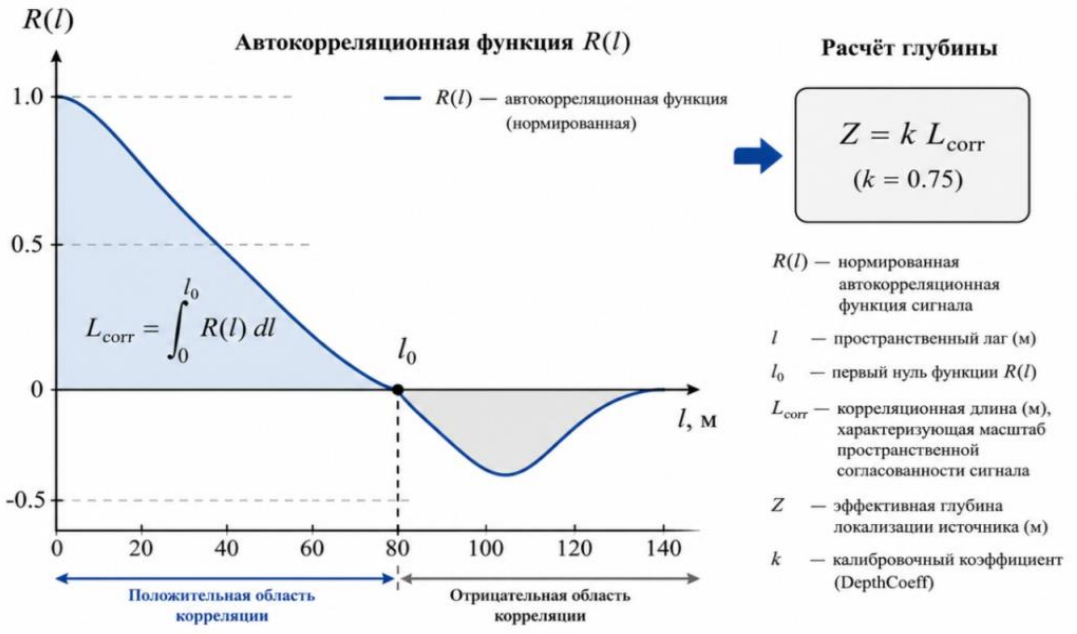


Рисунок 1 – Определение корреляционной длины L_{corr} по автокорреляционной функции сигнала и её связь с эффективной глубиной локализации источника

Корреляционная длина вычисляется как площадь под положительной частью нормированной автокорреляционной функции $R(l)$ от нулевого лага до первого нуля l_0. Эффективная глубина локализации определяется по соотношению $Z = kL_{\text{corr}}$, где $k = 0.75$ — калибровочный коэффициент (DepthCoeff).

Калибровка коэффициента k выполнена по данным глубокого бурения и сейсмических разрезов на эталонных участках Северного Тянь-Шаня [4]; относительная погрешность определения глубины при этом оценивалась величиной порядка 3 %. Для регионов с существенно иными геоэлектрическими характеристиками коэффициент k может уточняться по независимым данным (бурение, сейсморазведка) для обеспечения метрологической достоверности интерпретации.

3. Лагерр-спектральный анализ и регуляризация сигнала

3.1. Разложение по функциям Лагерра

Для устойчивого выделения информативных составляющих сигнала применяется разложение по ортонормированному базису функций Лагерра [14]. Регуляризация подобного типа относится к классу методов стабилизации обратных задач [15,17,22]. Использование регуляризующих преобразований соответствует современным подходам к построению сходящихся алгоритмов решения некорректных обратных задач, включая методы класса plug-and-play, обеспечивающие устойчивость реконструкции в условиях шумовых возмущений [9,10]. Базис Лагерра выбран благодаря его способности эффективно описывать сигналы с затухающей корреляционной функцией и обеспечивать регуляризацию коротких пространственных профилей. Функции Лагерра определены на полуоси $t \geq 0$:

$$\varphi_n(t) = \sqrt{\frac{1}{a}}\, e^{-t/(2a)} L_n\left(\frac{t}{a}\right), \tag{13}$$

где $L_n(x)$ — полиномы Лагерра, a — масштабный параметр.

Сигнал вдоль профиля представляется в виде конечного разложения:

$$S(s,t) \approx \sum_{n=0}^{N_L} a_n(s)\, \varphi_n(t), \tag{14}$$

где коэффициенты разложения находятся как проекции сигнала на базис:

$$a_n(s) = \int_0^\infty S\,(s,t)\,\varphi_n(t)\,dt. \quad (15)$$

3.2. Выбор порядка разложения Лагерра

Разложение по полиномам Лагерра используется для регуляризации пространственных профилей и выделения устойчивых компонент электромагнитного отклика. Увеличение порядка разложения позволяет более детально описывать структуру сигнала, однако одновременно возрастает чувствительность к шумовым составляющим.

В задачах GPTS конечной целью обработки является получение устойчивой реконструкции пространственной структуры геологической среды. Поэтому в качестве основного критерия выбора порядка разложения принимается критерий структурной устойчивости томографического разреза.

Практическая обработка профилей GPTS показала, что стабилизация пространственной структуры реконструируемого разреза достигается при использовании разложения четвёртого порядка. При $N_L < 4$ наблюдается сглаживание структурных границ и снижение контрастности аномальных зон [14]. Дальнейшее увеличение порядка разложения не приводит к существенным изменениям геометрии основных структурных элементов. В настоящей работе в качестве рабочего значения принимается $N_L = 4$.

3.3. Динамическая модель пространственного отклика

После выделения устойчивых коэффициентов Лагерра пространственный отклик может быть представлен в виде эквивалентной динамической модели. Последовательность коэффициентов разложения рассматривается как дискретное представление пространственного отклика, допускающее аппроксимацию рациональной передаточной функцией вида:

$$W(p) = K \cdot \frac{A(p)}{B(p)}, \quad (16)$$

где:

$$A(p) = 1 + a_1 p + a_2 p^2 + \cdots + a_m p^m,$$
$$B(p) = b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \cdots + b_n p^n.$$

Коэффициенты a_i и b_i подбираются таким образом, чтобы обеспечить наилучшее приближение последовательности коэффициентов Лагерра рациональной моделью заданного порядка. Полюса рациональной модели характеризуют устойчивые пространственные моды сигнала и соответствующие им характерные пространственные масштабы, тогда как нули отражают подавленные компоненты пространственного отклика.

Коэффициенты рациональной модели определяются по последовательности коэффициентов Лагерра методом параметрической аппроксимации. Полученная передаточная функция используется для выделения устойчивых пространственных мод сигнала, определения доминирующих пространственных частот и последующего построения пространственно-спектральных разрезов GPTS. При этом модель рассматривается как математическое представление пространственной структуры сигнала и не претендует на описание физических механизмов генерации электромагнитного отклика литосферы.

4. Адаптивное окно спектрального анализа

4.1. Формирование окна

Для каждой глубины Z (в метрах) вычисляется размер окна спектрального анализа:

$$L_{\text{win}}(Z) = L_0 + \alpha \cdot Z, \quad (17)$$

где:

- $L_0 = 10$ м — начальный размер окна;

- $\alpha = 0.03$ — коэффициент расширения окна с глубиной;
- Z — эффективная глубина, полученная из корреляционного анализа.

Время накопления сигнала в пределах скользящего окна составляет:

$$\tau_0 = \frac{L_{\text{win}}}{v}, \tag{18}$$

где $v = 10$ м/с — скорость перемещения измерительной платформы вдоль профиля.

В практической реализации GPTS накопление временного ряда τ_{rec}, используемого для спектрального анализа, может превышать величину τ_0 и достигать 1000 с и более. Это обеспечивает спектральное разрешение порядка 0.001 Гц.

Частотное разрешение спектрального анализа:

$$\Delta f = \frac{1}{\tau_{\text{rec}}}. \tag{19}$$

По мере увеличения глубины окно анализа растёт: на предельных глубинах (до 50000 м) оно достигает 1510 м, тогда как вблизи поверхности составляет всего 10 м. В таком диапазоне спектральные оценки получаются устойчивыми, и мы не вводим дополнительных ограничений на длину окна.

4.2. Выбор коэффициента α = 0.03

Коэффициент α определяет, как быстро расширяется окно с глубиной. В настоящей работе принято значение 0.03 обеспечивающее компромисс между частотным разрешением и пространственной локальностью.

Увеличение окна улучшает частотное разрешение — мы захватываем более длинные участки сигнала, — но при этом страдает локальность. Пространственное разрешение в этом случае:

$$\Delta F = \frac{1}{L_{\text{win}}} \quad (\text{м}^{-1}). \tag{20}$$

Частотное разрешение связано с ним через скорость: $\Delta f = v \cdot \Delta F$.

Здесь имеем дело с классическим соотношением [19], хорошо известным в спектральном анализе : чем длиннее окно, тем выше разрешение по частоте, и наоборот.

Для контроля использовали две величины. Первая — частотное разрешение $\Delta f = v/L_{\text{win}}$— показывает, какие низкочастотные компоненты способны выделить. Вторая — локальность $\eta = L_{\text{win}}/L_{\text{corr}}$— даёт представление о том, насколько сильно усредняется сигнал относительно характерных размеров структур.

Сравнительный анализ параметров обработки для диапазона $0.01 \leq \alpha \leq 0.05$ (Таблица 1, Рис. 3) показывает, что значение $\alpha \approx 0.03$ соответствует области компромисса. При этом на глубине $Z = 50000$ м: - $L_{\text{win}} = 1510$ м; - отношение $L_{\text{win}}/L_{\text{corr}} \approx 2.3\%$; - временное разрешение $\Delta f \approx 0.0066$ Гц (период ~ 150 с); - пространственное разрешение $\Delta F \approx 6.6 \cdot 10^{-4}$ м$^{-1}$.

4.3. Адаптивный выбор коэффициента расширения окна

Результаты анализа показали, что использование единого коэффициента расширения окна α для всего диапазона глубин не всегда обеспечивает оптимальное соотношение между спектральным разрешением и локальностью реконструкции. Для глубинных структур (5–50 км) оптимальным является значение $\alpha \approx 0.03$, тогда как для осадочного чехла предпочтительными оказываются значения $\alpha = 0.01$–0.02.

В качестве управляющего параметра адаптивного выбора коэффициента расширения предлагается использовать корреляционный масштаб среды L_{corr}.

Выбор рекомендуемого диапазона коэффициента расширения окна иллюстрируется на рис. 2 и может быть представлен в виде следующего правила:

$$\alpha(L_{\text{corr}}) = \begin{cases} 0.01, & L_{\text{corr}} < 2000 \text{ м (осадочный чехол)}, \\ 0.02, & 2000 \le L_{\text{corr}} < 5000 \text{ м (переходная зона)}, \\ 0.03, & L_{\text{corr}} \ge 5000 \text{ м (глубинный фундамент)}. \end{cases}$$

- **Текущая реализация:** α=0.03 для всех глубин.
- **Перспектива:** адаптивный выбор α(L_{corr}).

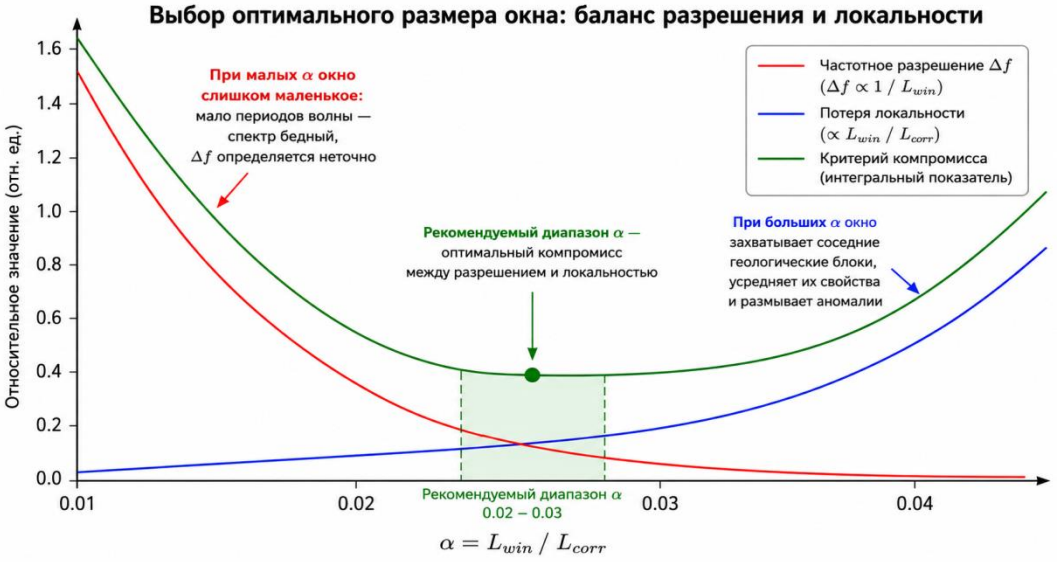


Рисунок 2 – Изменение частотного разрешения и пространственной локальности в зависимости от относительного размера окна анализа

Сравнительные результаты для коэффициентов 0.01–0.05 при начальной длине окна 10 м и скорости 10 м/с представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость параметров окна накопления от коэффициента его расширения при начальной длине окна 10 м и скорости 10 м/с.

Глубина Z, м	**Параметр**	**0.01**	**0.02**	**0.03**	**0.04**	**0.05**
0	L_{win}, м	10	10	10	10	10
	τ_{rec}, с	1	1	1	1	1
	Δf, Гц	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$L_{\text{win}}/L_{\text{corr}}$, %	-	-	-	-	-
10000	L_{win}, м	110	210	310	410	510
	τ_{rec}, с	11	21	31	41	51
	Δf, Гц	0.0909	0.0476	0.0323	0.0244	0.0196
	$L_{\text{win}}/L_{\text{corr}}$, %	0.83	1.58	2.33	3.08	3.83
20000	L_{win}, м	210	410	610	810	1010
	τ_{rec}, с	21	41	61	81	101
	Δf, Гц	0.0476	0.0244	0.0164	0.0123	0.0099
	$L_{\text{win}}/L_{\text{corr}}$, %	0.79	1.54	2.29	3.04	3.79
30000	L_{win}, м	310	610	910	1210	1510
	τ_{rec}, с	31	61	91	121	151
	Δf, Гц	0.0323	0.0164	0.0110	0.0083	0.0066

Глубина Z, м	**Параметр**	**0.01**	**0.02**	**0.03**	**0.04**	**0.05**
	$L_{\text{win}}/L_{\text{corr}}$, %	0.78	1.53	2.28	3.03	3.78
40000	L_{win}, м	410	810	1210	1610	2010
	τ_{rec}, с	41	81	121	161	201
	Δf, Гц	0.0244	0.0123	0.0083	0.0062	0.0050
	$L_{\text{win}}/L_{\text{corr}}$, %	0.77	1.52	2.27	3.02	3.77
50000	L_{win}, м	510	1010	1510	2010	2510
	τ_{rec}, с	51	101	151	201	251
	Δf, Гц	0.0196	0.0099	0.0066	0.0050	0.0040
	$L_{\text{win}}/L_{\text{corr}}$, %	0.77	1.52	2.27	3.02	3.77

Результаты анализа компромисса между частотным разрешением и локальностью спектральных оценок приведены на рис.3.

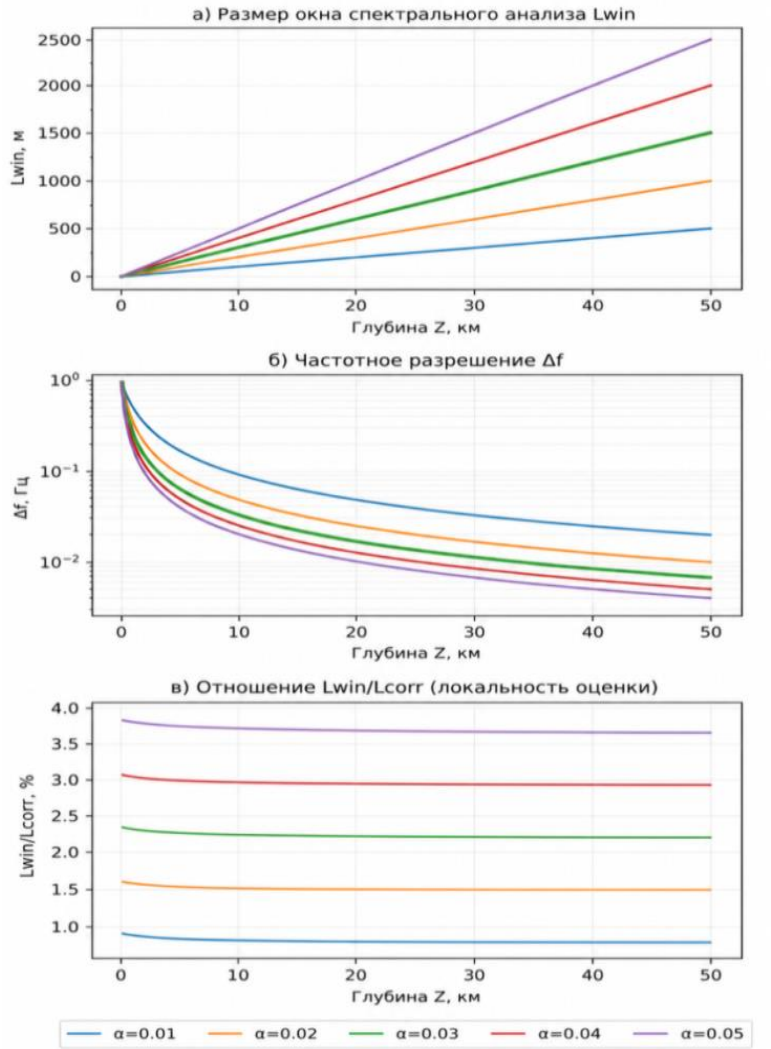


Рисунок 3 – Зависимость параметров спектрального анализа от глубины при различных значениях коэффициента масштабирования α: а) размер окна анализа L_{win}; б) частотное разрешение Δf; в) отношение L_{win}/L_{corr} , характеризующее локальность оценки.

5. Расчёт пространственно-спектрального параметра V_p

5.1. Аппроксимация сигнала гармониками

Спектральный анализ проводится по регуляризованному пространственному отклику, который описывается выражением (16). Параметры этой модели находим через разложение сигнала по функциям Лагерра [14,19]. В пределах окна L_{win} отклик раскладывается в сумму гармоник:

$$S(x) = \sum_n A_n \cos(2\pi F_n x + \varphi_n), \quad (21)$$

где A_n — амплитуды, F_n — пространственные частоты, φn — начальные фазы.

5.2. Выделение основных спектральных пиков

В каждом окне с автокорреляцией выше 0.6 выделяем наиболее выраженные пики. Разность частот соседних пиков даёт величину ΔF:

$$\Delta F = F_{n+1} - F_n. \quad (22)$$

5.3. Расчёт параметра Vp

Параметр V_p рассчитываем как произведение размера окна на разность частот между соседними пиками:

$$V_p = L_{\text{win}} \cdot \Delta F, \quad (23)$$

где ΔF — интервал между соседними максимумами в спектре.

Использование расстояний между спектральными пиками ранее применялось при анализе спектральной структуры сигналов [19,20]. Параметр V_p показывает, насколько упорядочен сигнал в спектральном смысле. В зависимости от нормировки V_p может быть безразмерным или выражаться в условных единицах.

Важно: V_p не имеет отношения к скорости упругих волн, это не м/с. Это диагностический параметр для оценки спектральной упорядоченности. Однако его распределение в пространстве коррелирует с упругими свойствами — поэтому мы и сохранили обозначение V_p, чтобы было удобно сравнивать с сейсморазведкой. Математический алгоритм реализован в программе CorrSpeedSlice [28].

6. Построение томографических разрезов

6.1. Типы разрезов

По обработанным данным строятся разрезы двух типов:

- *Корреляционный разрез.* Положительные значения отвечают синфазным изменениям — так бывает в однородных областях, зонах сжатия или там, где свойства меняются плавно. Отрицательные значения указывают на противофазные вариации — они появляются на границах, в трещиноватых зонах, в областях растяжения или сдвига. Нулевые значения говорят о том, что соседние точки статистически не связаны.

- *Пространственно-спектральный разрез.* Здесь показывается, как V_p меняется с глубиной. Резкие изменения этого параметра считаются границами геологических структур — контактами слоёв, разломами, зонами трещиноватости.

Чтобы улучшить качество разрезов, выполняется фильтрация их по пространству (CorrFilterRo ≥ 5) и интерполируется на сетку с шагом Spacing ≥ 5 м. Конкретные значения подбираем под масштаб съёмки и плотность данных.

6.2. Томографическая реконструкция поля корреляционной согласованности

Корреляционный анализ данных GPTS позволяет построить пространственное распределение коэффициента корреляционной согласованности $\Gamma(x, z)$,характеризующего степень пространственной когерентности естественного электромагнитного отклика литосферы в пределах исследуемой области.

Томографическая реконструкция основана на преобразовании Радона, которое широко используется в медицинской и геофизической томографии [18].

При наличии системы параллельных или пересекающихся профилей для каждого направления наблюдений с азимутом θ формируется проекционная функция поля корреляционной согласованности:

$$P(\rho,\theta) = \iint K(x,z;\rho,\theta)\Gamma(x,z)dx\,dz, \tag{24}$$

где:

- K — функция чувствительности GPTS;
- $\Gamma(x,z)$ — поле корреляционной согласованности;
- ρ — расстояние от начала координат до линии интегрирования;
- θ — азимут профиля;

В настоящей работе функция чувствительности $K(x,z;\rho,\theta)$ рассматривается в общем виде и описывает пространственную область вклада электромагнитного отклика в измеряемую проекцию. Конкретная параметризация функции чувствительности в данной работе не используется и будет предметом дальнейших исследований.

Набор проекций $P(\rho,\theta)$, полученных для различных направлений наблюдений, образует синограмму поля корреляционной согласованности.

Для многопрофильных данных восстановление распределения выполняется посредством регуляризованного обращения преобразования Радона:

$$\Gamma(x,z) = \mathscr{R}^{-1}[P(\rho,\theta)]. \tag{25}$$

где $\mathscr{R}^{-1}$ обозначает оператор обратного преобразования Радона.

Регуляризация обратного преобразования является обязательным этапом реконструкции вследствие некорректности задачи [15,17,22].

В современных геофизических задачах эффективность томографической реконструкции существенно повышается за счёт применения адаптивных стратегий регуляризации и интеграции априорной информации о среде, что позволяет уменьшить неоднозначность решения обратной задачи [9,22].

Для одиночного профиля реконструкция по преобразованию Радона не выполняется; в этом случае используются двумерные корреляционные и пространственно-спектральные разрезы вдоль профиля. Представление результатов в виде двумерных разрезов соответствует общепринятой практике представления и интерпретации геофизических разрезов [25].

Полученное распределение $\Gamma(x,z)$ представляет собой карту пространственной организации когерентных электромагнитных откликов, которые могут быть обусловлены неоднородностями напряжённо-деформированного состояния литосферы.

Для повышения устойчивости решения используется Лагерр-спектральная регуляризация, выполняемая независимо для каждой частичной реконструкции $\Gamma_n(x,z)$. Итоговая модель формируется как взвешенная сумма реконструкций:

$$\Gamma(x,z) = \sum_{n=0}^{N} w_n\,\Gamma_n(x,z), \tag{26}$$

где w_n — весовые коэффициенты.

Следует отметить, что реконструируемая функция $\Gamma(x,z)$ не является распределением физических свойств среды в строгом смысле (скоростей упругих волн, электрического

сопротивления или плотности), а характеризует пространственную согласованность электромагнитного отклика литосферы.

Полученное поле корреляционной согласованности используется для пространственной локализации областей повышенной когерентности, сопоставления с распределением параметров L_{corr}, Z и V_p, а также для построения томографических моделей GPTS.

Предлагаемый подход рассматривает преобразование Радона как математический инструмент реконструкции пространственной структуры поля корреляционной согласованности и не предполагает прямого восстановления физических параметров среды. В этом смысле GPTS реализует корреляционно-томографическое представление литосферы, основанное на анализе пространственной организации естественного электромагнитного отклика. На рис. 4 приведены томографические модели на примере Северного Тянь-Шаня с разными настройками ширины окна сканирования.

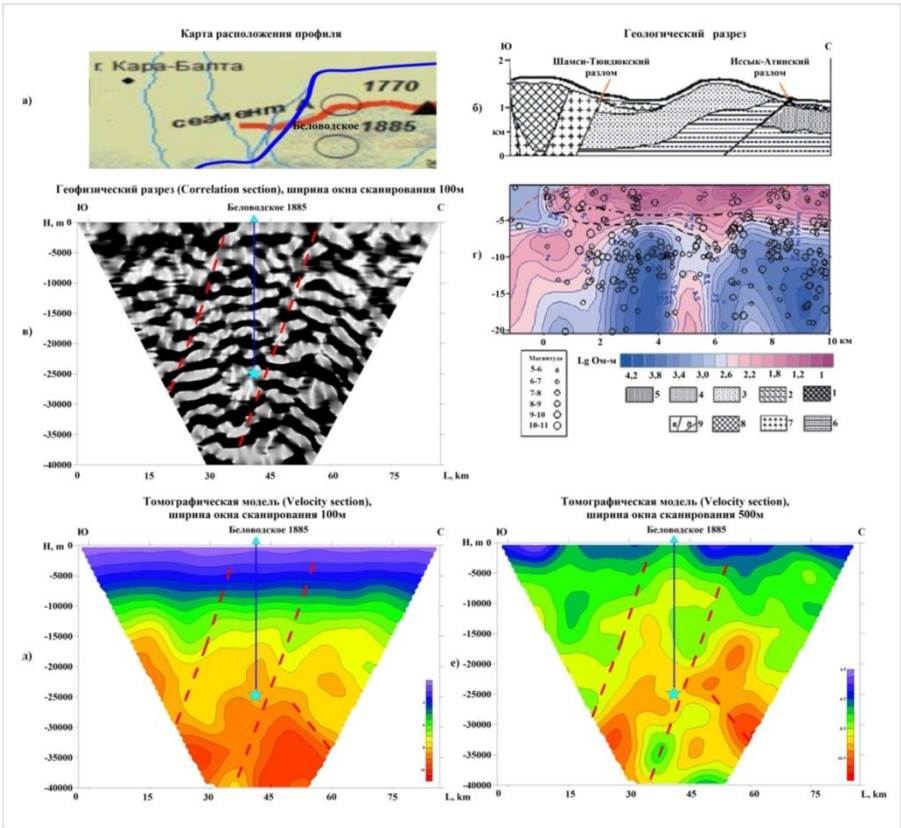


Рисунок 4 – Сопоставление томографических моделей GPTS с данными магнитотеллурического зондирования (МТЗ) вдоль профиля, пересекающего Шамсин-Тюндюкский и Иссык-Атинский разломы: а — карта расположения профиля; б — структурно-геологический разрез; в — корреляционный разрез GPTS; г — геоэлектрический разрез МТЗ [8]; д, е — пространственно-спектральные разрезы.

Аналогичный принцип сопоставления различных геофизических моделей широко используется при комплексной интерпретации данных [16,25].

Обсуждение

Представленный математический аппарат GPTS демонстрирует возможность пассивного глубинного зондирования литосферы по естественному электромагнитному

отклику. Однако интерпретация результатов требует учёта ряда физических и методических ограничений.

Корреляционный масштаб L_{corr} рассматривается как характеристическая длина пространственной когерентности сигнала, а его связь с глубиной $Z=kL_{corr}$ основана на эмпирическом коэффициенте k. Для Северного Тянь-Шаня его калибровка обеспечила относительную погрешность глубинной привязки не более 3 %, однако в регионах с контрастными геоэлектрическими свойствами значение k следует уточнять по независимым геофизическим данным.

Параметр $V_p=L_{win}\Delta F$ характеризует степень спектральной упорядоченности сигнала. Его повышенные значения наблюдаются в кристаллическом фундаменте, тогда как в осадочных толщах спектр становится более широкополосным. В настоящее время V_p может рассматриваться лишь как качественный индикатор структурных изменений.

Анализ выполняется по низкочастотным вариациям интенсивности импульсных событий, что уменьшает влияние атмосферных и техногенных помех, однако полностью не исключает их. Наиболее существенное влияние оказывают линии электропередачи и транспортная инфраструктура. Для повышения помехоустойчивости перспективным является проведение измерений с использованием БПЛА.

По сравнению с активной сейсморазведкой и магнитотеллурическим зондированием GPTS не требует искусственных источников и обеспечивает высокопроизводительное профильное картирование. Вместе с тем метод характеризует пространственную когерентность электромагнитного отклика и не позволяет непосредственно восстанавливать геоэлектрические параметры среды.

Использование преобразования Радона требует регуляризации обратной задачи вследствие конечной ширины функции чувствительности. Кроме того, предложенное адаптивное правило выбора коэффициента расширения окна α носит эмпирический характер и в дальнейшем может быть заменено автоматизированной процедурой оптимизации.

Таким образом, математический аппарат GPTS представляет собой исследовательский алгоритм, прошедший предварительную апробацию на эталонных участках Северного Тянь-Шаня и демонстрирующий согласованность с независимыми геофизическими данными. Его практическое применение требует учёта региональных особенностей и контроля качества исходных измерений.

Заключение

Представленный математический алгоритм геополяритонной томографии (GPTS) обеспечивает полный цикл обработки данных – от регистрации естественного электромагнитного отклика литосферы до построения томографических моделей, отражающих глубинное строение геологической среды, пространственную организацию структурных неоднородностей и зоны концентрации напряжений.

Ключевыми особенностями алгоритма являются:

- пассивный режим наблюдений, не требующий применения искусственных источников возбуждения;
- корреляционный принцип оценки глубины, основанный на использовании структурного масштаба L_{corr} и калибровочного коэффициента $k = 0.75$, что позволяет

выполнять реконструкцию глубинного строения без использования амплитудных критериев и ограничений, характерных для методов, основанных на скин-эффекте;

- адаптивное управление размером окна спектрального анализа, обеспечивающее баланс между спектральным разрешением и пространственной локальностью реконструкции;
- применение Лагерр-регуляризации для повышения устойчивости решения обратной задачи и подавления шумовых компонент;
- построение корреляционных и пространственно-спектральных разрезов, характеризующих распределение структурной согласованности среды и пространственную изменчивость параметра V_p.

Выполненный анализ показал, что для глубинного интервала 5–50 км коэффициент расширения окна $\alpha \approx 0.03$ обеспечивает наиболее эффективный компромисс между спектральным разрешением, локальностью реконструкции и вычислительными затратами. Вместе с тем установлено, что использование фиксированного значения α для всего диапазона глубин не является оптимальным для сложных геологических сред, включающих осадочный чехол и консолидированный фундамент.

В связи с этим алгоритм GPTS предлагается рассматривать как адаптивную систему с переменной структурой. В качестве управляющего структурного параметра используется корреляционный масштаб среды L_{corr}, определяемый непосредственно по данным наблюдений. Такой подход позволяет автоматически изменять параметры обработки в зависимости от пространственной организации среды.

Метод прошёл предварительную апробацию в активных тектонических районах Северного Тянь-Шаня и продемонстрировал качественную согласованность реконструируемых структур с данными магнитотеллурического зондирования, бурения и сейсмических исследований. Разработанный алгоритм может служить основой программного комплекса обработки данных GPTS и применяться при решении задач геодинамического мониторинга, поисков полезных ископаемых и оценки сейсмической опасности.

Список литературы

1. Bogdanov Y. A., Prokopenko S. I. Geopolariton tomography of the internal structure of Earth: a passive method for analyzing seismogenic zones // Geofizychnyi Zhurnal. – 2026. – Vol. 48, No. 2. – P. 21–34. – DOI:10.24028/gj.v48i2.349923.

2. He L., Li Q., An B. A Study of the Characteristics of Micro-Seismic (ME) and Electromagnetic Radiation (EMR) Signals under the Static Load Conditions of Rocks // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 23. – DOI:10.3390/app132312910.

3. Jinghua Z., Lisha P., Xiangbo K., Shuzhi W., Songling H. A Study on the Time-Frequency Variation Law of Electromagnetic Radiation Signals During Concrete Cracking // Measurement Science and Technology. – 2025. – Vol. 36, No. 1. – DOI:10.1088/1361-6501/ad836c.

4. Azimov I. H., Bogdanov Y. A., Prokopenko S. I. Study of Deep Structure and Oil-Gas Bearing Capacity of Tien Shan by GPTS Method // AIP Conference Proceedings. – 2025. – Vol. 3276. – DOI:10.1063/5.0263839.

5. Прокопенко С. И. Изучение глубинного строения и расположения гипоцентров землетрясений в Кемино-Чиликской зоне активных разломов методом GPTS // Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2025. – № 2(74). – С. 340–350. – DOI:10.56634/16948335.2025.2.340-350.

6. Прокопенко С. И., Богданов Ю. А., Калысова Ж. К. Визуализация каналов энергопереноса в активной зоне Каракунузского разлома по данным GPTS и их связь с пространственным распределением гипоцентров // Вестник института сейсмологии НАН КР. – 2026. – № 1(27). – С. 82–92.

7. Prokopenko S. I., Bogdanov Y. A., Vodopianov O. O., Chen X. Geopolariton tomography (GPTS) Hardware and Software Platform for Study of Earth's Deep Structure // EAGE Proceedings. – 2021. – DOI:10.3997/2214-4609.20215521012.

8. Рыбин О. Б., Забинякова Е. А., Баталева К. С., Непеина О. Геоэлектрическая модель зоны Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Геофизика. – 2023. – № 3. – С. 45–50. – DOI:10.34926/geo.2023.35.22.006.

9. Penta de Peppo G., Cercato M., De Donno G. Optimizing Geophysical Inversion: Versatile Regularization and Prior Integration Strategies for Electrical and Seismic Tomographic Data // Geosciences. – 2025. – Vol. 15, No. 7. – Art. 274. – DOI:10.3390/geosciences15070274.

10. Hauptmann A., Mukherjee S., Schönlieb C. B., Sherry F. Convergent Regularization in Inverse Problems and Linear Plug-and-Play Denoisers // Foundations of Computational Mathematics. – 2025. – Vol. 25, No. 4. – P. 1087–1120. – DOI:10.1007/s10208-024-09654-x.

11. Шуман В. Н. Уравнение генерации спонтанных электромагнитных сигналов в системе литосферных блоков // Геофизический журнал. – 2008. – Т. 30, № 1. – С. 42–48.

12. Шуман В. Н., Богданов Ю. А. Электромагнитная эмиссия литосферы: пространственная структура и возможные механизмы генерации // Геофизический журнал. – 2008. – Т. 30, № 6. – С. 39–50.

13. Богданов Ю. А. Экспериментальное исследование собственных колебаний Земли в электромагнитных излучениях // Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33, № 1. – С. 80–90.

14. Богданов Ю. А., Водопьянов О. О. Использование Лагерр-спектрального анализа в пассивной геополяритонной томографии // Актуальные проблемы геосреды и зондирующих систем: труды III Междунар. конф. – Киев, 2017. – С. 112–117.

15. Aster R. C., Borchers B., Thurber C. H. Parameter Estimation and Inverse Problems. – 3rd ed. – Amsterdam: Elsevier, 2018. – 404 p.

16. Menke W. Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory. – 4th ed. – Amsterdam: Elsevier, 2018. – 350 p.

17. Hansen P. C. Discrete Inverse Problems: Insight and Algorithms. – Philadelphia: SIAM, 2010. – 213 p.

18. Kak A. C., Slaney M. Principles of Computerized Tomographic Imaging. – Philadelphia: SIAM, 2001. – 327 p.

19. Stoica P., Moses R. Spectral Analysis of Signals. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005. – 480 p.

20. Bendat J. S., Piersol A. G. Random Data: Analysis and Measurement Procedures. – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2010. – 604 p.

21. Simpson F., Bahr K. Practical Magnetotellurics. – Cambridge : Cambridge University Press, 2005. – 269 p.

22. Tarantola A. Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation. – Philadelphia : SIAM, 2005. – 358 p. – DOI:10.25334/FAK9-D268.

23. Chilès J. P., Delfiner P. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. – 2nd ed. – Hoboken: Wiley, 2012. – 699 p. – DOI:10.1016/J.CAGEO.2012.12.008.

24. Claerbout J. F. Fundamentals of Geophysical Data Processing. – Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. – 267 p.

25. Yilmaz Ö. Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data. – Society of Exploration Geophysicists, 2001. – DOI:10.1190/1.9781560801580.

26. CN114814965B. Способ и устройство для измерения геополяритонного излучения: № 202210767799.1 : заявл. 01.07.2022 : опубл. 27.09.2022 / С. И. Прокопенко, Чень Синь, Ю. А. Богданов ; заявитель Hebei DSF-GEOS Technology Co., Ltd. – URL: http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN114814965B.

27. CN114814958B. Приемное устройство и система анализа геополяритонного излучения: № 202210767798.7 : заявл. 01.07.2022 : опубл. 23.09.2022 / Чень Синь, С. И. Прокопенко, Ю. А. Богданов ; заявитель Hebei DSF-GEOS Technology Co., Ltd. – URL: http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN114814958B.

28. Компьютерная программа «CorrSpeedSlice» / Ю. А. Богданов, С. И. Прокопенко, А. А. Водопьянов; заявл. 12.12.2023 ; опубл. 31.01.2024. – URL: https://sis.nipo.gov.ua/en/search/detail/1793397.

29. Чень С., Прокопенко С. И., Чымыров А. У., Богданов Ю. Дэн А. Б. Новый подход к анализу нефтегазоносности западного Тянь-Шаня на основе геополяритонного зондирования / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2025. – №3(79). – стр.351–363.

УДК 523.31-35: 553.981/.982+528.88

Ц. Чжан[1], Б. Жэнь[1], Чымыров А. У. [2,3], С. Чень*[2,3]
[1]Кытай Энергетикалык Группасынын «Нинся көмүр өнөр жайы» компаниясынын Жуцзигоу антрацит казып алуу филиалы, Нинся, Кытай
[2]Хэбэй DSF-GEOS Technology Co., Ltd. компаниясы, Хэбэй, Кытай
[3]И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек Кыргыз Республикасы
[1]Жуцзигоуский филиал по добыче антрацита компании «Нинсяская угольная промышленность» Энергетической группы Китая, Нинся, Китай
[2]Хэбэй DSF-GEOS Technology Co., Ltd., Хэбэй, Китай
[3]КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

J. Zhang[1], B. Ren[1], A. U. Chymyrov[2,3], X. Chen*[2,3]
[1]China Energy Group Ningxia Coal Industry Co., Ltd., Rujigou Anthracite Branch, Ningxia, China
[2]Hebei DSF-GEOS Technology Co., Ltd., Hebei, China
[3]Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
*chen_xin@kstu.kg

APPLICATION OF 3D MODELING AND VISUALIZATION BASED ON GPTS REMOTE SENSING EXPLORATION DATA

GPTS МЕНЕН АРАЛЫКТАН БАЙКАШТЫРЫП ГЕОЛОГИЯЛЫК ЧАЛГЫНДОО МААЛЫМАТТАРЫНА НЕГИЗДЕЛГЕН 3D МОДЕЛДӨӨНҮ ЖАНА ВИЗУАЛДАШТЫРУУНУ КОЛДОНУУ

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГО РАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ GPTS

Үч өлчөмдүү (3D) геологиялык моделдөө акылдуу көмүр казып алуу үчүн негизги геологиялык камсыздоо технологияларынын бири болуп саналат. Салттуу геофизикалык чалгындоо ыкмалары Хэланьшань тоолорунун татаал рельеф шарттарында төмөн аныктоо тактыгына жана майда масштабдагы геологиялык түзүлүштөрдү жана казылып бүткөн боштуктарды аныктоодогу чектелген мүмкүнчүлүктөргө ээ. Бул изилдөөдө Байцзигоу көмүр кенинин түндүк канаты изилдөө объектиси катары алынган. Макалада Geopolariton Tomographic System (GPTS) пассивдүү булактуу электромагниттик алыстан чалгындоо технологиясы сунушталып, анын негизги принциптери жана маалыматтарды иштетүү процесси системалуу түрдө баяндалган. Ошондой эле пландык-кесилиштик шайкештикке жана көп булактуу маалыматтарды интеграциялоого негизделген үч өлчөмдүү моделдөө ыкмасы сунушталган. Кен аймагындагы геологиялык түзүлүштөрдүн визуалдык реконструкциясы Leapfrog Geo программасынын жардамы менен жүргүзүлгөн. Изилдөөнүн жүрүшүндө жалпы 203 GPTS изилдөө линиясы жүргүзүлгөн. №2₃ жана №3 көмүр катмарларында 46 аномалдык зона аныкталып, 54 жарака интерпретацияланган, натыйжада көмүр катмарларынын, жаракалардын жана геологиялык денелердин жогорку

тактыктагы моделдери түзүлгөн. Изилдөөнүн жыйынтыктары GPTS технологиясы татаал тоолуу аймактарда деталдуу геологиялык маалыматтарды натыйжалуу алууга мүмкүндүк берерин көрсөттү. Түзүлгөн моделдер кен аймагынын жер алдындагы мейкиндиктик өзгөчөлүктөрүн так чагылдырып, жашыруун кооптуу факторлорду башкаруу жана көмүр шахталарынын коопсуз жана натыйжалуу иштеши үчүн ишенимдүү геологиялык негиз түзөт.

Ачкыч сөздөр: *Geopolariton Tomographic System (GPTS) технологиясы; Байцзигоу көмүр кени; үч өлчөмдүү геологиялык моделдөө; көмүр шахталарындагы жашыруун кооптуу факторлор.*

Трёхмерное (3D) геологическое моделирование является одной из ключевых технологий геологического обеспечения интеллектуальной добычи угля. Традиционные методы геофизической разведки в условиях сложного горного рельефа Хэланьшаня характеризуются низкой точностью обнаружения и недостаточной способностью идентификации мелкомасштабных геологических структур и выработанных пространств. В качестве объекта исследования в данной работе рассматривается северное крыло шахтного поля угольной шахты Байцзигоу. Представлена технология пассивной электромагнитной дистанционной разведки Geopolariton Tomographic System (GPTS), систематически изложены её основные принципы и процесс обработки данных, а также предложен метод трёхмерного моделирования, основанный на соответствии планов и разрезов и интеграции многоисточниковых данных. Визуальная реконструкция геологических тел шахтного района выполнена с использованием программного обеспечения Leapfrog Geo. В рамках исследования было проложено и обследовано 203 профиля GPTS. В угольных пластах №2₃ и №3 было выявлено 46 аномальных зон и интерпретировано 54 разлома, после чего построены высокоточные модели угольных пластов, разломов и геологических тел. Результаты исследования показывают, что технология GPTS позволяет эффективно получать детализированные геологические данные в сложных горных районах, а построенные модели наглядно отражают пространственные характеристики подземной структуры шахтного поля, обеспечивая надёжную геологическую основу для предотвращения скрытых опасных факторов и безопасной высокоэффективной добычи угля.

Ключевые слова: *технология Geopolariton Tomographic System (GPTS); угольная шахта Байцзигоу; трёхмерное геологическое моделирование; скрытые опасные факторы угольных шахт.*

Three-dimensional (3D) geological modeling is a key geological support technology for intelligent coal mining. Traditional geophysical exploration methods are plagued by low detection accuracy and inadequate identification capability for small-scale geological structures and goafs in the complex mountainous terrain of Helan Mountain. Taking the north wing mining area of Baijigou Coal Mine as the research subject, this paper introduces the Geopolariton Tomographic System (GPTS) passive-source electromagnetic remote sensing exploration technology, systematically expounds its fundamental principles and data processing workflow, and proposes a 3D modeling approach based on planar-cross-sectional correspondence and multi-source data fusion. The visual reconstruction of geological bodies in the mining area is accomplished in

conjunction with Leapfrog Geo software. In this study, a total of 203 GPTS survey lines were deployed and surveyed. Cumulatively, 46 anomalous zones were delineated and 54 faults were interpreted in the No. 2_3 and No. 3 coal seams, and high-precision models of coal seams, faults and geological bodies were ultimately established. The research findings demonstrate that GPTS technology can effectively acquire refined geological data in complex mountainous regions, and the constructed models can intuitively reveal the underground spatial characteristics of the mining area, thus providing a solid geological foundation for the governance of hidden disaster-causing factors and the safe and efficient production of coal mines.

Key words: *Geopolariton Tomographic System (GPTS) technology; baijigou coal mine; three-dimensional geological modeling; hidden disaster-causing factors in coal mines.*

Для цитирования: J. Zhang, B. Ren, A. U. Chymyrov, X. Chen. Применение трёхмерного моделирования и визуализации на основе геолого разведочных данных дистанционного зондирования GPTS (APPLICATION OF 3D modeling and visualization based on GPTS remote sensing exploration data). – Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2026. – №3(79). – стр. 102 - 119.

---

1. Introduction

Three-dimensional geological modeling is an important technical means for mining geological transparency. By converting complex geological data into intuitive and stereoscopic 3D models, it realizes the transparency and visualization of mine geological information, and can break through the limitations of the traditional two-dimensional representation of geological information [1, 2, 3]. With the in-depth advancement of the intelligent construction of coal mines, constructing high-precision and dynamically updated 3D geological models based on rich and accurate source data has become an important technical support for the safe and efficient mining of coal mines. It can provide a scientific basis for the rational planning and precise mining of coal resources, and is one of the key links promoting the digital and intelligent transformation of the mining industry [4, 5, 6]. The accuracy of 3D geological models depends on the richness and accuracy of modeling data.

At present, the geological data required for coal mine modeling are mainly obtained through drilling and geophysical exploration methods, while traditional exploration methods have obvious limitations in the detection of complex underground structures. For 3D seismic exploration technology, under complex terrain conditions such as loess tablelands and high-dip mountainous areas, the low propagation velocity and severe absorption and attenuation of seismic waves lead to poor excitation and reception conditions [7], great difficulty in the implementation of static correction technology, and low signal-to-noise ratio (SNR) [8]. Its identification capability for small faults and goafs in ultra-shallow and high-interference areas is severely limited [9,10].The Transient Electromagnetic Method (TEM) has unsatisfactory detection effects on high-resistance anomalous bodies such as non-water-filled goafs [11], and is greatly affected by the electrical characteristics of underground high-resistivity or high-conductivity media [12]. Although integrated geophysical exploration methods can compensate for the shortcomings of a single method to a certain extent [13], they still have the inherent contradiction between detection accuracy and detection depth [14], making it difficult to meet the demand for refined modeling data in the intelligent construction of coal mines.

Geopolariton Tomographic System (GPTS), as an advanced passive-source electromagnetic exploration technology, provides a new technical path for obtaining high-precision geological modeling data. Based on the principles of quantum physics, this technology receives, records and analyzes the nonlinear complex pulsed electromagnetic radiation signals naturally generated under the stress and strain states in the Earth's interior. It has significant advantages such as high detection accuracy and wide detection depth range, and can obtain multi-dimensional geophysical information reflecting underground stress distribution, stratum density and strike, and water migration paths. Practice has shown that GPTS technology has good application prospects in the general survey and governance of hidden disaster-causing factors in mines. The high-precision and high-density geophysical data acquired by GPTS technology provide reliable data source support for constructing refined 3D geological models [22, 23, 24].

Baijigou Coal Mine is located in the hinterland of Helan Mountain with complex geological conditions. Affected by historical factors such as disorderly mining, cross-border mining by small coal mines and spontaneous combustion of outcrop coal, the underground spatial form is extremely complex. There are a large number of hidden disaster-causing factors such as abandoned mine pits, low-density collapse zones, accumulated water, and toxic and harmful gases, which seriously threaten the safe production of the coal mine. Abnormal water inrush at working faces, fractured coal seams at final holes, large dip angle variations, and encountering goafs have occurred during drilling construction. Therefore, taking the north wing mining area of Baijigou Coal Mine as the research object, this paper carries out 3D geological modeling research based on the electromagnetic radiation data acquired by GPTS technology. By constructing high-precision models of goafs, faults and strata, it realizes the visualization of geological conditions in the north wing mining area of Baijigou Coal Mine, with a view to providing a reliable geological basis for the safe production and intelligent mining of the coal mine.

2. Overview of GPTS Principles

Geopolariton Tomographic System (GPTS) is a passive-source geophysical exploration technology proposed and pioneered by Dr. Bogdanov Yuriy, a Soviet scientist. By recording the radiation generated by nonlinear processes and the natural field source signals of the Earth associated with the propagation of such radiation, this technology can effectively detect geological structures at any depth in the Earth's crust, including depths accessible by drilling, depths reachable by mineral mining, and even down to the Mohorovičić discontinuity (Moho) or the Earth's core[15].

2.1 Principles of GPTS

When crystalline solids with complex lattices are subjected to mechanical action, internal stress changes induce lattice deformation and fracture generation, which in turn cause acoustic and optical vibrations. Among them, acoustic vibrations produce sound waves, while optical vibrations cause atoms within ionic unit cells to approach each other. The dipole lattice undergoes changes under the influence of vibrations, thereby generating electromagnetic waves. The product of the coupling between electromagnetic waves and the optical vibrations of the lattice, where the wave vector matches the transverse optical vibration, propagates along the lattice, and this perturbation is termed a polariton. Rocks in the Earth's interior also conform to this property; their relatively simple unit cell structures allow the propagation of polariton radiation, a phenomenon known as geopolariton radiation.

GPTS theory states that the electromagnetic pulse waves excited by geopolariton radiation can penetrate the mantle, asthenosphere and lithosphere, and propagate outward in the form of

continuous electromagnetic radiation. During their propagation to the surface, electromagnetic pulse waves undergo diffraction due to geological heterogeneity and structural complexity, forming response signatures corresponding to different geological environments and structural features

(Figure 1). The characteristics of these signatures are determined by the scale and properties of the geological bodies traversed by the electromagnetic pulse waves during conduction. The number of relatively stable random electromagnetic pulse waves within the effective scattering area of a geological body can characterize its spatial distribution scale, which is quantified in the form of density. The intensity of electromagnetic pulses is positively correlated with their discrete frequency spectrum, and both the discrete frequency spectrum and the number of electromagnetic pulse waves can be received using geophones or radio electronic antenna systems.

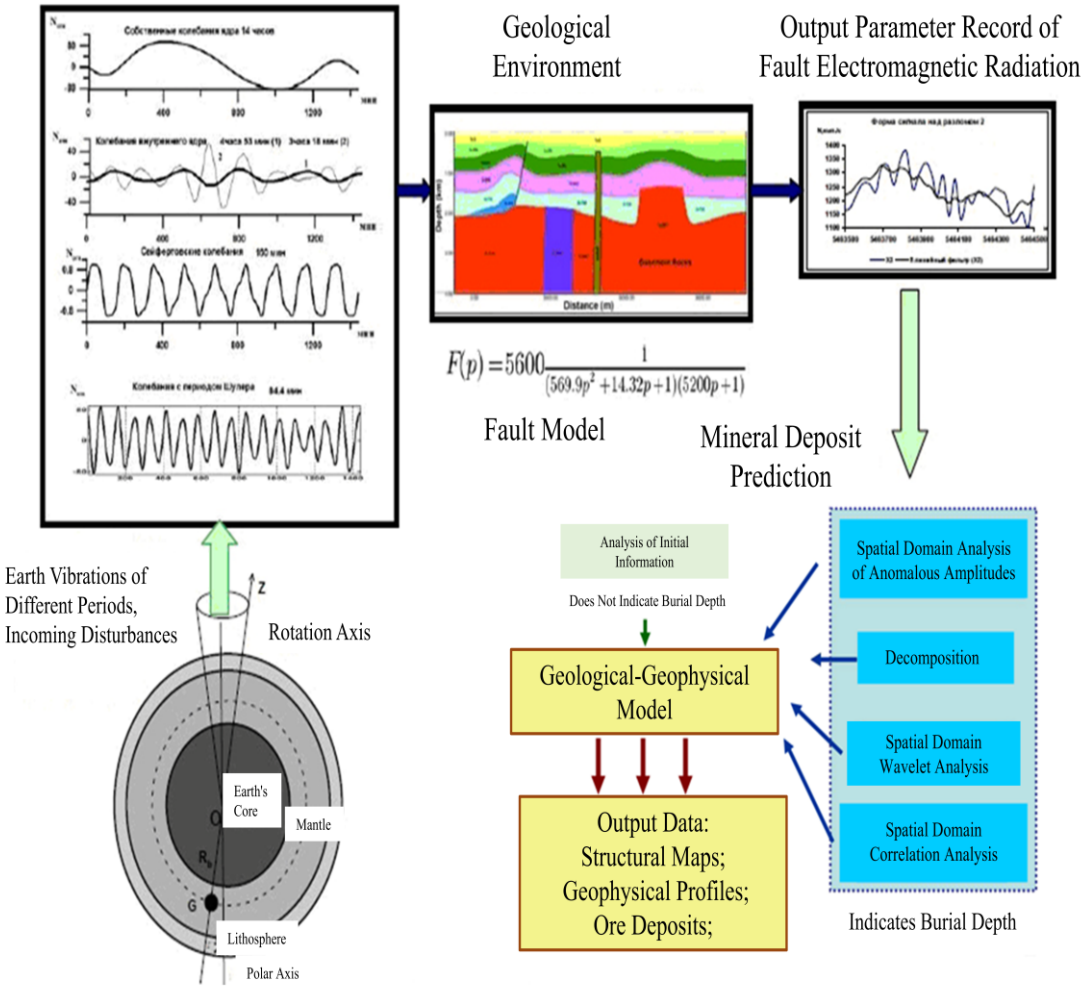


Figure 1 Schematic diagram of GPTS technology principle

By analyzing the intensity, frequency and other characteristics of the received electromagnetic pulse signals, the spatial distribution characteristics of the research objects are constructed, which is referred to as geological interpretation.

The appearance of the equipment is shown in (Figure 2). The system includes passive electromagnetic signal receivers, antenna modules, onboard storage and synchronization units for high-density field acquisition

Figure 2. DSF Geopolariton tomography equipment based on the UAV

By excluding all information related to heterogeneous structures, topography and anthropogenic activities from the electromagnetic pulse signals collected at the surface, only the endogenous components of electromagnetic signals generated by the Earth itself are retained. These components are processed in the geopolariton-3D volumetric space to form layered geopolariton images. Fluid-saturated zones in the geological environment are delineated through geopolariton dynamic anomaly zones, or geological bodies are intuitively visualized via vertical dynamic profiles. This passive-source electromagnetic tomography method is referred to as GPTS technology.

2.2 GPTS Data Processing and Map Drawing

2.2.1 Data Processing

Data processing mainly includes standardization processing, gridding reconstruction, data storage, spatial domain coherence analysis and multi-algorithm analysis of the original signals from geopolariton electromagnetic exploration. First, the originally collected data are subjected to standardization processing [25]. After data quality verification, gridding processing and signal quality evaluation, the qualified data are stored in a standardized format in the MySQL database. The spatial relationship of geological bodies is determined through spatial domain coherence analysis with the aid of MODE software (Figure 3). On this basis, layer radiation coherence geophysical profiles are drawn to infer anomalous geological structures and water-bearing indications. The Laguerre spectral analysis method is adopted to complete stratum velocity calculation and draw velocity profiles to identify stratum strikes. Finally, through data analysis methods such as spatial domain wavelet analysis, singular spectrum analysis and bright spot analysis, comprehensive analysis of geological anomaly information is carried out based on different technical principles and

interpretation methods, providing technical support for the detection and interpretation of geological structures.

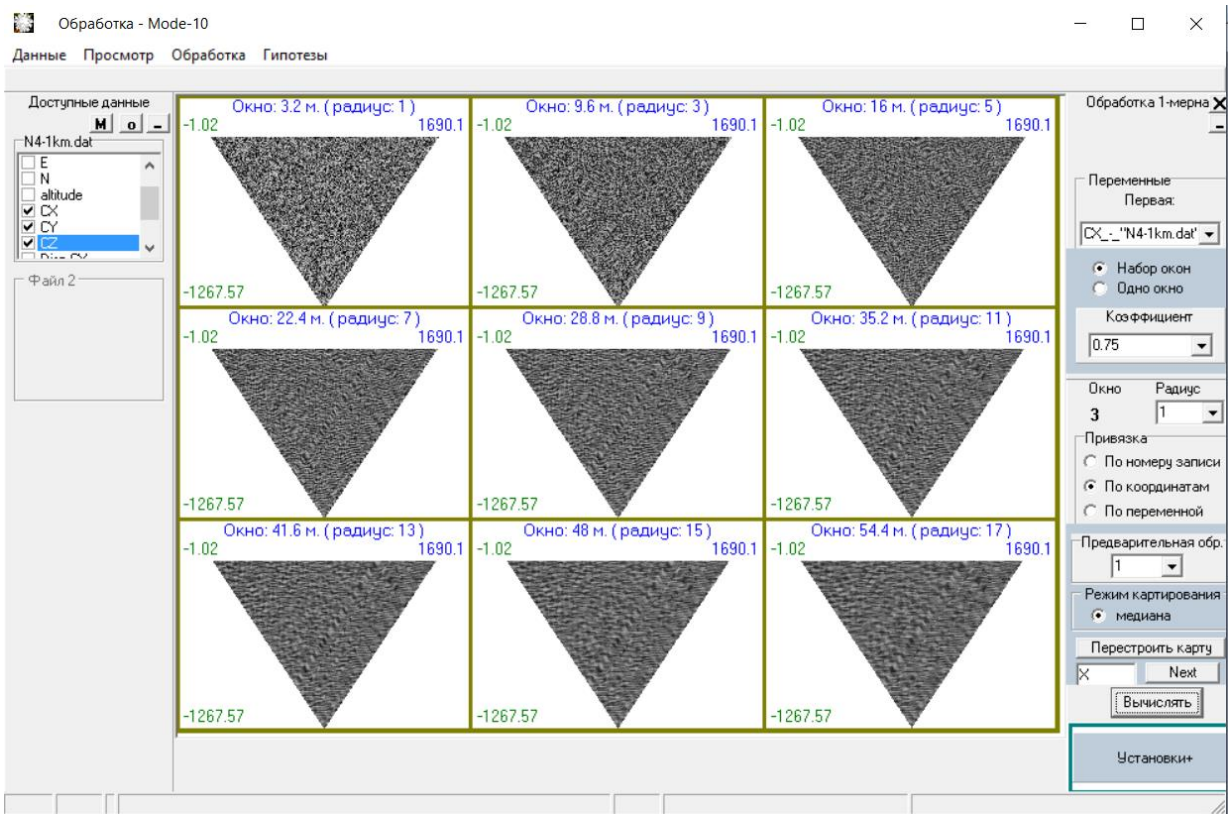


Figure 3. Analysis window of mode software

2.2.2 Map Generation

Geophysical results are mainly presented in the form of maps. GPTS map generation is primarily implemented using Surfer and Voxler software. Surfer is used for gridding discrete geological data and drawing 2D maps, while Voxler is applied for 3D geological model construction and interactive interpretation. The two work synergistically to provide visual support for geological detection and anomaly interpretation.

Contour mapping operations are performed using Surfer to complete the drawing of geophysical profiles (Figure 4). Velocity profiles are constructed through the Laguerre algorithm and relevant mathematical analysis and conversion. These profiles can reveal the density differences of geological bodies on longitudinal sections based on velocity variations, thereby inferring geological features such as stratum strikes. Before drawing contour maps, it is necessary to first grid the irregular survey points into regular grid data, then perform contour mapping operations, and finally generate the target maps.

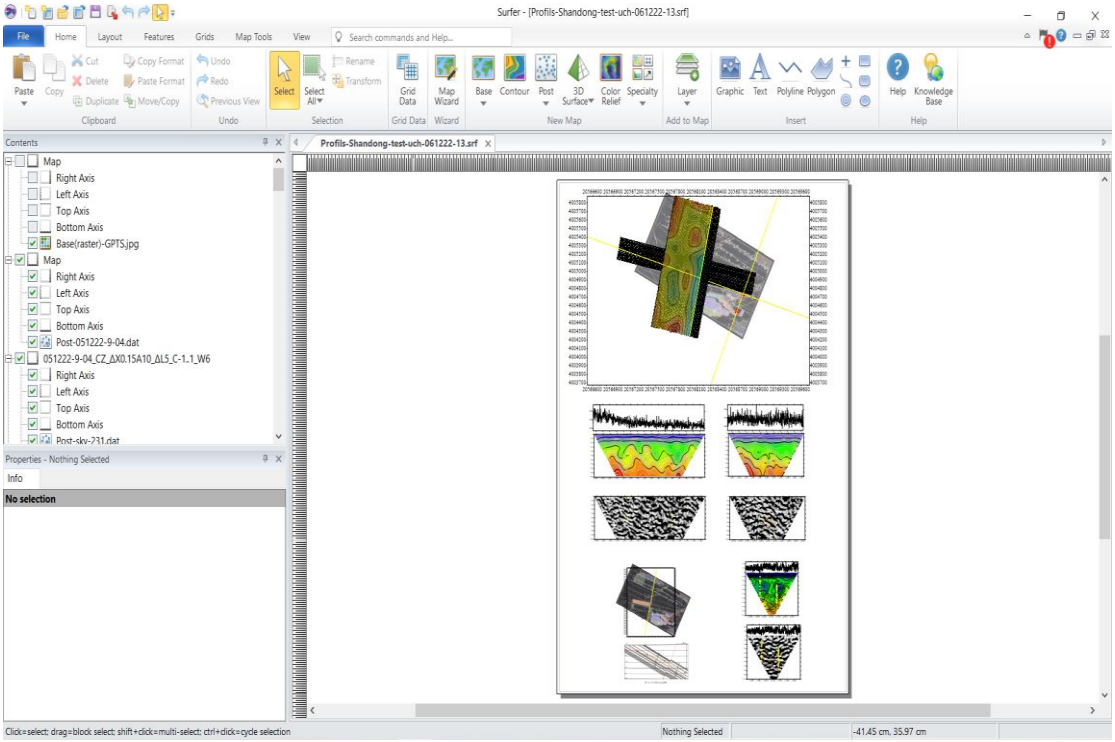


Figure 4. Plotting by surfer software

Based on GPTS technology, a 3D model is constructed using Voxler software (Figure 5). The layer radiation coherence geophysical profiles and velocity profiles of all survey lines are processed for 3D visualization, and slices can be made in any arbitrary direction to obtain layer radiation coherence geophysical maps and velocity maps in different directions. The above steps yield longitudinal and transverse tomographic imaging results, which can more intuitively and comprehensively reveal the conditions of underground geological bodies.

3. 3D Visualization Method

In this paper, the Leapfrog Geo 3D modeling software is used for geological model construction and visualization analysis. This software realizes the construction of 3D geological bodies by virtue of the comprehensive constraints of multi-source data and relying on the Fast Radial Basis Function (FastRBF) [16]. Based on drilling data, attitude data and stratigraphic superposition relationship, the FastRBF algorithm generates continuous and smooth stratum interface models. Through adaptive triangulation and stratigraphic sequence division, the continuous geological body space is divided into multiple continuous independent stratum units, forming a structured layered model. On this basis, by importing fault line data and setting fault parameters, types and properties, smooth and continuous fault surface models are automatically generated relying on the implicit interpolation algorithm. Fault block constraints are implemented, and the cutting and displacement control of strata by faults are completed under the premise of stratigraphic sequence constraints, thereby realizing the construction of geological body models.

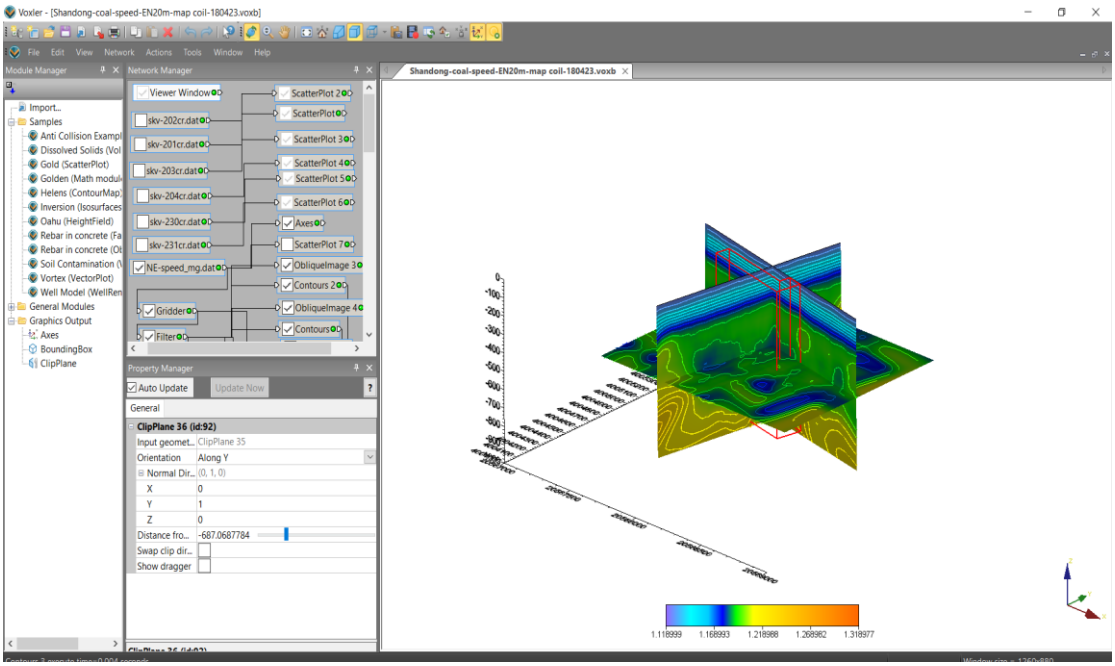


Figure 5. Plotting by voxler software

3.1 Planar-Cross-Sectional Correspondence

Geological cross-sections and plans are two distinct graphical forms for presenting geological body information, conveying geological data from different perspectives. A geological plan is formed by projecting field exploration data and existing geological data onto a topographic map at a certain scale, and systematically reflects the general geological conditions of a specific area [17]. Through geological plans, information such as the boundaries of geological bodies (including mine boundaries, collapse columns, magmatic intrusions and faults), spatial morphology and positional relationships can be intuitively presented, providing a fundamental basis for geological analysis and engineering design. A geological cross-section is a professional map that displays underground stratum distribution and geological structures through vertical cross-sections, and can accurately describe geological features such as stratum thickness, lithological changes, faults and coal seam distribution [18].

In 3D geological modeling, based on data such as stratum contours, drilling distribution points and constraint boundaries in geological plans, surface models that can accurately express the surface morphology of geological bodies can be rapidly constructed using methods and technologies such as surface fitting, spatial interpolation and multi-source data fusion. On this basis, geological body models can be built by combining stratum thickness data from boreholes and cross-sections. In this paper, with the aid of Surfer software, the multi-stratum boundaries on the XZ plane in the geophysical cross-sections drawn based on GPTS exploration data are projected and converted into vector lines on the XY plane using planar-cross-sectional correspondence technology, forming stratum boundary projection lines. During the conversion process, the positions of feature points in cross-sections and plans must correspond one-to-one to ensure the uniqueness of data interpretation [19, 20]. The principle of planar-cross-sectional correspondence is shown in Figure 6.

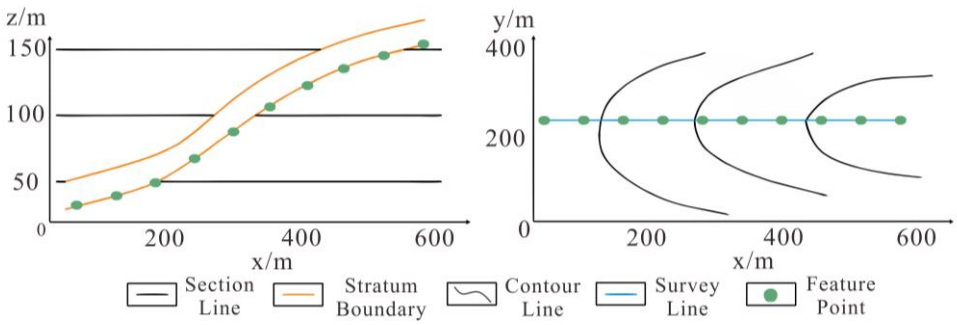


Figure 6. Schematic diagram of cross-sectional-to-planar projection technology

3.2 Multi-source Data Fusion

Multi-source data fusion is a modeling method that processes, classifies and filters geological data from multiple sources obtained by different detection methods (such as drilling data, cross-section data, geological plans, geophysical data, etc.) under a unified spatiotemporal datum, and combines geological genetic laws and spatial topological constraints to achieve accurate expression of underground strata and structures. Compared with geological models constructed solely from drilling or cross-section data, fusing multi-source data can fully leverage the advantages of various data sources, add constraint information to refine the initial geological model, improve the completeness of spatial expression of complex geological bodies, and effectively enhance the accuracy and reliability of the model.

Geometry is one of the basic elements for constructing 3D geological models, which can reflect the spatial position and geometric morphology of geological elements themselves. Geological objects are generally expressed using points, lines, surfaces and solids [21]. Among them, discrete points are single-point data without topological connection relationships, which contain attributes such as spatial coordinates (X, Y, Z), thickness and lithology. They are the most basic spatial units for characterizing the spatial position and attribute characteristics of geological bodies. Common types include borehole collar points, survey line control points, sample testing points, surface elevation points, ore body boundary control points, etc. Vector lines are formed by connecting a series of ordered discrete points according to topological relationships, with direction and length characteristics. They can be used to express geological objects or artificial exploration projects with extensional and banded characteristics, such as exploration profile lines, structural boundary lines, roadway centerlines, ore body boundary lines and stratum floor contours, etc.

Multi-source geological data are digitized and saved in the system in DWG file format. During the geological modeling process, they are integrated as auxiliary data into the initial stratum model constructed from drilling data, and together serve as comprehensive constraint conditions for continuous surface fitting and geological interface reconstruction. This updates the spatial morphology of strata and the internal structure of geological bodies, thereby improving the accuracy of the geological model.

3.3 Model Construction

3.3.1 Data Preparation

Geological data are the necessary foundation and constraint conditions for constructing 3D geological models, which are derived from actual mine exploration and production data. Multi-source and rich datasets can make the constructed 3D models more accurate. Due to the diversity

and complexity of geological data, many original geological data are stored in the system in different file types and cannot be directly used by 3D modeling software. They need to be processed and imported into the relevant modules of the modeling software to facilitate direct extraction of relevant data in the software during the subsequent modeling process.

(1) Drilling Data

Drilling data are the key data for constructing 3D geological models, which can well reflect the general stratum conditions of the coal mine. They are generally derived from 2D map materials such as collected borehole logs and deviation survey data. Before constructing the model, it is necessary to digitize them first. The steps for processing drilling data are as follows: 1) Organize all borehole logs and deviation survey data in the coal mine provided by the mining area, and extract data such as borehole spatial coordinates (X, Y, Z), maximum hole depth, stratum lithology, layer thickness and well deviation from the borehole logs; 2) Enter the extracted data into the data tables of collar.csv (Table 1), geology.csv (Table 2) and survey.csv (Table 3) respectively according to the required format.

Table 1 collar

Holeid	X	Y	Z	Maxdepth
102	38413840.64	4417781.573	1253.97	247.77
103	38413247.41	4418391.454	1272.57	372.57
104	38412664.21	4416181.922	1256.05	356.05
…				

Table 2 geology

Holeid	From	To	Lithology
102	0	31.97	Quaternary
102	31.97	60.45	Middle Jurassic Muhulugou Formation
102	60.45	306.26	Lower Jurassic Rujigou Formation
…			

Table 3 survey

Holeid	Depth	Dip	Azimuth
102	0	90	0
103	0	90	0
104	0	90	0
…			

(2) Vector Line Data

Vector lines mainly include boundary lines (mine boundaries, goaf boundaries, water-accumulated area boundaries, etc.), stratum boundary projection lines, stratum contours, surface contours, survey lines and fault lines. The above data are generally in CAD file format. Clean and filter the CAD layers and save them separately in the system for direct reading by the software.

Based on Leapfrog Geo software, right-click the Polyline folder in the project tree, click Import Polyline, and import the vector line data one by one to provide data support for subsequent modeling.

(3) Surface DTM

Right-click the Mesh folder in the project tree, left-click New Mesh → From Polyline → Existing Polyline, and select the imported surface contours. The system will automatically perform surface fitting based on the contours to generate the surface Digital Terrain Model (DTM).

3.3.2 Construction Process

1) Right-click the Topographies folder in the Leapfrog Geo project tree, execute the New Topography → From Surface command, and select the generated surface DTM file. Right-click the GIS Data, Maps and Photos folder, select the Import Map command, import the regional surface image downloaded by the Omap professional mapping software and overlay it on the surface DTM to complete the construction of the surface model;

2) Right-click the Drillhole Data folder, select Import Drillholes, click Browse to import the collar.csv, geology.csv and survey.csv data tables respectively, and click Import to complete the import of drilling data;

3) Right-click the Geological Models folder, enable New Geological Model, and construct an initial blank geological body model based on the coal mine borehole distribution range and coal mine boundary. Comprehensively considering modeling efficiency and calculation accuracy, the Surface resolution value, i.e., the model surface resolution, is uniformly set to 50;

4) The initial blank model is a regular cuboid. Restore the real geological spatial morphology through lateral and vertical boundary constraints. Select the target geological model, click Boundary → New Lateral Extent → From Polyline in sequence, import the boundary vector data on the XY plane of the coal mine, double-click the Boundary option of the model, and check Use topography in the boundary setting window to take the surface DTM as the vertical morphology constraint of the geological model;

5) Right-click Surface Chronology under the geological model, execute the New Deposit → From Base Lithology command, combine geological knowledge and stratum information from borehole logs to complete stratum unit division according to the depositional sequence. The software will automatically generate the contact interface meshes of each stratum and divide the blank volume model into ordered stratum units, providing basic constraints for subsequent meshing and data fusion;

6) Select the geological model, click Fault System → New Fault → Polyline in sequence, import each fault line one by one in the pop-up window, and set the parameters, types and properties of each fault. The software will automatically generate 3D fault surfaces based on the existing data. At this point, all faults have been added to the fault system but will not be activated in the geological model. Double-click Fault System, set the interactions between different faults in the opened window, check all fault surfaces, and complete the construction of the initial geological body model;

7) On the basis of the initial geological model (stratum surface and fault surface models), use the Add import function of the software to select the discrete point and vector line data to be imported. The software will automatically reconstruct the model based on the new data to complete the fusion of multi-source geological information and ensure the accuracy and completeness of the geological model. The model construction flow chart is shown in Figure 7.

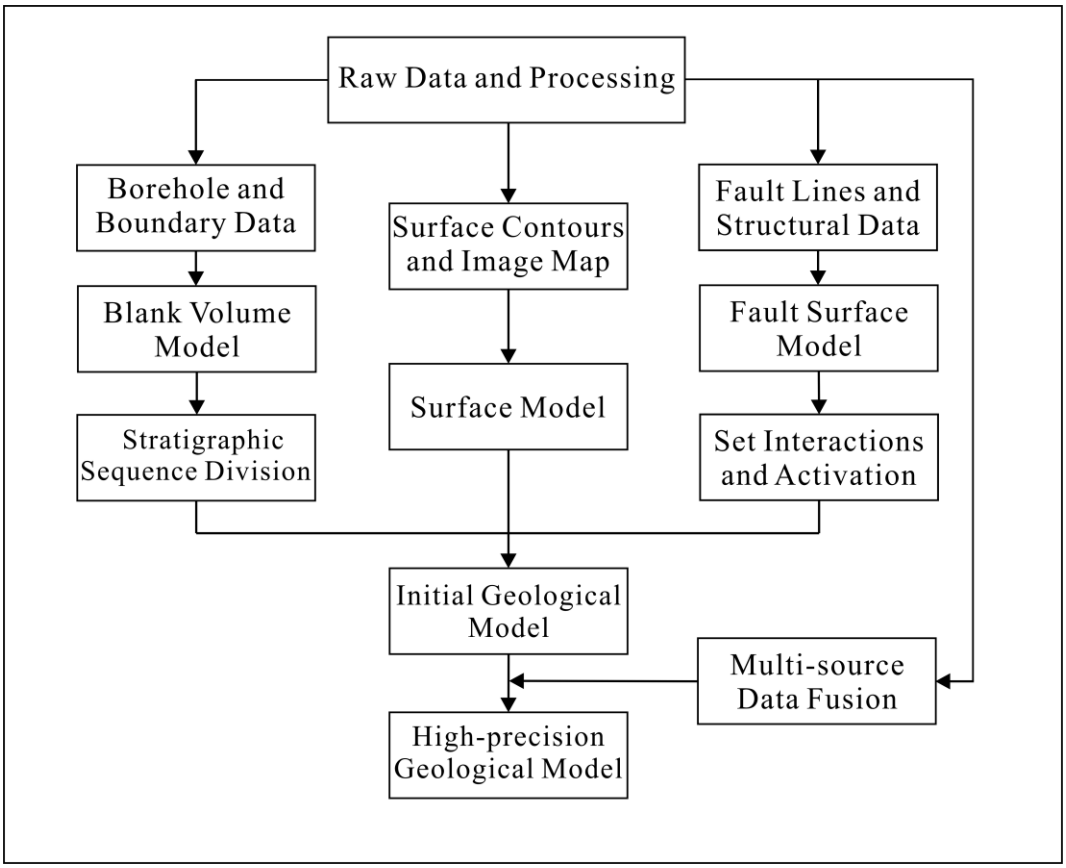


Figure 7. Flow chart of model construction

4. Application Example

Taking the north wing mining area of Baijigou Coal Mine as the research object, this study adopts technical means including data collection, technical demonstration, theoretical analysis, field survey and data inversion, and applies the GPTS passive-source electromagnetic airborne geophysical method to detect the location and range of goafs, accumulated water and faults in the No. 2_3 and No. 3 coal seams above the target depth of 350 m in the north wing mining area of Baijigou Coal Mine. Based on the geophysical results, 2D maps such as stratum floor contour plans and geophysical cross-sections are drawn, and combined with drilling and other data, visualization research is carried out with the aid of *Leapfrog Geo* 3D modeling software.

4.1 Geological Background

The north wing mining area of Baijigou Coal Mine is located at the northern end of Baijigou Coal Mine in Shizuishan City, Ningxia Hui Autonomous Region (Figure 8). The mining area is approximately 1.22 km long from north to south and 1.73 km wide from east to west, covering an area of about 2.11 km². In the north wing mining area, the Kabuliang Gully lies in the northwest and the Baijiji Gully in the south. Only a small amount of slope deposits and alluvial-proluvial deposits cover the bedrock along both banks of the gullies, while most of the remaining areas are characterized by bedrock exposure and denudation, forming numerous steep scarps and cliffs. The highest point of the surface is located in the central part of the mining area, and the lowest point is in the northern part, with a relative elevation difference of 216.06 m. Affected by the coal seam outcrop stripping and fire extinguishing project and the stripping of surrounding open-pit mines, most of the surface is covered by slag heaps, and the rest is exposed bedrock, constituting the unique geomorphic features of the mining area.

The coal-bearing strata in the mining area are the Middle Jurassic Yan'an Formation, with an average thickness of 231.00 m. There are 8 minable and locally minable coal seams, numbered from top to bottom as No. 2_1, No. 2_2, No. 2_3, No. 3, No. 4, No. 5, No. 6 and No. 7. Among them, the No. 2, No. 3, No. 6 and No. 7 coal seams are the main minable or mostly minable coal seams; the No. 4 coal seam is an unstable locally minable coal seam; and the No. 5 coal seam is unminable. The average total thickness of minable and locally minable coal seams is 19.14 m, with a coal-bearing coefficient of 8.31%.

The overall structure of the north wing mining area is controlled by the Rujigou Syncline. The syncline axis runs north-south and passes through the central part of the mining area, forming a typical basin-shaped syncline structure, which leads to drastic changes in coal seam occurrence. The coal seam floor contours are distributed in a closed shape, and the coal seam dip angle ranges from 0° to 10°, with an average of about 6°. A total of 31 faults have developed in Baijigou Coal Mine. The faults destroy the continuity of coal seams, resulting in poor coal seam occurrence conditions near the faults, increased dip angles and broken coal mass structures.

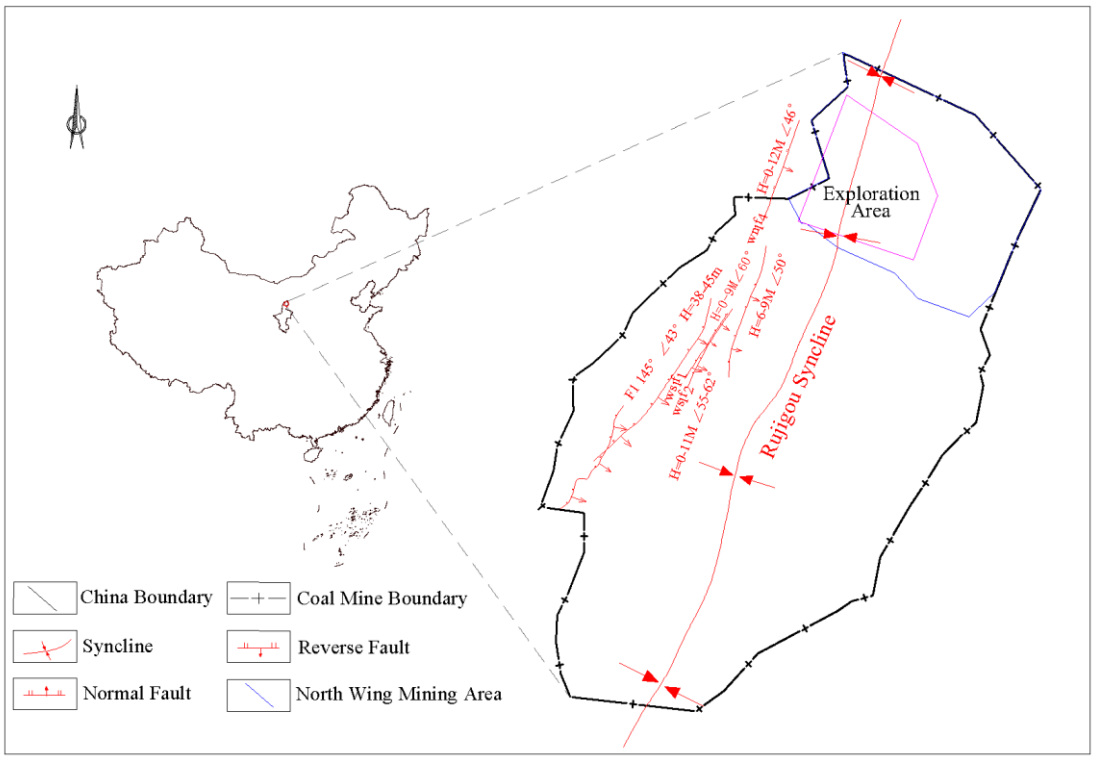


Figure 8. Schematic location map of the north wing mining area of baijigou coal mine

4.2. GPTS Exploration Results

Within the scope of the north wing mining area of Baijigou Coal Mine, a total of 203 GPTS survey lines were completed, with an exploration area of 0.7 km², a wiring grid density of 10×10 m, a collected data point spacing of ≤1 m, and a full coverage area of airborne survey lines of 1 km². A total of 406 GPTS result cross-sections and 123 plans were obtained.

In this exploration work, a total of 31 anomalous zones were delineated in the No. 3 coal seam, including 25 inferred goaf water accumulation anomaly zones, 4 water-rich anomaly zones and 2 cavity anomaly zones; 15 anomalous zones were found in the No. 2_3 coal seam, including 4 inferred goaf water accumulation zones and 11 stress-induced water-rich anomaly zones.

A total of 54 faults were interpreted, including 37 normal faults and 17 reverse faults. There were 29 faults with a throw of 0–5 m exposed in the No. 2 coal seams; 25 faults with a throw of 0–5 m exposed in the No. 3 coal seam. The structure in the survey area is relatively complex, and small-scale structures are well developed due to the influence of the syncline structure. The exploration results are shown in Figure 9.

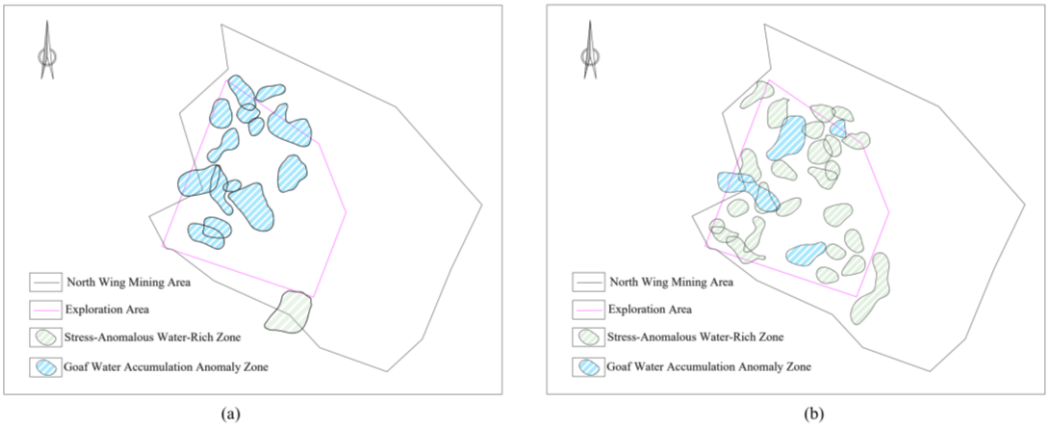


Figure 9. Exploration results map of the study area: (a)No. 2_3; (b)No.3.

4.3 Geological Models

Combined with data such as boreholes, stratum floor contour plans, geophysical cross-sections and boundaries, 3D models of the No. 2_3 and No. 3 coal seams within the north wing mining area of Baijigou Coal Mine were constructed. The models clearly and intuitively present information such as the spatial distribution, dip and strike of the minable coal seams in the mining area, providing detailed geological information reference for the rational planning and mining of coal resources. Based on the fault data explored by GPTS technology and combined with structural data, 29 and 25 fault models were constructed in the No. 2_3 and No. 3 coal seams respectively in the exploration area.

On the basis of the coal seam and fault models, the geological body model of the north wing mining area was constructed according to the borehole lithology and thickness data, combined with data such as the vector boundaries of goafs and water-accumulated areas (Figure 10).

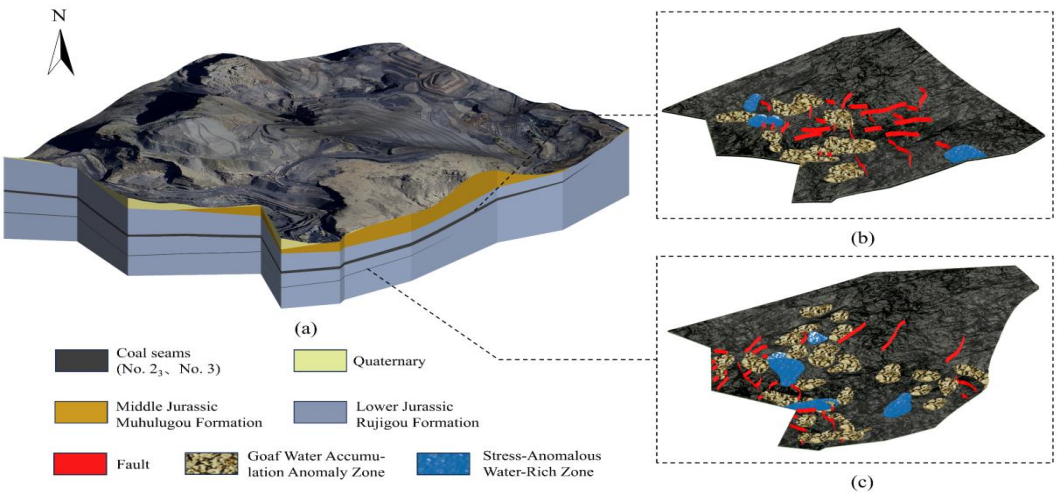


Figure 10. 3D geological model of the study area: (a) North wing mining panel model; (b) 3D model map of No. 2_3; (c) 3D model map of No. 3.

5 Conclusion

(1) As an advanced passive-source electromagnetic exploration technology, Geopolariton Tomographic System (GPTS) realizes geological detection based on nonlinear electromagnetic pulse signals generated by stress and strain in the Earth's interior. It has significant advantages of large detection depth, high accuracy and strong anti-interference capability, which can effectively compensate for the application shortcomings of traditional methods such as 3D seismic exploration and transient electromagnetic method in the high-steep bedrock mountainous areas of Helan Mountain, and provides a new technical path for refined exploration under complex geological conditions in coal mines.

(2) A 3D geological modeling technical system based on GPTS data has been established. The interpretation of original electromagnetic signals is completed through standardization processing, gridding reconstruction and multi-algorithm joint analysis. 2D geophysical profiles and velocity profiles are generated using Surfer and Voxler software. Then, the conversion of profile data to planar vector data is realized through planar-cross-sectional correspondence technology. Finally, multi-source data such as boreholes, boundary lines and surface DTM are fused, and the construction of geological body models is completed relying on the FastRBF implicit interpolation algorithm of Leapfrog Geo.

(3) For the first time, GPTS exploration data have been applied to 3D geological modeling of the north wing mining area of Baijigou Coal Mine. Data acquisition was completed with a high-density wiring of 10×10 m within an exploration range of 0.7 km². A total of 46 anomalous zones including goaf water accumulation, water-rich and cavity anomalies were delineated, and 37 normal faults and 17 reverse faults were interpreted. The coal seam and fault models of the No. 2_3 and No. 3 coal seams, as well as the comprehensive geological body model of the whole area, were constructed. The 3D visualization of strata, structures and hidden disaster-causing factors in the mining area was realized, solving the problems of sparse data and insufficient accuracy in traditional modeling.

(4) The 3D geological model constructed in this study can provide intuitive geological support for mining deployment, roof management and water disaster prevention and control in the mining area. In the future, the dynamic update of the model can be further realized by combining measured mine production data, and the application of GPTS technology in fields such as mine in-situ stress field inversion and surrounding rock stability evaluation can be expanded, laying a foundation for the construction of an intelligent geological support system for the whole life cycle of coal mines.

References

1. LI Sen, LI Chongchong, LIU Qing. Cooperative planning and cutting control system for comprehensive mining face based on transparent geology[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(4): 175-188.

2. GU Baoze, QIU Shaojie. Discussion on key technologies of transparent mine construction[J]. Industrial Automation, 2021, 47(S1): 24-25+31.

3. CHENG Jianyuan, WANG Baoli, FAN Tao, et al. Typical application scenarios and key technologies of coal mine geological transparency[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(7): 1-12.

4. PENG Suping. Research status and prospect of geological guarantee system for safe and efficient coal mining in China[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7): 2331-2345.

5. WANG Xiaohui, LIU Zaibin, ZHANG Dongliang, et al. 3D geological modeling technology of coal mines based on TIN-GTP algorithm[J]. Coal Geology and Exploration, 2024, 52(9): 41-48.

6. LI Peng, CHENG Jianyuan. 3D coal seam modeling technology in mining faces and its application in intelligent mining[J]. Safety in Coal Mines, 2021, 52(8): 156-161.

7. WEI Qingyun, WU Bo, XIONG Yongjie. Application of 3D seismic exploration in loess plateau and steep inclined area[J]. West-China Exploration Engineering, 2022, 34(2): 192-195+203.

8. SU Xianyong. Application research of two-step static correction technology in loess plateau area[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2017, 31(4): 41-43.

9. XU Xiaopei. Application of high-density 3D seismic in ultra-shallow coal field exploration[J]. Coal Geology of China, 2018, 30(12): 96-101+108.

10. PENG Suping, ZHAO Jingtao, SHENG Tongjie, et al. Current status and progress of coal field diffraction seismic exploration[J]. Coal Geology and Exploration, 2023, 51(1): 1-20.

11. LI Ping, WEI Rong, FAN Tao, et al. Development and prospect of mining well geophysical exploration technology[J]. Coal Geology and Exploration, 2025, 53(12): 243-265.

12. KONG Haiyang. Research progress on application of transient electromagnetic method in geothermal resource exploration[J]. Yunnan Geology, 2024, 43(S1): 331-334.

13. CHEN Songwei, FANG Tao, BU Jixia, et al. Research on underground mined-out area detection based on transient electromagnetic method[J]. Chemical Industry Management, 2025, (29): 44-47.

14. PENG Suping, XU Xianlei. Current status and trend of hidden disaster geological factor detection technology in coal mines[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2025, 45(5): 78-86.

15. BAGDANOV Yu A. Use of electro-magnetic geophysical exploration technology for hydrocarbon exploration[C]. Proceedings of the 10th China International Electromagnetic Academic Conference, Beijing: China Geophysical Society, 2011: 275-277.

16. MA Fenling, WU Zhichun, JIANG Shuming, et al. Exploration of implicit 3D modeling method for digital geological mapping—Taking Fuzhou city Shandang map as an example[J]. Geological Review, 2026, 72(1): 212-228.

17. WANG Xianghao. Research on 3D modeling of geological bodies based on plane geological map and profile map[D]. Anhui University of Science and Technology, 2020.

18. DENG Chao, HE Zhengwei, HAO Ming, et al. 3D geological modeling of Chengdu city based on MapGIS[J]. Geospatial Information, 2020, 18(7): 51-54+7.

19. JIANG Zaibing. Coal seam dynamic modeling technology and application[J]. Journal of China Coal Society, 2006, (1): 40-44.

20. TAN Zhiyong, HAO Duohu. Automatic drawing of profile graphics in coal mine plane graphics[J]. Science and Technology Information, 2007, (20): 203.

21. LI Zhaoliang, PAN Mao, HAN Dakuang, et al. 3D structural modeling technology[J]. Earth Science, 2016, 41(12): 2136-2146.

22. Bogdanov, Y. A., Prokopenko, S. I., & Chen, X. (2020). Use of GPTS technology in geoinformation security for sustainable development of megacities. In Geoinformatics 2020 - XIXth International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects.” European

Association of Geoscientists and Engineers, EAGE. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo134

23. Chen, X., Prokopenko, S. I., Vodopianov, O. O., & Bogdanov, Yu. A. (2021). Application of the GeoPolariton tomography based on UAV in prediction and monitoring of mountainous coal spontaneous combustion area in eastern Yunnan Plateau. In Proceedings of the 1st China Exploration GeoScience Conference (CEGC), Hefei, China. https://doi.org/10.26914/c.cnkihy.2021.036284

24. Prokopenko, S. I., Vodopianov, O. O., & Chen, X. (2022). Using the geopolariton tomography based on UAV to explore and monitor coalfield subsurface structures in Shaanxi, China. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2022. European Association of Geoscientists and Engineers, EAGE. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580080

25. Prokopenko, S. I., Bogdanov, Y. A., Vodopianov, O. O., & Chen, X. (2021). Geopolariton tomography (GPTS) hardware and software platform for study of earth's deep structure. In 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. European Association of Geoscientists and Engineers, EAGE. https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521012

ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК 553.411

Назаралиев Б.А.[1], Зарлыков А.К.[2], Шамшиев О.Ш.[3], Курманалиев К.З[4].
[1]«Глобал Азия Менеджмент» жоопкерчилиги чектелген коому, [2]КМТУнун пайдалуу кендер кафедрасынын аспиранты, [3]КМТУнун пайдалуу кендер кафедрасынын профессору, [4]«Геолэкспертпроект» жоопкерчилиги чектелген коому
Бишкек, Кыргыз Республикасы
[1]ООО «Глобал Азия Менеджмент», [2] аспирант кафедры полезных ископаемых КГТУ, [3] профессор кафедры полезных ископаемых КГТУ, [4] ООО « Геолэкспертпроект».
Бишкек, Кыргызская Республика

B. A. Nazaraliev[1], A.K. Zarlykov[2], O.Sh. Shamshiev[3], K.Z. Kurmanaliev[4]
[1]Global Asia Management LLC,
[2] PhD student, Department of Mineral Deposits, Kyrgyz State Technical University
[3]Professor of the Department of Mineral Resources of KSTU
[4]Geoexpertproekt LLC.
Bishkek, Kyrgyz Republic
bnazaraliev@mail.ru, grfgeology@gmail.com

СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ МОРФОЛОГИИ ЖИЛ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖАМГЫР

ДЖАМГЫР КЕН ОРДУНУН ТАМЫРЛАРЫНЫН МОРФОЛОГИЯСЫНЫН СТРУКТУРАЛЫК-КИНЕМАТИКАЛЫК ФАКТОРЛОРУ ЖАНА АЛТЫНДЫН БӨЛҮНҮШҮНҮН ГЕНЕТИКАЛЫК ӨЗӨГӨЧҮЛҮКТӨРҮ

STRUCTURAL-KINEMATIC FACTORS OF VEIN MORPHOLOGY AND GENETIC FEATURES OF GOLD DISTRIBUTION IN THE JAMGYR DEPOSIT

Джамгыр кен ордосунун №2 жана №2 бис руда тулкуларындагы башкы жана диагоналдык (түндүк-батыш жана түндүк-чыгыш тарабындагы) тамырлардын структуралык-кинематикалык абалы алтын кендеринин рудалануу этаптарын жана фазаларын аныктайт. Алтындын таралып жайгашуусун жана анын структурасын изилдөө алтындын полимодалуу логнормалдуу бөлүнүү мыйзамын көрсөтөт. Таралып жайгашуу структурасы минералдашуунун зоналлугун,, ошондой эле минералдашуу этаптарынын жалпы жана түрдүү деңгээлдеги көрүнүшүн чагылдырат. Алтындын таралып жайгашуу структурасы рудалануу процесстеринин диагностикалык генетикалык белгилерине ээ.

Ачкыч сөздөр: *алтындын таралып жайгашуусу, структура, курам класстары, модалар, руда тулкулары, структуралык-кинематикалык абал, параметрикалык эмес корреляция, рудалануунун генетикалык белгиси.*

Структурно-кинематическое положение магистральных и диагональных жил месторождения Джамгыр(северо-западного и северо-восточного простирания) рудных тел №2 и №2бис, определяет этапы и фазы золотого оруденения. Изучение распределения золота и его структуры, показывают полимодальный логнормальный закон распределения золота. Структура распределения отражает зональность минерализации, общих и в разной степени представительности этапов минерализации. Структура распределения золота обладает диагностическими генетическими признаками процессов оруденения.

Ключевые слова: *распределение золота, структура, классы содержаний, моды, рудные тела, структурно-кинематическое положение, непараметрическая корреляция, генетический признак оруденения.*

The structural and kinematic position of the main and diagonal veins of the Jamgyr deposit (northwestern and northeastern strike) of ore bodies No. 2 and No. 2bis determines the stages and phases of gold mineralization. The study of gold distribution and its structure shows a multimodal lognormal law of gold distribution. The distribution structure reflects the zoning of mineralization, general and to varying degrees of representativeness of the stages of mineralization. The gold distribution structure has diagnostic genetic signs of mineralization processes.

Key words: *gold distribution, structure, grades, modes, ore bodies, structural-kinematic position, non-parametric correlation, genetic signature of mineralization.*

Для цитирования: Назаралиев Б.А., Зарлыков А.К., Шамшиев О.Ш., Курманалиев К.З. Структурно-кинематические факторы морфологии жил и генетические особенности распределения золота месторождения Джамгыр / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). − стр. 120 - 131.

Введение

Металлогеническая роль жильных типов золотого оруденения является доминирующей для Чаткальской металлогенической области[7]. Полученные новые результаты при разведке месторождения Джамгыр, являются актуальным для корректировки поисков, применяемых методов разведки и оценки месторождения Джамгыр и проявлений рудного района и металлогенической области.

Золоторудные объекты рудного узла, рудного поля и металлогенической области в целом, не достаточно оценены, в том числе структур в сочлененных, связанных единым структурно-кинематическим парагенезом, рудоконтролирующих и рудолокализующих разломов. Изучение нового положения оруденения в структурном плане месторождения Джамгыр, позволило переоценить перспективы с 19т- 2009г до 48т- 2018г[5,6].

Наблюдения за жильными и рудными телами месторождения Джамгыр, производились при документации горных выработок, статистической обработки проб и разведочных сечений, группировки выборок по генетическим характеристикам разломов и рудных тел. Интерпретации полученных данных с геолого-структурным, морфологическим, вещественным положением оруденения. Всего по 4650 рядовым разведочным сечениям и более 10000 бороздовых проб.

Структурную позицию оруденения и строения месторождения определяют со-подчиненные таксоны- жильные зоны, жильные тела, рудные тела. Всего выделяется пять жильных зоны в составе которых наблюдается 19 жильных и рудных тел.

Теоретическая часть

Распределение металлов в рудах является основным количественным показателем месторождения, в свою очередь структура или закономерность распределения указывает на качественную сторону оруденения. На основе многолетних анализов распределений металлов в рудах[4,8,10] констатировано, что этот закон распределения является господствующим: «…логарифмически-нормальный закон, по-видимому, в природе распространен гораздо больше, чем это до сих пор известно» [8, с.817]. Колмогоров А.Н. получил математическое обоснование логнормального распределения в различных областях естествознания.

Достоверность значений концентраций золота определяется методами вероятностной математической статистикой однотипных данных опробования. С анализом наборов содержаний, составляющих случайный набор цифровых показателей, определяемых стохастической характеристикой содержаний, когда каждая проба не гарантирует подтверждения в смежном разведочном сечении. В связи с чем, только совокупное распределение данных опробования может дать информацию о распределении полезного компонента.

Обработка статистической информации опробования месторождения Джамгыр произведено на основе широко известных методик[1,3,10]. Первичной обработкой выборок установлен полимодальный логарифмически нормальный закон распределения золота в рудных телах и составных частях(разведочных и эксплуатационных блоках) месторождения Джамгыр. Для выявления тенденций изменения основных статистических параметров распределения, анизотропии и геохимической зональности выборки формировались по контурам разведочных и эксплуатационных блоков, что обеспечивало достаточность, представительность и надежность выборок. С последующим объединением и анализом по горизонтам, участкам рудных тел , рудным телам и месторождению в целом.

Подобный метод опирался так же с учетом геолого-структурного и вещественного строения месторождения и рудных тел. В том числе для выявления характеристик зональности или изменчивости строения месторождения в пространстве с учетом структурного, вещественного и генетических признаков изменчивости. Последнее возможно выявить при разбраковке полученных данных статистического анализа выражаемых в изменении симметрии параметров математического ожидания и дисперсии(в том числе через анализ среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации). По замечанию Урусова: «Когда несколько различных явлений природы накладываются друг на друга, образуя одну систему, дисимметрии их складываются таким образом, чтобы сохранить максимальное количество тех элементов симметрии и/или тех частей пространства, которые являются общими для каждого явления, взятого отдельно. Количественное сходство или похожесть изменившихся элементов энтропии может быть оценено как среднеквадратичные отклонения от первоначального» [11, с.18].

Сравнение и аппроксимация структурно-кинематического и структурно-морфологического строения рудных тел месторождения Джамгыр и распределения золота обусловлены тем, что золото-рудная минерализация гидротермальной системы связана с процессом разрушения вмещающих пород. Разрушение горных пород при их

квазистатическом сжатии на примере гранодиорита в интервале разрушенных частиц от 4 до 0,0625мм соответствуют логнормальному распределению[12].

Выборки по разведочным и разведочно-эксплуатационным блокам, наиболее информативные единицы имеющие геометризируемые параметры близкие 40х40м, 90% блоков являются эксплуатационными что производить анализ по эксплуатационной сети с равномерным расположениям разведочных сечений по сети 3,5х4-6м.

Распределение золота, структура распределения и генетические особенности оруденения месторождения Джамгыр.

Ранее[5,6,9]по минералогическим ассоциациям выделены четыре стадии формирования рудных концентраций. Первая – дорудная- проявлена в виде пирит-халькопиритовой минерализации и, видимо, связана с кристаллизацией молодых гранитов. Вторая стадия - предрудная – фиксирует начало гидротермального процесса, проявляется золото-пиритовой минерализацией. Третья стадия – главная продуктивная – выражена комплексной золото-сульфосоль-полиметаллической минерализацией. Четвёртая стадия – пострудная – халцедон-карбонатная, выражается перераспределением минералов ранних стадий образования.

Наиболее контрастно эти стадии процесса рудоотложения выражены в структурно-геологическим составляющим парагенетической ассоциации разломов с жильными и рудными телами-: магистральные- рудное тело №2 и сочлененные с ними диагональные разломы –рудное тело №2бис. Приведенные рудные тела по структурно-кинематическим, морфологическим и продуктивным свойствам отражают различающимися зональными признаками[5,6].

Очевидно, рудообразование четырех описанных этапов по разному проявлялись в различных системах рудоподводящих и рудолокализующих трещин, на их пересечениях, изгибах и изменяющихся параметрах мощности(угнетенности и пульсационного раскрытия зияния трещин), что приводит к изменениям Р-Т условий насыщенности флюидов и барьером для рудоотложения и концентрации золотоносности-«пульсирующие объёмы»-основным факторам продуктивной рудолокализации.

При анализе распределения золота, формировались выборки по каждому разведочному блоку, далее объединенные по участкам и рудным телам. Частные выборки разведочных блоков сравнивались по падению и простиранию участков и рудных тел. В таблице 1 приведены сравнительные данные среднего по классу, по рудным телам. В сравнении с теоретическим средним и функция частости по классам с логарифмированием, шагом в 2. Расчетные значения среднего по классам видно, что они не противоречат теоретическим. Более низкое их значение указывает на их достоверность, не имеющие влияние в сторону завышения истинных значений аналитических данных. Коэффициент вариации частных и объединенных выборок находится в диапозоне 1,5 до 3,2- крайне не равномерное и крайне изменчивое распределение. Функции дисперсии(от 300 до 10000), как индикатор неоднородности будет рассмотрен отдельно. В качестве информативных статистических показателей распределения полезного компонента использовались моды (значения наиболее часто встречающихся в пробах классов содержаний золота). Полимодальный характер распределения отражает наложение нескольких последовательных этапов и фаз минерализации.

Распределение золота месторождения Джамгыр, проверено по кривым Разумовского.

Таблица 1. – Моды, классы содержаний Au,г\т; Ccp по классам рудных тел и частости проявления по рудным телам

Моды	классы	сред.теорет.	р.т.№2	частость.	р.т.№2бис	частость.	2бис\2
1	0-0,99	0,5	0,30	0,23	0,33	0,18	0,8
2	1,0-1,99	1,5	1,42	0,13	1,44	0,09	0,7
3	2,0-3,99	3	2,87	0,18	2,90	0,11	0,6
4	4,0-7.99	6	5,63	0,13	5,70	0,13	1,0
5	8.0-15,99	12	10,98	0,12	11,51	0,12	1,0
6	16,0-31,99	24	22,57	0,09	22,38	0,12	1,3
7	32,0-63,99	48	43,95	0,06	44,91	0,11	1,8
8	64,0-127,99	96	83,05	0,04	91,08	0,07	1,8
9	128,0-255,99	192	192,62	0,01	169,54	0,05	3,6
10	256,0-511,99	384	319,50	0,003	334,41	0,01	5,6
11	512,0-1024	768	805,30	0,0003	806,92	0,002	5,1

Графическая функция распределения золота по рудным телам представлена на рис.1.

Распределение золота подчиняется логарифмически нормальному закону с полимодальной структурой. Кривые распределения отражают единый процесс рудообразования с закономерной зональностью проявлений зональности по проявлению мод и модальных значений. Единство процесса рудообразования определяется по в целом сходству кривых распределения. Зональность свойственная кинематически различающимся элементам рудогенеза, видна по характеру кривых в зоне 1-3 классов. Которые, в целом могут интерпретироваться как замещение дорудной убогой минерализации - траектория кривых от 1 к 2 и 3 пику. Этот процесс более значим в диагональном рудном теле №2бис. Экстремум пика 3(класс бедных руд) резко выражен в магистральной жиле и более пологий в диагональной. Вероятно, соответствует расхождению этапов процесса оруденения, более значимом в магистральной жиле. Обращает на себя внимание совпадение кривых в зоне мод 4 и 5(4-8 и 8-16г\т), проявленная как некая ось симметрии распределения золота, очевидно отражает этап еденный этап минерализации. Далее кривые обладают весьма выраженными расхождениями- достаточно крутая для магистральной жиле и пологая до горизонтальной, в классах от 16 до 64г\т в диагональном рудном теле.

Кривые распределения отражают единый процесс рудообразования с закономерной зональностью от проявлений этапов рудоотложения.

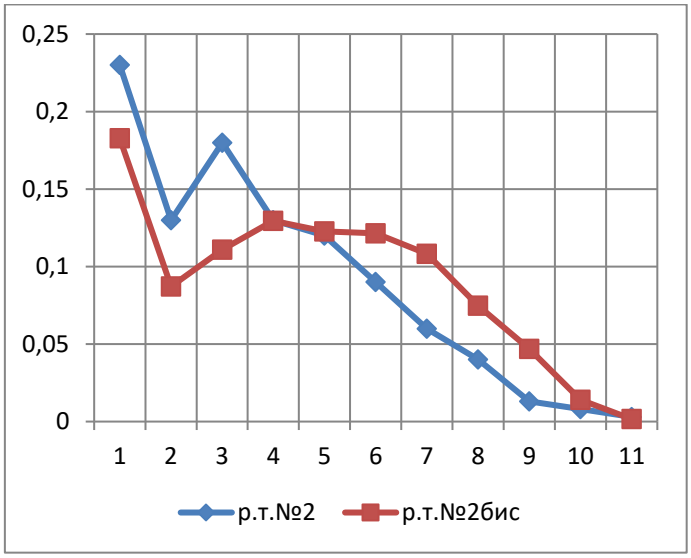


Рисунок 1 – Полигон распределения золота рудных тел №2 и №2 бис

Кривые графиков распределений сглажены для рудных тел, за счет эффекта наложения сдвинутых пиков мод по разведочным блокам. Иллюстрация структуры полимодального типа распределения золота по разведочно-эксплуатационным блокам соответствующих рудных тел, Рисунок 2.

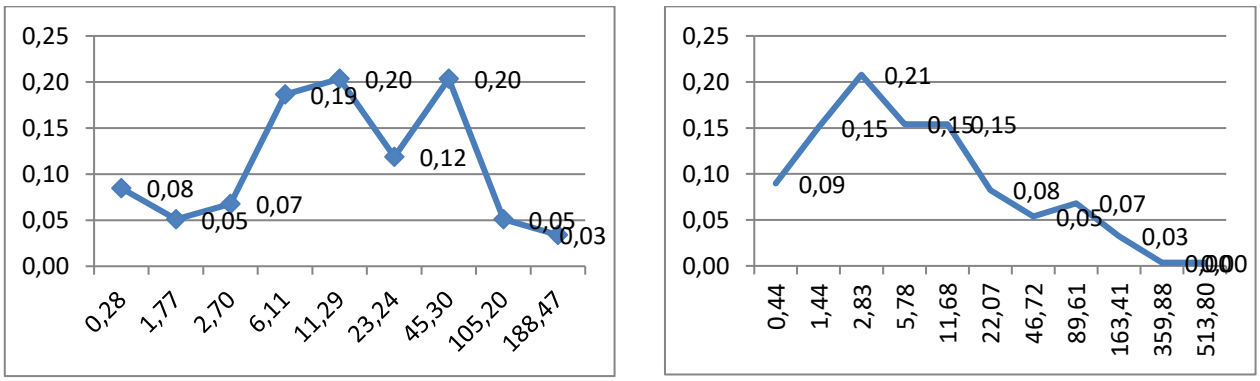


Рисунок 2 – Иллюстрация полимодальности рудных тел №2бис(слева- блок 5-13С1.) и №2(справа- блок 4-2С1.) по разведочно-эксплуатационным блокам(выборки более 200)

Проявления пиков высоких значений мод, выше 4,5, весьма характерны для частных выборок разведочных блоков. Которые варьируют в широком диапазоне от4 до 8,9 для рудного тела в диагональном разломе и менее выражены и представлены в магистральном разломе. Проявления пиковых значений мод отражают этапы и фазы процессов минерализации. Которые, в рудном теле №2 бис, имеют более интенсивный характер, относительно магистральной жилы.

Для рудных тел, структура распределения золота так же имеет выраженные характеристики, отражающие процесс и направление минерализации по падению рудных тел, Рисунок 3. В сравнительных диаграммах, представленных только тремя классами содержаний, весьма отражается весьма значительную зональность минерализации. Для рудного тела №2 по падению наблюдается значительный рост убогого класса содержаний и синхронное снижение рудообразующих классов содержаний(от бедных и выше). Для рудного тела №2бис, наблюдается обратный процесс- снижение класса убогих содержаний и проявленный рост высоких классов содержаний.

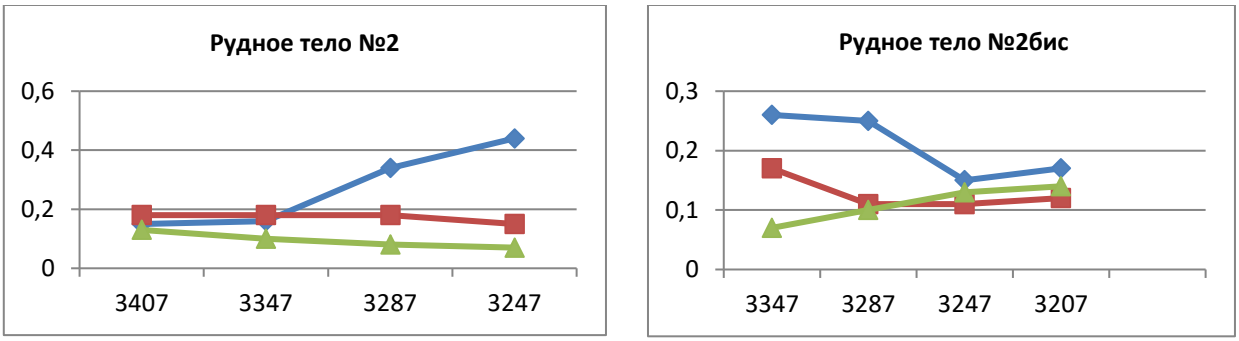


Рисунок 3 – Изменение мод 1,3,6 по падению рудных тел №2 и №2бис, условные обозначения: <1, 2,0-3,99, 16,0-31,99

Соотношение этого процесса, проявленного как структурообразующий распределения золота по рудным телам, весьма отчетливо видно по колличественному соотношению классов содержаний. На Рисунок 4, таблице 1, отражен этот фактор, который отражает процесс фазового и этапного рудообразования. Как отмечено выше, ось симметрии минерализации по распределению золота, приходится на классы от 4 до 16г\т, с дальнейшим ростом от рудностолбового характера отложения золота, который в бонанцевых значениях вырастает в 6-9 раз.

Вещественное проявление структуры распределения золота в рудных телах месторождения, иллюстрируется кластерами объединенных проявлений классов содержаний-Рисунок 5 и 6. Для простоты восприятия и анализа пространственного положения, классы были объединены по типизации руды: убогие, бедные-рядовые, богатые, рудно-столбовые, столбообразно-бонанцевые и бонанцевые- условные обозначения на Рисунок 6.

Распределение рудообразующих классов, образуют не правильные линзующиеся тела, которые замещают фоновый уровень убогих классов. Сгущение контуров высоких классов, образуют рудные тела. Каркасным значением для которых, в рудных телах №2 и №2 бис, являются классы 16-64г\т. Еще более высокие классы золота, в целом приурочены к центральным зонам распространения рудно-столбового классов. И отличаются степенью представленности в ортогональных сочлененных разломах.

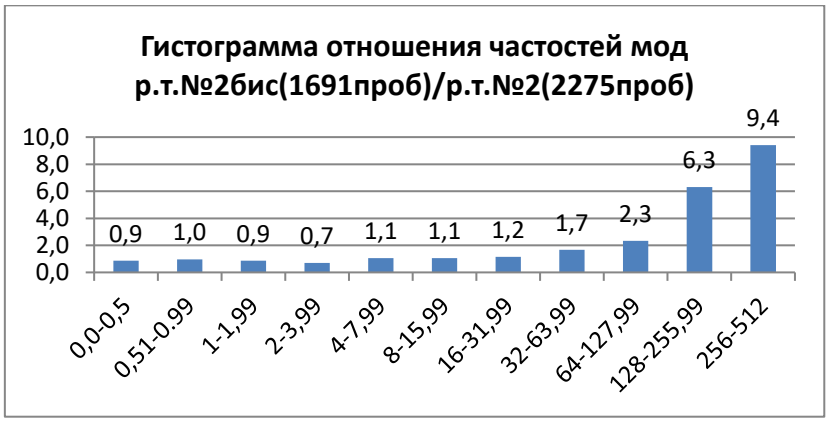


Рисунок 4 – Кратность представительности вероятности проявления классов содержаний в рудных телах(частное частости классов р.т.№2бис к р.т.№2)

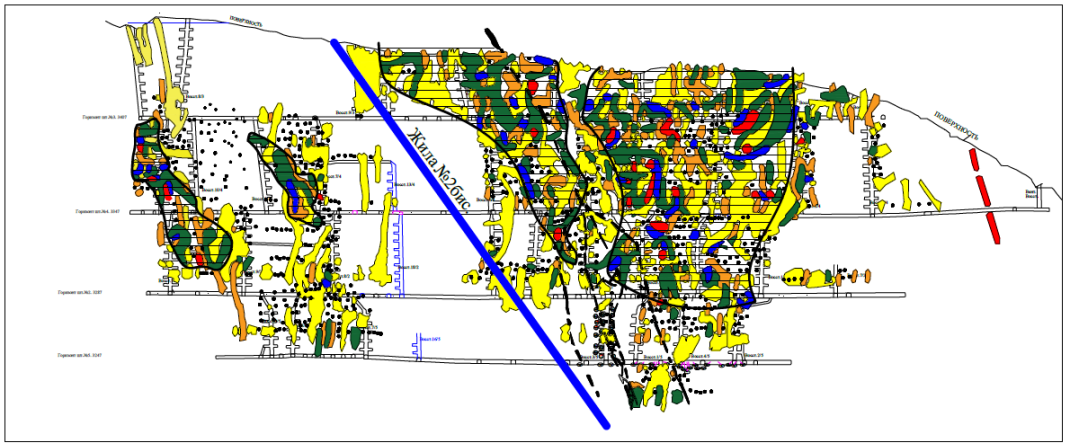


Рисунок 5 – Распределение изоконцентрат классов содержаний золота на продольной проекции рудного тела №2

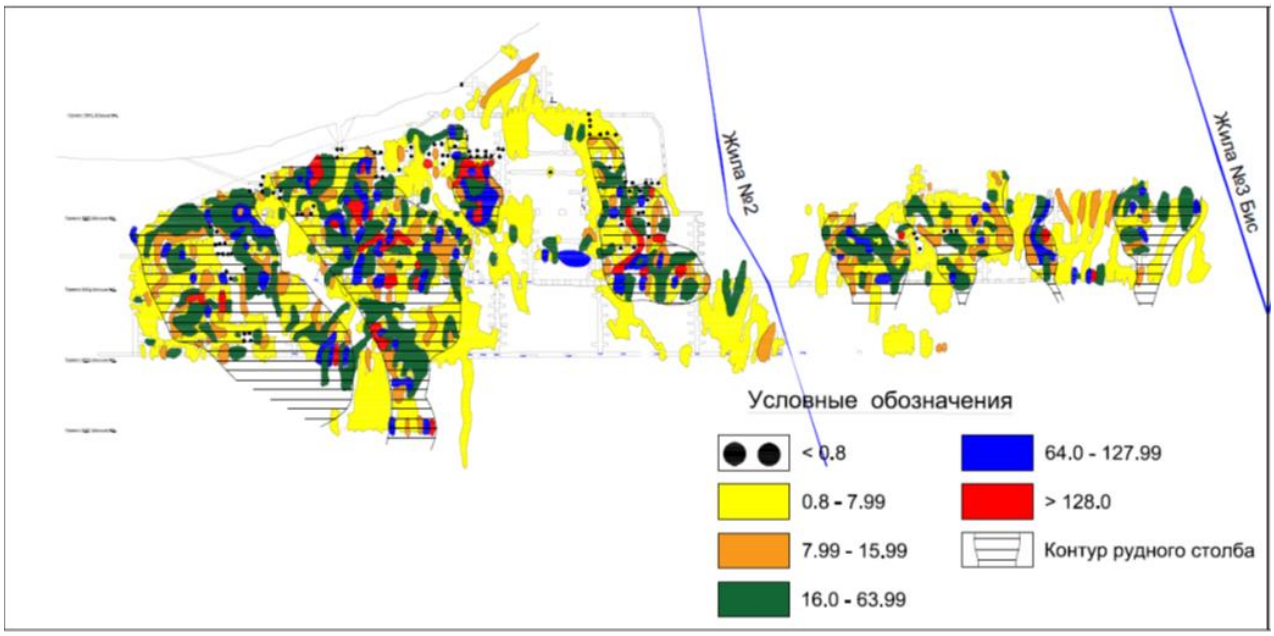


Рисунок 6 – Распределение изоконцентрат классов содержаний золота на продольной проекции рудного тела №2 бис

Генетический характер структуры распределения золота.

Проявления моды и характеры кривых, при анализе степени проявлений мод по рудным телам, рассмотренных по отдельным выборкам разведочно-эксплуатационных блоков, позволяет выделить степень проявления фаз и этапов рудообразования. Которые для рудного тела №2 определяются, как обособленная фаза и этап в убогом классе, выраженном проявлении в классе 2-4\т и достаточно ровный характер кривой и представительности мод 4 и 5. Объединенная вероятность проявлений мод 3,4,5 рудного тела №2 составляет 43%.

Для рудного тела №2бис в диагональном сколовом разломе, с характерным морфологическим строением, в первую очередь выделяемом по элементарным фрагментам-монофазные, выделяется более пологий характер кривой в диапозоне мод 3-7. С высоким представительством бонанцевых классов(классы более 64г\т), относительно магистральных жил. Суммарная вероятность базовых модальных значений(классы от 2 до 64г\т, составляет до 59%. Таблица 2.

Таблица 2. – Основные моды формирующие рудные тела, суммарная вероятность проявления

Участок	Моды	вероятность,%
Рудное тело №2	1-(3-4,5)	23-(Σ=43)
Северо-западный участок	1-(3,4)	24-(Σ=30)
Юго-восточный участок	1-(3-4,5)	23-(Σ=44)
Рудное тело №2бис	1-(3,4,5,6,7)	18-(Σ=59)
Северо-восточный участок	1-(4,5,6,7)	17-(Σ=52)
Юго-западный участок	1-(3,4,5,6,7)	19-(Σ=49)

Закономерности распределения золота и их структура имеет генетический характер, отражающие зональность минерализации по рудным телам. Что доказывается и по

корреляционным связям идентификации золотой минерализации, выявленной по корреляции классов распределения золота по структурно-кинематическому положению в пространстве. Классификация типов руд по рудным телам №2бис и №2 проведена на основе общеизвестной методики - непараметрических ранговых корреляций(по Спирмену), по формуле:

$$r = 1 - [6(\sum_{i=1}^{n} d_i^2 + T_x^2 + T_y^2)/n(n^2 - 1)], \quad (1)$$

Результаты отражают наблюдаемую зональность распределения золота, Рисунок 7. Для рудного тела №2бис, определяется, практически прямая корреляция с бонанцевыми и столбообразно-бонанцевыми классами и высокая степень корреляции рудно-столбовых классов. Для рудного тела №2, степень корреляции по классам от 16 до 128г\т, существует, но слабая. С бонанцевым классом-отрицательная. Так же отрицательные связи выявляются и с убогими содержаниями, для обоих рудных тел. Что отражает положение типов руд и этапов золотой минерализации по рудным телам.

На основе сходства и расхождения в распределении и структуре распределения золота составлена корреляционная таблица для рудных тел месторождения Джамгыр. Метод прямой корреляции выполнен в среде программы Excel, табл..3. Коррелируемость признаков распределения золота и его структура, может служить поисковым критерием и основой для оконтуривания оруденения при разведочных работах. Совокупность концентрационных распределений по модальному признаку позволяет разграничивать и идентифицировать фрагменты новых рудных тел, по признаку распределения золота. Так в процессе разведочных работ, было выявлены новые рудные тела.

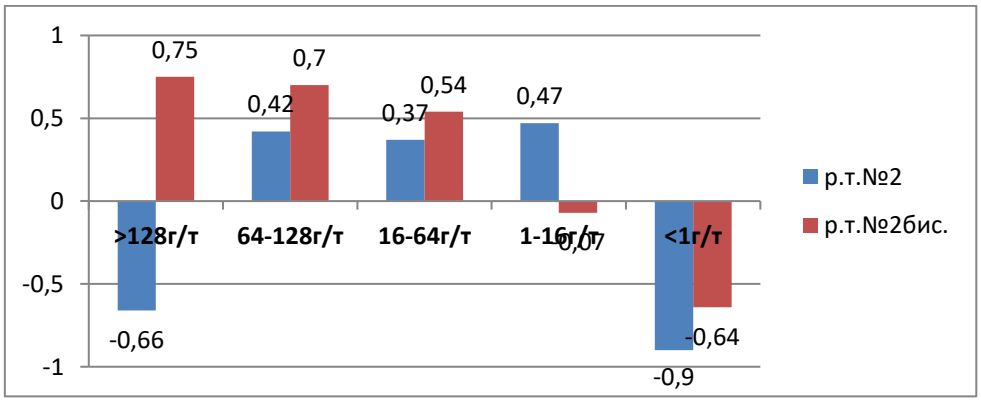


Рисунок 7. – Ранговая корреляция классов золота рудных тел №2(1182наблюдения), №2бис (992 наблюдения)

По которым, при достаточной сформированной выборке, была проведена разбраковка. Рудное тело №1бис, занимает новое структурное положение в пределах месторождения. Относится к азимутальному семейству 340°. Ранее фрагменты этого рудного тела относились к рудному телу №1, магистрального положения. Изучение структурно-вещественных признаков и корреляция позволила отнести этот фрагмент к новому для месторождения типу структур и рудных тел. Одновременно, обращает на себя внимания общая коррелируемость, прямая для рудных тел и участков рудных тел месторождения, в

сегментах парагенетической ассоциации жильных зон[5,6]. При этом, для различных структурных положений рудных образований отмечается отличия в степени корреляции распределений золота.

Которые обладают весьма высокими корреляционными значениями в сходных кинематических позициях- практически прямые и сильной корреляцией между стволовыми жильными телами в пределах единых сдвиговых зон(№2 и №3бис(магистральные жилы), №2бис, №8(диагональные) – жильная зона 3; №№1,3(магистральные) и №1бис- жильная зона №2).

Таблица 3.- Корреляции распределений золота по рудным телам месторождения Джамгыр

	Таблица корреляции по Au. Классы содержаний								
	р.т.№2 СЗ	р.т.№2 Ю	№2бис, Ю	№2бис, С	р.т.№8	р.т.№1	р.т.№1би	р.т.№3би	р.т.№3
2-СЗ	**1**	1,00	0,94	0,86	0,87	0,85	0,14	0,95	0,82
2-ЮВ		**1,00**	0,87	0,75	0,82	0,88	0,40	0,95	0,91
2бисЮЗ			**1,00**	0,97	0,84	0,71	-0,37	0,75	0,61
2бисСВ				**1,00**	0,75	0,60	-0,65	0,54	0,38
р.т.№8					**1,00**	0,56	-0,12	0,86	0,75
р.т.№1						**1,00**	0,40	0,74	0,71
р.т.№1бис							**1,00**	0,39	0,61
р.т.№3бис								**1,00**	0,94
р.т.№3									**1**

Результаты и обсуждения

1. Распределение содержаний золота имеет четко выраженную логарифмическую полимодальную закономерность. Поли модальность в сопоставлении с минералогическими генерациями золота и сульфидов, кварца отражается выраженную поли-этапность золотой минерализации. Устанавливается связь золота с генерациями рудных процессов.

По распределению золота четко выделяются следующие экстремумы классов содержаний: первый, убогий- характеризуется обширным процессом дорудной минерализации. Развитый повсеместно по всему объему выполняющих жильные тела. С преобладанием дорудной убогой минерализации в магистральных разломах.

Проявления модальности распределения золота характеризуют золото-кварцевое оруденение и имеют смещенные параметры модальности по простиранию, падению рудных тел. Особенно значимы смещения мод, характеризующие различающиеся процессы отложения и переотложение золота, в магистральных и диагональных жилах. Контрастная модальность по фрагментом рудных тел проявляется при измерении на отдельных участках- по объему в пределах разведочных блоков с наиболее оптимальной статистической выборкой. При укрупнении выборки до рудного тела, горизонта или участка рудного тела, модальность менее выражена за счет совмещения смежных модальных пиков.

Для магистральных рудных тел наблюдаются выражение моды в классах содержаний(по наибольшей частоте)- 1-3(4)-5(6). Смежные более высокие классы 4 и 6 имеют подчиненное значение, вероятно, отражают ослабленные наложенных процессов минерализации(в том числе за счет роста размерности золотин). Моды более высоких классов обособленных пиков не образуют.

Для диагональных рудных тел модальность проявлена более контрастно и располагаются в ряду: 1-4,5-6,7. Смежные моды классов 5 и 7 несколько меньше выражены, но проявляются как равноправно самостоятельные. Пики мод более высоких бонанцевых классов содержаний, нередко образуют экстремумы. Более широкое проявление модальности характеризует процесс отложения и пере отложения золота как многократный и выраженный.

2. Расхождения в этапности отложения и переотложения золота, особенно четко выражено корреляцией агломерированных классов содержаний золота по ранжирам: убогие(<1г/т), бедные-рядовые-богатые(1-16г/т), рудностолбовые(16-16г/т), бонанцево-столбообразные(64-128г/т) и бонанцевые(>128г/т). Дорудные убогие содержания золота не коррелируются с продуктивным рудным процессом. Бедные-рядовые-богатые содержания коррелируются с диагональными жилами, при отсутствии корреляции для магистральных жил. Два последующих, из перечисленных агломерированых классов, имеют более выраженную корреляцию для диагональных и слабую коррелируемость для магистральных жил. Класс бонанцевых содержаний имеет практически прямую корреляцию для диагональных жил, при отрицательно корреляции для магистральных жил.

Структурообразующие классы распределения- элемент симметрии распределения золота, расположены в диапазоне классов 4-8,0г/т и 8-16,0г/т(моды 4 и 5 – математико-статистическое равенство распределений в сопоставляемых фрагмента и структурных рудных системах). Ниже и выше указанной оси симметрии проявляются зональность наложенной минерализации.

Таким образом, по распределению золота в сравнительных параметрах между диагональными и магистральными жилами, можно констатировать два различающихся по этапности, динамике и проявленности золотой минерализации. Где магистральные, сдвиговые рудоконтролирующие и рудовмещающие структурные элементы имеют характер меньшей степени проявления динамики рудного процесса, в том числе переотложения золота.

Выводы

Полимодальное логнормальное распределение золота месторождения Джамгыр, обладает закономерной структурой. Проявления мод -генетическая характеристика распределения золота по магистральной и диагональной жильным телам- приуроченных к парагенетической ассоциации разломов сдвиговой зоны. Проявления мод магистральных жил смещены в классы бедных, рядовых и богатых содержаний(1-4 по содержаниям золота 4-8,8-16г\т) пики более высоких классов отражают последующее наложенное оруденения, проявляются без широкой представленности. Диагональные и магистральные жильные тела обладают симметрией в области мод рядовых и богатых классов(от 4 до 16г\т). Диагональные рудные тела обладают выраженной модальностью в рудно-столбовых-бонанцевых классах(от 16 до более 128г\т).

Подобная закономерность структуры распределения золота связана со структурно-кинематической зональностью месторождения и отражает генетическую природу распределения золота в объеме месторождения.

Выявленные закономерности, коррелируемы и могут использоваться для диагностики и индикации положения оруденения месторождения и определяют металлогеническую

генетическую специализацию месторождения, рудного поля. Могут использовать для корректировки методик поисковых и разведочных работ..

Список литературы

1. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. Пер.с англ. в двух книгах. М. Недра, 1990.

2. Канцель А.В. Функция распределения металла в рудах как генетическая характеристика процесса рудообразования // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1988. № 10. С.18-30.

3. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М. Недра, 1990г. 251с.

4. Коган Р. И., Белов Ю.П., Радионов Д.А. Статистические ранговые критерии в геологии. М.: Недра, 1983. 136 с.

5. Назаралиев Б.А., Зарлыков А.К. Морфо-структурная зональность элементарных фрагментов рудных тел месторождение Джамгыр / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2019. – №3 (51).

6. Назаралиев Б.А., Курманалиев К.З. и др. // Отчет с технико-экономическим обоснованием кондиций с сопоставлением результатов поисково-оценочных, разведочных, эксплуатационно-разведочных и добычных работ золоторудного месторождения Джамгыр(на основе разведочных и эксплуатационных работ 1987-2016гг.(в 3-х томах). Фонды АГ, рукопись.

7. Никоноров В.В., Караев Ю.В. и др. // Золото Кыргызстана, 2004г, т 1., т.2., ГА по геологии и минеральным ресурсам

8. Разумовский Н.К. Характер распределения содержаний металлов в рудных месторождениях // Докл. АН СССР. 1940. Т.28. № 9. С.815-817.

9. Ревинский Ю.А. Результаты поисково-оценочных работ на месторождении Джамгыр за 1988-1992г.г. Бишкек, Фонды АГ, инв. №8507. Рукопись.

10. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А.Родионов, Р.И.Коган, В.А.Голубева и др. М.: Недра, 1987. 335 с.

11. Урусов В.С. Эволюция Земли и Космоса в свете концепции симметрии-дисимметрии // Смирновский сборник – 2007. М.: Изд-во МГУ, 2007. 338 с.

12. Чантурия В.А. Наночастицы в процессе разрушения и вскрытия геоматериалов / В.А.Чантурия, К.Н.Трубецкой, С.Д.Викторов, И.Ж.Бунин; ИПКОН РАН. М., 2006. 216 с.

13. Назаралиев Б.А, Зарлыков А.К. Структурно-кинематические парагенезисы жильных зон золоторудного месторождения Джамгыр. Известия КГТУ имени И. Раззакова. –2019. №1 (49). – стр. 217– 233.

14. Назаралиев Б.А, Зарлыков А.К. Рудолокализующие структуры и продуктивность жильных тел золоторудного месторождения Джамгыр / Известия КГТУ имени И. Раззакова. 2019. - №1(49). – стр. 206–217.

15. Назаралиев Б.А., Ермошкин Н.Н., Шамшиев О.Ш., Курманалиев К.З. Морфо-структурная зональность элементарных фрагментов рудных тел месторождения Джамгыр / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2023. –№2(66) – стр. 898 – 910.

16. Назаралиев Б.А., Зарлыков А.К., Шамшиев О.Ш., Курманалиев К.З. Геолого-структурная зональность и жилообразование месторождения Джамгыр / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2023. –№2(66) – стр. 910 – 923.

УДК 347.44:347.249

Пазылов Т.Ш.[1], Базарбаев Э.Б.[2], Курманалиев К.З.[3]
[1]«ТИМайнинг» жоопкерчилиги чектелген коому, [2]Ж.Баласагын атындагы Кыргыз улуттук университети, [3]«Геолэкспертпроект» жоопкерчилиги чектелген коому
Бишкек, Кыргыз Республикасы
[1]ООО «ТИМайнинг», [2]КНУ им. Ж. Баласагына, [3]ООО «Геолэкспертпроект»
Бишкек, Кыргызская Республика

T.Sh. Pazylov[1], E.B. Bazarbaev[2], K.Z. Kurmanaliev[3]
[1]TIMining LLC, [2]J. Balasagyn KNU [3]Geoexpertproekt LLC
Bishkek, Kyrgyz Republic
Timaspaniard@gmail.com

МОДЕЛЬ ДОГОВОРНОГО РЕЖИМА НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНДА КЕН БАЙЛЫКТАРЫН ПАЙДАЛАНУУНУН КЕЛИШИМДИК РЕЖИМ МОДЕЛИ

MODEL OF THE CONTRACTUAL REGIME OF SUBSOIL USE IN THE KYRGYZ REPUBLIC

Тоо-кен тармагындагы келишимдердин түрлөрүн жана мүнөздөмөлөрүн (концессиялык, продукцияны бөлүү жөнүндө макулдашуу, тобокелдиги бар/жок жана аралаш тобокелдиги бар сервистик макулдашуу, ишкердик-операциялык жана инвестициялык келишимдер) талдоонун, менчик укугунун белгилерин (ээлик кылуу, пайдалануу, тескөө жана башкаруу) имплементациялоонун, жер казынасынын ресурстарынын баалуулугун баалоону жана инвестициялык тоо-кен долбоорунун продукциясы менен натыйжаларын бөлүштүрүүнү киргизүүнүн негизинде Кыргыз Республикасында жер казынасын пайдалануунун келишимдик режиминин модели иштелип чыкты. Ал автономдуу башкаруу жана жөнгө салуу үчүн аралаш тобокелдиги бар сервистик макулдашуунун жарандык-укуктук принциптерине таянат. Башка нерселер менен катар, бул модель пайданы нормалоо категорияларынын, I жана II түрдөгү дифференциалдык рентанын негизинде ресурстардын баалуулугун баалоону, долбоордогу үлүштүк менчикти бөлүштүрүүнү жана тоо-кен рентасынын чектерин баалоо, аныктоо, ошондой эле анын негизинде кирешени пайда жана тобокелдиктер бөлүгүндө бөлүштүрүү үчүн корпоративдик башкаруу принциптерин камтыйт. Моделдин принциптерине ошондой эле салык режиминен баш тартуу жана макулдашууга башкаруу менен жөнгө салуунун автономдуулугун берүү кирет. Бул мамиле тоо-кен долбоорунун кирешелеринде тобокелдиктерди-инвестицияларды жана үлүштүк менчикти аралаш бөлүштүрүү менен сервистик типтеги макулдашуунун концептуалдык негизин сунуштоого мүмкүндүк берди.

Ачкыч сөздөр: *келишимдик режим, инвестициялык келишим, аралаш тобокелдиги бар сервистик типтеги макулдашуу, тоо-кен рентасы, пайданы нормалоо, жарандык-укуктук жөнгө салуу.*

На основе анализа типов и характеристик договоров в горной отрасли (концессионного, соглашения о разделе продукции, сервисного соглашения с/без и со смешанным риском, предпринимательского- операционного и инвестиционного договоров, имплементации признаков права собственности (владения, пользования, распоряжения и управления), внедрения оценки ценности ресурсов недр и разделения продукта и результатов инвестиционного горного проекта) разработана модель договорного режима недропользования в Кыргызской Республике. На основе гражданско-правовых принципов сервисного соглашения со смешанным риском для автономного управления и регулирования. Помимо прочего, эта модель включает оценку ценности ресурсов на основе категорий нормирования прибыли, дифференциальной ренты I и II родов, разделения долевой собственности в проекте и принципов корпоративного управления для оценки, определения границ горной ренты и разделения на этой основе дохода в части прибыли и рисков. Принципами модели являются также отказ от налогового режима и придания соглашению автономности управления и регулирования. Этот подход позволил предложить концептуальную основу соглашения сервисного типа со смешанным разделением рисков-инвестиций и долевой собственности в доходах горного проекта.

***Ключевые слова**. договорной режим, инвестиционный договор, соглашение сервисного типа со смешанным риском, горная рента, нормирование прибыли, гражданско-правовое регулирование.*

This paper elaborated a model of the contractual regime for subsoil development in the Kyrgyz Republic, which is based on an analysis of the contractual types and characteristics in the mining industry (concession, production sharing agreement, service agreement with/without and with mixed risk, entrepreneurial-operational and investment contracts, implementation of the signs of property rights (ownership, use, disposal and management), introduction of the assessment of the value of subsoil resources and division of the product and results of an investment mining project). This model includes, among others, an assessment of the value of resources based on profit rationing categories, differential rent of types I and II, division of shared ownership in the project and principles of corporate governance for assessment, determination of mining rent boundaries and division of income on this basis in terms of profit and risks. The model principles also include the rejection of the tax regime and the granting of autonomy of management and regulation to the agreement. This approach enabled the proposal of a conceptual basis for a service-type agreement, characterised by a mixed division of investment risks and shared ownership of the income from a mining project.

***Key words**. contractual regime, investment contract, agreement of the service type with mixed risk, mining rent, profit regulation, civil law regulation.*

Для цитирования: Пазылов Т.Ш., Базарбаев Э.Б., Курманалиев К.З. Модель договорного режима недропользования в Кыргызской Республике / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). − стр.132 - 155.

Введение

Актуальность. Административно-правовая система управление горной отраслью КР, очевидно исчерпала свои возможности. Практически из 200 рудных различных отраслей полезных ископаемых в стране эксплуатируется только 9 золоторудных месторождений. Для реализации предложенной Президентом КР (Указ №5 от 20 февраля 2021г) о реформирования горной отрасли с вовлечением в эксплуатацию месторождений со 100% и 30–40% долевой собственностью на прибыль рассматриваются как актуальные экономические методы управления и регулирования горной отраслью на основе гражданско-правовых условий инвестиционных контрактов[1]. В исследовании предлагается решение актуального вопроса интенсификации инвестиций и увеличения отдачи от горной отрасли для КР, на основе гармонизации существующих типов договоров в горной отрасли (концессионного, соглашения о разделе продукции, сервисного соглашения с риском и/или без риска) с рамках операционного Соглашения сервисного типа со смешанным риском предложена концепция инвестиционной привлекательной системы разделения прав собственности, инвестиций, рисков и доли прибыли.

Методология

Исследованы теория и методологические основы трех основных типов договоров в горном деле, признаки и характеристики инвестиционных условий договоров и гражданско-правовой системы горного прав изложенных в исследованиях: С.А.Сосны, Дж.Берроуза, Д.Джонстона, О.Н. Садовиновой, Н.В. Курысь, Н.Г. Дорониной, Б.Д. Клюкина, Д.М.Амунцена, А.В.Богдасарова,Я.О Золоева, В.Н. Лисицы, Дж.Бейли, Е.В. Кузничков и мн.других.

Научная гипотеза

На основе долевой собственности и разделения дохода прибыли от горного проекта, определяемых горной рентой, нормированной прибылью создана модель инвестиционного по содержанию и операционного сервисного соглашения со смешанным риском по форме на основе системы гражданско-правовой экономико-правовой системы автономного управления и регулирования горного проекта.

Научная и практическая значимость

Предложена концепция договорного режима недропользования в КР с максимальной отдачей от горного проекта для собственника недр-КР и инвестиционной привлекательности отдачей для инвестиций на операционную деятельность от 3 до 20% от валовой прибыли продукта и дополнительной дифференциальной ренты II рода на инновационный капитал, производительность и экономический эффект для инвестиций.

Результаты

Предложена концептуальная модель инвестиционного сервисного соглашения со смешанным риском, с максимальным экономическим эффектом для сторон контракта, разделением рисков и экономико-правовых гарантий инвестиционного капитала.

В работе над статьей принимал участие консультант горный инженер-геолог Курманалиев К.З.

Глава 1. Постановка вопроса

Правовой режим государственного регулирования недропользования определяется конституционной нормой об исключительной собственности Кыргызстана на его недра (ст.16 Конституции [2]), которая гласит, что «ресурсы находятся под контролем и особой охраной государства». На основе этой нормы статьей 2 Закона Кыргызской Республики о недрах (2018 год [3]) предписано, что «государство осуществляет политику в сфере недропользования на основе: не дискриминации граждан и юридических лиц по признаку гражданства, безопасности ведения работ и окружающей среды, управления минерально-сырьевой базой, охраны недр, регулирования на основе взаимовыгодного сотрудничества, открытости процедур и не допущения ограничений конкуренции и монополизации». Особые отношения на условиях соглашений и концессионных договоров устанавливаются соответствующими законами.

В Законе о концессии в Кыргызской Республике 1992 года (ст. 1) указано, что «Концессия представляет собой разрешение Правительства Республики Кыргызстан инвестору на осуществление определенного вида предпринимательской деятельности, связанной с предоставлением ему в аренду имущества, земли и ее недр» [4].

Гражданским Кодексом Кыргызстана (ст. 222) определяется понятие и содержание права собственности: «Право собственности есть признаваемое и охраняемое законодательными актами право субъекта по своему усмотрению владеть, пользоваться и распоряжаться принадлежащим ему имуществом» [5].

Платежный и налоговый режим устанавливается Налоговым Кодексом (2008 год) и включает в себя роялти, бонус, корпоративный налог с дохода (для золота ставка от валового дохода, для остальных рудных полезных ископаемых от прибыли), сборы за удержание лицензии. Законом о недрах определен также дополнительный платеж - социальный пакет инвестора в пользу местных сообществ (2% от валового дохода).

Правовой институт управления в сфере недропользования определяется как государственно-правовым регулированием недропользования. Специальных разделов и норм, регулирующих право собственности, в законодательстве Кыргызстана для недропользования нет. Фактическое распределение собственности осуществляется на основе лицензии для обладания средствами и продуктами производства с выплатой долевой собственности, налогов и платежей. Таким образом, право собственности на недра являются не отчуждаемым правом государства. Часть делегированных прав на продукты недр должны регулироваться нормами гражданского законодательства. Равенство сторон в гражданско-правовых отношениях в силу регулирования нормами и подзаконными актами процедур исследований недр и разработки, может определяться юридическим состоянием неравенства сторон. Без определения гражданско-правовой ответственности юридического владельца ресурсами. Государственные нормы регулирования характеризуются доминирующим административно-правовым методом регулированиях[6].

В соответствии с законом о концессии и инвестициях государство может выступать и как сторона гражданско-правовых сделок в экономических товарно-денежных отношениях. При этом статья 6 закона о концессиях указывает, что «государство уступает концессионеру правомочия владения и пользования объектами концессионного договора, оставляя за собой исключительное право распоряжения ими»[4]. То есть имеет место разрыв триады правомочий собственника. Таким образом, собственность не подлежит

делегированию, отчуждению, и в правовых отношениях, связей, договоренностей подчиняет публичному правопорядку.

Однако, еще в большей мере это системное противоречие относится к правовому титулу недропользователя при лицензировании, которым вопросы собственности вообще не рассматриваются ни с точки зрения публично-правовых отношений, ни тем более с позиций гражданско-правового оборота.

Оба указанных подхода прямо противоречат добросовестности, как основополагающему принципу правового регулирования общественных отношений, согласно которому при реализации своих прав и исполнении обязанностей каждая сторона правоотношения должна учитывать обоснованные интересы своего контрагента [7]. Однако, в процессе нормативного регулирования и при фактической реализации правовых отношений в сфере разработки недр, как государство, так и недропользователь не просто игнорируют противоположные интересы, но *a priori* постулируют недобросовестность противной стороны. Это, в свою очередь, приводит к допущению недобросовестности в поведении для того, чтобы защититься от мнимой или реальной недобросовестности контрагента.

«Общие требования собственника ресурсов отражаются в указе Президента Кыргызстана УП №5 от 29 января 2021 года [1], который формулирует экономическую парадигму недропользования в Кыргызстане, включающую следующее: «(a) разработка общегосударственных месторождений компаниями со 100% собственностью КР; (b) приобретение долевой собственности в горных проектах КР; (c) рациональное управление и использование недр; (d) аудит горных проектов и месторождений; (e) стимулирование геологоразведочных работ; (f) внедрение международных стандартов экологии; (g) прозрачность потоков от горного проекта, в том числе в местные фонды».

Нет инструментов и механизмов реализации вещных прав на долевое участие. Доходы определяются через: (a) влияние государственного управление, (b) стоимостную оценку, (c) ценами на золото и (d) уровнем затрат. Насущна проблема разделения доходов. Определение долевого участия спонтанное. Без учета геолого-экономической оценки объекта. Нет критериев, механизмов и инструментов оценки и установления долевого участия. Таким образом вопрос собственности не определяется.

Право распоряжения инвесторов вещным титулом на горные проекты практически не реализуемо. Два исключающих фактора - управление нормами и ограничениями, в том числе задним числом, а также налоги и платежи от государства. И, конечно, корпоративное управление проектом без компетенций. Кроме того, нет четких правил и ограничений (в т.ч. по охране недр и т.д.) в отсутствие достаточной компетенции самих недропользователей. Возникают объективные условия для коллизии между управлением административным методом нормативного регулирования отрасли и корпоративным управлением горными проектами[6].

В силу отсутствия комплекса правовых инструментом, механизмов и регулирующих норм реализация любых правомочий фактического владельца недрами (инвестора, недропользователя) после выдачи лицензии, заключения договора о долевом участии, предварительного конкурсного и аукционного платежа за право владения лицензией, на основе соглашений о концессии и инвестиционном режиме вступает в противоречие с конституционно и законодательно определенным «исключительным правом собственности

на недра», которое реализуется и поддерживается авторитарными внеэкономическими методами. В конечном счете права собственности инвестора на продукты его инвестиционной деятельности фактически не возникает[6].

Анализом горной отрасли КР, правовых отношений в горной отрасли, методов регулирования и управления представлена альтернативная концепция договорного режима недропользования на основе «операционного соглашения сервисного типа с риском, без риска и со смешанным риском» на основе концепций нормирования прибыли, дифференцированной горной ренты I и II родов, соответственно для собственника недр КР и инвестиционной стороны[8]. На основе предложенных концепций для решения вопросов собственности, юридического режима управления- гражданско-правовых отношений, распределения денежных потоков настоящим исследованиями в тезисной и агломерировнном виде предлагается типизация и основные принципы, содержание и форма «Соглашения сервисного типа со смешанным риском» как гармонизация долевой собственности проекта и ресурсов недр с распределением доходов и рисков горного проекта.

Для золоторудных месторождений КР по методам геотехнологии карьерных и подземных, установлены значительные изменения прибыли в зависимости от среднего содержания золота и цены на золота, соответственно таблица 1 и таблица 2(налоги с ВД по градации цены золота, соотвественно 6, 16 и 25%. В таблицах 3 и 4 приводится коллизионный источник собственности и разделения денежных потоков от горного проекта- по соотношению чистой прибыли инвестора к выплате налогов, в %[9]

Таблица 1. – Сравнительные параметры валовой рентабельности продукта по градации среднего содержания, г/т и цены на золото (ОГР),%

Цена	Ед.изм	1г/т	2г/т	4г/т	6 г/т	8г/т	10г/т
1200$/oz	%	-50,9	-14,4	62,9	132,9	196,7	255,1
1800$/oz	%	-32,4	11,3	88,9	146,2	190,1	225,0
2700$/oz	%	-11,5	34,7	101,5	141,5	168,0	187,0

Таблица 2. – Сравнительные параметры валовой рентабельности продукта по градации среднего содержания, г/т и цены на золото (ПГР),%

Цена	Ед.изм	1г/т	2г/т	4г/т	6 г/т	8г/т	10г/т
1200$/oz	%	-75,1	-35,0	25,2	80,9	132,8	181,2
1800$/oz	%	-64,3	-39,0	11,2	53,2	88,9	119,5
2700$/oz	%	-50,2	-42,1	1,1	34,6	61,4	83,3

Таблица 3. - Сравнительные параметры отношения прибыли к налогам, при градации среднего содержания золота и цены на золото(ОГР),%

Цена	Ед.изм	1г/т	2г/т	4г/т	6 г/т	8г/т	10г/т
1200$/oz	%	-1730,8	-279,9	643,4	951,1	1105,0	1197,4
1800$/oz, налоги с ВД 16%	%	-299,4	63,4	294,2	371,1	409,6	432,7
2700$/oz, налоги с ВД 25%	%	-51,7	103,0	201,5	234,3	250,8	260,6

Таблица 4. - Сравнительные параметры отношения прибыли к налогам, при градации среднего содержания золота и цены на золото (ПГР),%.

Цена	Ед.изм	1г/т	2г/т	4г/т	6 г/т	8г/т	10г/т
1200$/oz	%	-5031,9	-896,8	334,9	745,5	950,8	1074,0
1800$/oz	%	-1124,6	-398,8	63,1	217,1	294,1	340,2
2700$/oz	%	-403,8	-291,2	4,4	102,9	152,2	181,8

Ранее при анализе крупнейшего горного проекта в КР- золоторудное месторождение Кумтор, были установлены причины перманентной коллизии рисков реализации горного проекта на протяжении 25 лет. Основным диагностическим признаком была констатирована фактическое отсутствие равенства сторон проекта в вопросах собственности (владения, пользования, распоряжения и управления горным проектом) в рамках юридически гражданско-правового и позднее публичного юридических договорных режимов. В первую очередь неудовлетворенность разделением чистых денежных доходов включая различные модели налогового режима от реализации проекта. Определено, что источником противостояния были не юридически выверенно описанные права и обязанности сторон, а искажения при реализации перечисленных основных атрибутов категории собственности. Так сосредоточение критерия управления, в рамках концессионного, инвестиционного соглашений и договора управления через формально правовой реализации принципа управления со стороны инвестора приводило к искажениям в критериях распоряжения и пользования. Что выражалось в излишне завышаемых коэффициентов рисков по всем аспекта проекта и соответственно занижения основных параметров рудника(среднее содержание золота, запасы, доходы, прибыль). В свою очередь, институциональная опора владельца ресурсов- КР на критерий собственоcти- владение, привело к многочисленным спорам о распределении прибыли, при многократных внесениях в налоговый режим горного проекта[6].

Приведенные в таблицах 1-4 расчетные параметры валовой рентабельности продукта при анализе по градации средних содержаний золота и по рыночной цене золота, показывают, что действующее законодательство о недрах и налоговый режим ни в коей мере не разрешил эти вопросы в недропользовании КР.

В связи с изложенным исследованиями [9] выделены новые концепции, категории и принципы для обоснования новых подходов к договорному режиму недропользования в КР на основе: нормированной прибыли, дифференциальной горной ренты I и II родов годных для определения границ ценности и монетизации горных проектов и разработки института договорного режима недропользования в КР.

Глава 2. Обзор теории и методологии типов договоров недропользования.

Лицензионное право недропользования относится к разрешительно-лицензионной системе Кыргызской Республики и определяет взаимоотношение государства и частного сектора. Реализуется через административные и административно-общественные процедуры (аукцион, конкурс)[3].

Административный порядок распределения пользования недрами определяется возникновением прав на пользование после решения уполномоченного органа, оформленное решением и выдачей установленной формы бланка-лицензии и лицензионного соглашения.

Последнее является неотъемлемой частью лицензии и кроме формальных данных определяет (статья 32): «5) целевое назначение работ; 6) порядок и условия пользования недрами; 7) сведения о передаче лицензии на право пользования недрами в залог; 8) сроки отчетности; 9) дополнительные сведения и условия», [3]. Договор не корректирует административный режим права пользования недрами. Соглашение не обладает сущностью гражданско-правовой сделки.

Подобную конструкцию лицензирования А.Б. Пешков определял как «правовой режим лицензионной деятельности является специальным административно-правовым режимом, для которого характерно наличие волеизъявления субъекта на добровольное приобретение специального статуса, в структуре которого отмечается преобладание позитивных обязанностей, что характерно для административно-правовых отношений» [10].

Таким образом, государство в лицензионном правовом режиме выступает как субъект власти, собственник с использованием преимущества властного положения. Государство регулирует право пользование недрами - сущность гражданско-правовых отношений, но как следствие такой порядок вбирает в себя регулирующие правовые отношения и генерирует противоречия при применении [11].

Институт лицензирования не в полной мере предоставляет пользователю недр необходимые гарантии и не обеспечивает эффективного использования недр. Возможно, в силу слияния понятий «лицензия» и «разрешение» [12]. Действующее лицензионное соглашение, как неотъемлемая часть лицензии, директивно и императивно вводит элемент договорных правил, но без самого обсуждения и договора со стороны держателя лицензии. Договорные отношения по лицензионному режиму, фактически определяется разрешительным режимом системы лицензирования.

Экономическая ограниченность лицензионного режима констатируется Дроздовым И.А. «При лицензионной системе экономическая ценность прав недропользования состоит лишь в тех правомочиях, которые предоставляются самому недропользователю в отношении участка недр… добывать полезные ископаемые, осуществлять их продажу третьим лицам, получая тем самым определенный доход. Между тем права недропользователя как таковые активом не являются, поскольку в обороте не участвуют. В отличие, например, от права аренды, они не могут быть предметом ни залога, ни уступки. Это сдерживает привлечение недропользователем банков и иных кредиторов, которые могли бы проинвестировать проект, но готовы делать это лишь при условии предоставления надежного обеспечения исполнения кредитного обязательства путем залога соответствующего права. Чем более свободно права участвуют в обороте, тем выше их рыночная стоимость и прозрачнее механизм её определения, а, следовательно, тем большие инвестиции могут быть привлечены не только собственно в разработку месторождения, но и на создание инфраструктуры» [13].

Для договорного режима недропользования в соответствии со сложившейся практикой в горном мире рассматриваются и разрабатываются четыре основных аспекта:

- Типы договоров;
- Собственность на недра, продукт недр, инвестиции и горное имущество;
- Инвестиционное право и правовой режим договоров;
- Налоговый режим и монетизация предпринимательских результатов разработки месторождений.

Договорной режим недропользования практически во всех странах опираются на следующие типы:

- Концессионный,
- Соглашение о разделе продукции (СРП),
- Сервисного соглашение.

В зависимости от истории развития права и источников правового режима в разных странах приведенные типовые соглашения имеют свои особенности регулирования недропользования при разграничении и применении [14]. С.А. Сосна [15] «СРП можно рассматривать как специфическую разновидность недропользовательской концессии», но не тождественно, так как «по своей экономической сущности и, прежде всего, по характеру отношений собственности СРП не концессионный договор» Выделяются две основные позиции разделения концессии и СРП. Первая изучена в работах Дж.Бероуза[16], Д.Джонстона,[17] О.Н. Садовиновой[18] которые разграничивают эти типы договоров считая их самостоятельными формами (Барроуз, Джонстон, Савинова). Вторая представляется как СРП это разновидность концессионного договора(Н.В. Курысь, Н. Г. Доронина, Б.Д.Клюкин, Д.М.Амунц)[19, 20,21,22]. А.В.Богдасаров[13] сравнивая СРП и горные концессии указывает, что первоначально их различали на основе предоставления прав собственности на недра- концессия предоставляет, а СРП нет(в связи с чем рассматривается как подрядные . Так Горный Закон ФРГ предусматривает, что владелец лицензии на право разработки может ходатайствовать о получении права собственности на горное предприятие. По Горному Кодексу Франции, 1994, так же представляется право собственности концессионеру. Т.е. определяется право добывать ископаемые и право распоряжаться добытыми ресурсами [21]С.А. Сосна отмечает, что « право горной собственности на недра представляет собой максимально возможную степень его приближения к подлинному праву собственности, наделяя недопользователя всеми полномочиями собственника, за исключением право отчуждать горную собственность, и это существенно отличает данное соглашение от СРП»[15]

Модернизированные концессии основаны на СРП, и предусматривает получение прав собственности на полученную продукцию, но собственность на недра остается за государством, т.е концессионер получает только право пользования [23]

Сервисные соглашения некоторые исследователи относят к типам концессионного договора (Д.М. Амунц, Я.О Золоева) ссылаясь на наличие в этих типах режимов «исключительность объектов собственности» -участие государства как особенного объекта гражданского права. В частности, контракты включают отдельные изъятия из национального гражданского законодательств по отношению к финансовым отношениям государства и инвестора и наличие государственного разрешительного акта в соглашениях [22]. Что по мнению исследователей может свидетельствовать об отнесении всех трех перечисленных типов договорного режима к категории инвестиционных контрактов между государством и частным лицом и инвестиционные права и титулы, юрисдикция и т.д. должны быть общими и максимально приближенными к общемировым для всех видов договоров и инвестиционных контрактов с разделением природы и специальных условий контактов. В частности, Клюкин сервисные контракты без риска относит к разряду подрядных и имеет специфику только в условиях оплаты услуг инвестора[19].

Богданов, отмечает различия в характеристиках степени публично-правовых условий и считает, что сервисные контракты, концессионные договоры и СРП возможно отнести к категории инвестиционных контрактов, в регламентации которых должны применяться положения касающиеся гарантий защиты инвестиций, возможность отказа от судебного иммунитета

Вопросы собственности на недра, продукт, добытый из недр, горное имущество фактически являются вопросами гарантий инвестиций и разрешаются в рамках формирования гражданско-правовых условий договорного режима.

Я.О. Золоева, М.М. Бринчук, С.И. Крупко относят перечисленные типы договоров к гражданско-правовому режиму[23,24,25]. В исследованиях Б.Д. Клюкина, Т. В. Шадрина, А.Г.Богатырева, А.Свена, Дж.Мёрфи[20,26,27,28] договора недропользования относят к группе особого рода(suigeneris) инвестиционных договоров. Так же есть мнение С.А.Сосны[15] и др., относят их к группе предпринимательских договоров. Западные ученные Ч.Ч. Хайд, Хименес де Арчака, McDougal M.[29,30,31] считают, что подобные договора относятся к группе международного права. В практике постсоветских стран ряд исследователей в том числе Кыргызстана на основе множественных юридических и судебных коллизий, значительной доли влияния и вмешательства государственных органов в деятельность горных компаний считают, что договорные режимы недропользования во многом унаследовали и несут в себе административно-правовые условия [6].

Экономико-правовая коллизия базируется на законодательной декларации об исключительной государственной собственности на ресурсы недр. Правовыми нормами и подзаконными актами государство осуществляет свое право собственности через контроль и учет недропользования, в том числе заключение договоров и внесение в них правок и корректировок через государственные уполномоченные органы. Чем определяется правовой режим недропользования не только лицензионного режима, но и договоров о недропользовании, а также интерпретацию и толкование норм собственности на ресурсы недр, землю, продукт горной разработки и инвестиции через установление налогового режима. Гражданско-правовой режим договорных отношений противоречит отсутствию равенства субъектов договора государства и частного или институционального инвестора.

Очевидно, что основным юридическим актом недропользования является договор, при котором возникают и закрепляются предмет, субъект, права и обязанности регулируются отношений сторон. В том числе собственности, раздела дохода от проекта на налоги, платежи и инвестиции, оценка и разделение рисков. При равенстве сторон к деловой практике и ответственности арбитражного спора формируется гражданско-правовой режим договора.

В.В.Анохина, М.И. Брагинский, А.В. Майфат, [32,33,34] считают инвестиционный договор как отдельные вид договора, возникающий из других заключаемых контрактов между инвестором и п получателем инвестиций. В.Н.Лисица [35,36] относит такой тип договоров к новому типу гражданско-правового договора, которое складывается между субъектами инвестиционных отношения. В. Гущин[37] считает инвестиции как эквивалент денежным отношениям. И третья позиция под инвестициями понимают все объекты гражданских прав- имущества (материальные и денежные средства, ценные бумаги и иное имущество и имущественные права , включаемое в инвестиции при совершении инвестиционной сделки. Т. е. экономически инвестиции — это передача имущества в обмен

на получение прибавочного продукта, прибыли. И влечет объединение в понятии имущества как объект инвестиций и самого инвестиционного инструмента. Выделяется, что важным качеством инвестиций являетя оборото способность и ценность. Инвестора понимает, что после передачи имущества и имущественных прав они являются инструментом для получения прибыли. В исследованиях рассматривается вопрос о праве собственности на инвестиции или достаточно передачи права распоряжения инвестициями. О.М.Антипова, считает, что вид права которым обладает инвестор относительно, инвестиции не является ключевым моментом, главное это наличие у инвестора правомочия на осуществление таких вложений [38].

Сущность инвестиционной деятельности изучается экономистами и представляется как процесс движения капитала. Признаки инвестиционной деятельности определяются как срок от момента вложения до момента получения прибыли и отсутствие гарантий получения прибыли. Величина вознаграждения инвестора остается не известно ни протяжении инвестиционного процесса [38].

Природа инвестиционных отношений И.З.Фархутдинов и В.А. Трпезников относятся правовое содержание инвестиционных правоотношений и инвестиционной деятельности как разновидность гражданско-правовых отношений и обладают общими чертами. В этой связи определяются как общественные отношения, связанные с инвестициями и инвестиционной деятельностью, которые регулируются нормами гражданского права с результатами у участников этих отношений в виде имущественных и личных не имущественных прав и обязанностей [38, 39].

Спецификой инвестиционного соглашения должны определяться следующие основные элементы: инвестиционный проект и его параметры; оценка стоимости; затраты, доход и прибыль; налоги и платежи; собственность на объект инвестиций и субъекты инвестиционной деятельности; сроки; риски; ответственность; порядок разрешения споров и юрисдикция, в том числе возможность отказа от суверенного права.

Глава 3. Результаты работ

3.1 Концепция, категории, принципы.

А. Исходные положения:

- законодательством Кыргызской Республики не предусмотрены условия возможности компенсаций для разработки с отрицательной рентабельностью или без налогового режима;
- отмена или ограничение в применении налогового режима могут быть обусловлены только решением Правительства Кыргызской Республики, ратифицированным Жогорку Кенешем Кыргызской Республики - форма закона;
- специальное законодательство в условиях отсутствия прецедентов разработки в указанных условиях и параметрах не может быть разработано, включая регулирующие и управляющие нормативные акты. Следовательно, каждый из рассматриваемых объектов должен рассматриваться обособленно;
- риски подобных горных проектов по экономическим, горно-геологическим, технологическим и другим аспектам действующим законодательством о недрах в Кыргызской Республике возлагаются на инвестора;

- разделения долевой собственности на объекты должны сопровождаться пропорциональным риском сторон;
- категория горной ренты и её составляющих - абсолютной ренты, дифференциальной ренты I и дифференциальной ренты II - не рассматриваются законодательством и нормами Кыргызской Республики;
- нормирование прибыли не рассматриваются законодательством и нормами Кыргызской Республики;
- долевая собственность в горных проектах с разделением продукции на условиях оценки рисков и отрицательных показателей экономики горного проекта не рассматривается в законодательстве и нормами Кыргызской Республики;
- геолого-экономическая, промышленная оценка месторождений с указанными параметрами не может быть произведена на основе применяемой практики оценки и подсчёта запасов. Запасы месторождений не могут быть отнесены к балансовым и учтены государственным балансом, следовательно, не могут быть распределены для разработки;
- выделение отдельного контура с доступными по экономическим соображениям запасам влекут за собой последствия в виде возможной интерпретации об избирательной добыче, что прямо противоречит принципам охраны недр в Кыргызской Республике.

Вывод: исходя из изложенных пунктов (не исчерпывающий список) исследуемые месторождения не могут быть объектом рассмотрения и вовлечения в эксплуатацию на основе действующего свода нормативно-законодательных актов Кыргызской Республики. Следовательно, предпринимательская деятельность с подобными объектами не имеет юридических последствий в случае инвестиционных вложений в их реализацию.

В. Концепция и внедряемые экономические категории:

- отказ от налогового режима при оценке и реализации проектов с отрицательной рентабельностью.
- оценка и внедрение специальных экономических механизмов для этих горных проектов;
- регулирование этих проектов путём установления изолированного договорного режима гражданско-правового типа, санкционированного специальным актом законодательства на основе новых категорий и норм (оценка и расчётная методика горной ренты по родам, и нормы прибыли);
- отказ от судебного иммунитета государства в пользу юрисдикции международного арбитража при разрешении споров с инвесторами по таковым договорам;
- земельный отвод, выделенный как земли промышленности, и наделение проекта готовым контуром, включая горный отвод;
- специальное договорное разделение платежей и местных налогов между республиканским и местным бюджетами для поддержки лояльности местных общин в ареале разработки;
- корпоративное управление проектами (возможно, с внедрением сертификации профессиональной компетенции для высшего управленческого звена горного проекта);

- применение расчётных параметров горной ренты, нормирования прибыли - премии за капитал;
- бизнес-процессы и оптимизация периода оборота рабочего капитала;
- разделение долевого участия и разделение рисков пропорционально доле инвестиций.

C. Специальные механизмы договорного регулирования проектов:

- горная рента;
- дифференциальная рента II, собственность инвестора, операциониста. Расчётная категория прироста прибыли на инвестиции за счёт технологических инноваций;
- раздел дифференциальной ренты II от собственных оборотных средств и пропорционально доле в оборотных средствах;
- дифференциальная рента I. Собственность владельца ресурсов (Кыргызской Республики);
- нормирование прибыли. Расчётно-договорной параметр границы прибыли на капитал;
- повышенные нормы прибыли для до окупаемости заёмного внешнего капитала;
- дополнительная прибыль (от рентабельности) за сокращение периода оборачиваемости оборотного капитала относится к дифференциальной ренте II;
- премия за капитал. Сумма горной ренты II и нормированной прибыли;
- соглашения сервисного типа с риском и\или без риска - инвестиционный договор;
- совокупный экономический эффект для Кыргызской Республики. Макроэкономические эффекты региональные и страновые. Оставленная стоимость;
- разделение продукта эксплуатации недр в денежном эквиваленте по долевому участию собственного капитала сторон;
- разделение риска долевого участия;
- отрицательные и положительные значения экономических параметров реализации горного проекта.

D. Принципы соглашений:

- прямого действия;
- автономного регулирования и управления горными проектами;
- соглашение как часть правовой системы Кыргызской Республики - законодательный принцип;
- прозрачность, включая исчерпывающий перечень обязанностей инвестора, не подлежащий расширительному толкованию;
- стабильность основных механизмов и договорных норм на период до завершения горных проектов.

E. Процедуры:

- геолого-экономическая (промышленная) оценка запасов месторождения;
- согласование ТЭО и/или экспертная оценка;
- расчетные параметры экономических показателей горного проекта, методом затрат (доходов) – затраты, доходы, прибыль. Горная рента, параметры прибыли с/или без учета налогового режима;
- научно-исследовательские и опытно-экспериментальные обоснования геотехнологий, геотехники, технологии извлечения, производительности и др. для определения дифференциальной ренты II;

- расчетные работы, обоснование параметров нормирования прибыли и премии за капитал;
- выбор организационной формы договорного режима: инвестиционный сервисного типа с риском или без риска, с учётом или без учёта долевого участия сторон;
- выбор и обоснование операционной компании;
- корпоративное управление;
- разработка и обоснование бизнес-процессов геологического, горного, технологического, логистического и экономического аспектов;
- утверждение договора Правительством Кыргызской Республики, ратификация договора в парламенте Кыргызской Республики;
- разработка и обоснование банковского ТЭО;
- определение источника или источников финансирования.

Реализация перечисленных требований, в первую очередь, потребует анализа и норм регулирования, и управления в части нормирования прибыли и дифференциальной ренты II. Общее описание сервисных соглашений и понятия риски

3.2. Основные структурные элементы (метод рекомендации и инструкции, типовой договор

1. Типовой договор и регулирующая документация в виде инструкций, методических рекомендаций отражают:

- Оценка и расчетные показатели собственности на ресурсы недр, продукт разработки и горное имущество;
- Определяет долю участия сторон в инвестиционном и\или операционном проекте разработки м.п.и. через оценку стоимости и ценности проекта с применением инструментов нормированной прибыли, горной ренты;
- Разделение дохода и прибыли осуществляется по оцененным, расчетным обоснованным показателям дифференцированной горной ренты I рода для собственника ресурсов- КР; дифференцированной горной ренты II рода на инвестиционный капитал и нормированной прибыли на операционные затраты(инвестиционный капитал и\или привлеченный операционист);
- Замена налогового режима на распределение монетизированной прибыли от горного проекта на основе инструментов нормированной прибыли; горной ренты I и II;

2. Типовой договор и имплементированные инструкции и методические рекомендации, как регламентная документация по оценке, разработке и заключению Сервисного соглашения принимаются в виде Закона КР о договорном режиме недропользования!
3. Концепции для создания договорного режима с операционными, собственностью-инвестиционными элементами;
4. Разделение рисков горного проекта пропорционально распределению собственности на продукт переработки;
5. Стабилизация законодательства и нормативных актов Законов, применяемых в полном объеме и\или принятой в соглашении части;

Приложения (не исчерпывающий список имплементировнных норм регулирования и упрпвления соглашений по договорному режиму)

1. Инструкция применения методик геолого-экономической оценки м.п.и.
2. Инструкция разработки, заключения и определения показателей соглашений сервисного типа с риском, без риска и со смешенным риском.
3. Инструкция исчисления и управления показателями нормированной прибыли.
4. Инструкция по оценке базовых показателей среднего содержания и цены на полезный компонент в целях исчисления дифференциальной ренты I и II.
5. Инструкция методов оценки и исчисления горной ренты I.
6. Инструкция по оценке и исчислению дифференциально ренты II
7. Инструкция оценки и отчетных данных результатов годовых горных работ (добыча, переработка, продажи).

3.3 Правовые основы соглашения

Правовой основой деятельности, управления и регулирования горного проекта в договорном режиме являются нормы самого Соглашения и имплементированные нормы(инструкции и методические указания), в полной мере применяются нормы законодательных актов перечисленных ниже и\или отдельны нормы и акты описанные в Соглашении, с изъятием из законодательной и нормативной сферы соглашений норм описанных отдельно(не исчерпывающий список):

1. Конституции КР-применяется в полном объеме;
2. Гражданского Кодекса КР-применяется в полном объеме;
3. Закона об инвестициях в КР-нормы законодательства, не включенные в Соглашение, применяются в полном объеме;
4. Закона о Недрах в КР- отказ от Законодательства и регулирующих нормативных актов, кроме описанных в Соглашении(охрана недр, рекультивация);
5. Закон о концессии в КР- отказ в полном объеме;
6. Закон о соглашении о разделе продукции-отказ в полном объеме;
7. Законодательства о труде в КР-применяется в полном объеме;
8. Закона о социальном фонде КР- применяется в полном объеме;
9. Налогового Кодекса КР-отказ от применения налогового режима, кроме подоходного и социальных отчислений;
10. Экологического Кодекса КР-применяется в полном объеме;
11. Закон о технической безопасности в КР-применяется в полном объеме;
12. Закона о воде в КР-применяется в полном объеме;
13. Земельного Кодекса КР- после закрепления в Соглашении земельного участка-отказ от норм Кодекса, кроме текущих платежей;
14. Закон о международных договорах КР-отказ от законодательства, кроме норм, внесенных в Соглашение.
15. Проект закона о договорном режиме недропользования в КР.
16. Проект закона сервисного соглашения без риска
17. Проект закона сервисного соглашения с риском
18. Проект закона сервисного соглашения со смешанным риском

19. Проект закона методов и инструментов оценки, расчетов, отчетных материалов к Сервисным соглашения с риском, без риска и смешенным риском(приложения: инструкции, методические руководства)

4. Концептуальный план типового соглашения сервисного типа со смешанным риском.
Концептуальным планом в рамках Операционного Сервисного Соглашения со смешенным риском предложен концепции и принципы отражающие сложившиеся в юридической практике основные положения концессионного, инвестиционного, предпринимательского контрактов в рамках гражданско-правовых условий реализации права собственности, достижения максимально возможного экономического эффекта для собственника ресурсов-КР и премии на инвестиционный капитал, на основе необходимых и достаточных законодательных и практических экономических гарантий. Концептуальные категории предложены на основе исследований горной отрасли КР. [39-44]

4.1. Глава 1. Общие условия. Дефиниции.
Ст. 1 Заверения сторон-заявления сторон;
Ст.2 Определения;
Ст. 3 Приложения;
Ст. 4. Цели сторон.
4.2 Глава 2. Правовые основы Соглашения.
Определение правовых основ деятельности инвестиционного проекта-гарантии сторон для описания, закрепления прав владения, пользования, распоряжения и управления собственностью на ресурсы, на инвестиции, на продукты проекта, на горное и другое генерируемой проектом имущество; на прибыль от реализации горного проекта; гарантии инвестиций, собственности.

Перечень применимых базовых правовых основ Соглашения. В первую очередь нормативных актов договорного режима недропользования. Применение основных принципов и категорий законодательства для разрешения основных инвестиционных условий: права владения, распоряжения, пользования и управления. Изъятия из действующего законодательства КР. Ограничения применения некоторых категорий и статей законодательства КР. Определение границ административного и корпоративного влияния на ресурсы, инвестиции; методы оценки и расчета ресурсов, инвестиций, затрат, дохода и прибыли; методы оценки границ и расчета распределения рисков, монетизация долевой собственности в горном проекте. Определяется прямыми прописями и прямым действием.

Ст.1 Настоящее сервисное соглашение со смешанным риском заключено на основе перечисленных ниже законодательных актов. Соглашение сервисного типа с соответствии с Законом о договорном режиме, ст2 и Закона о Соглашениях сервисного типа, ст.3 и Закона о нормативных актах регулирования и управления Соглашениями сервисного типа является подзаконным актом(при утверждении ЖК КР- Законом КР) и является основным законодательным актом автономного управления и регулирования горного проекта на основе перечисленных(исчерпывающий список) правовых актов- Законов КР;
Ст.2. предварительно- Закон о договорном режиме недропользования КР;
Ст.3. предварительно- Закон о Соглашении сервисного типа со смешанным риском;
Ст.4. Предварительно- Закон о нормативных актах регулирования и управления Соглашением сервисного тип;

Ст.5. Постановление Правительства КР о заключении настоящего Соглашения-тип, номер постановления, на основе Закона о Соглашении сервисного типа со смешанным риском. Закрепление Соглашения в виде Закона КР.

Ст.6. Законы КР регулирующие Соглашение в полном объеме, без изъятий

Ст.7. Инструкции и методические рекомендации, регулирующие Соглашение без изъятий.

Ст.8. Закона КР регулирующие соглашение с изъятиями, список изъятий.

4.3. Глава 3. Объект соглашения и субъекты соглашения.

Определение объема и границ собственности сторон в инвестиционном проекте через описание титула на ресурсы-признаки концессионного соглашения

Определение пространственных и титульных границ месторождения, полезное ископаемое и\или перечень создаваемого горного имущества для основных и сопутствующих извлекаемых и\или не извлекаемых полезных и вредных компонентов. Стороны бенефициаров горного проекта и сторон заключения Соглашения. Третьи лица-операционные и финансовые, инвестиционные, технологические стороны и границы их влияния на собственность на проект и распределение результатов реализации горного проекта. Уполномоченные представители собственника ресурсов и уполномоченные и\или привлеченные представители инвестиционной и\или операционной сторон. Определение границ собственности сторон в инвестиционном проекте.

Ст.1 Месторождение, координаты угловых участков;

Ст.2. Полезное ископаемое, сопутствующие компоненты; Протокол ГКЗ КР апробированных запасов месторождения;

Ст. 3. Акт выделения земельного участка под горный отвод рудника;

Ст.4. Уполномоченное лицо КР, постановление ПКР на подписание Соглашения

4.4 Глава 4. Инвестиционные цели соглашения. Предмет соглашения.

Показатели горного проекта по запасам, NPV, IRR и др. календарный график, годовые планы горных работ, финансово-экономические планы проекта и годовых показателей. Годовой и на горизонт планирования объемы добычи, переработки, извлечения. Геотехнология, технология, экономика. На основе приложения №1-инструкци по оценке и методикам геолого-экономической(промышленной) оценке месторождений полезных ископаемых КР.

Ст.1. методика и показатели геолого-экономической оценки, коды(ГКЗ КР, JORK, N43-101NI и др.).

Ст.2 Экспертное заключение ГЭО, цена оценки, вариативность по изменению цены продукта;

Ст.3 Запасы и ресурсы, классификация запасов;

Ст.4 Оценка прогнозных ресурсов, геологоразведочные работы и оценка прироста запасов.

Ст.4 Геотехнология (ОГР, ПГР, комбинированная)

Ст.5 основные показатели годовых и на горизонт планирования горных работ(ГКР, ГПР, ОР);

Ст.6 Затраты горных работ в удельных единицах на тонну руды;

Ст.7 Эксплуатационная и товарная руда; Потери и разубоживание;

Ст.8 Обогащение, коэффициент извлечение; затраты обогащения и извлечения;

Ст.9 годовой и на горизонт планирования показатели выхода продукта. Качество продукта;

Ст.9. Экономические показатели проекта доход, затраты, прибыль, обязательные налоги и отчисления;

Ст.10 горно-геологические, экономические, экологические риски;
Ст.11. утвержденный коэффициент дисконтирования и оценка проекта по NPV и IRR;
Ст.12. Финансово-экономический план, календарный план работ
Ст.13. Стоимостная оценка горного проекта.
Ст.14 Отчетность годового плана добычи и переработки; Сопоставление годовых разведочных и эксплуатационных запасов, затрат, прибыли.

4.5 Глава 5. Собственность сторон соглашения. Имущественные права.

Определение собственности на ресурсы недр, землю, воду, экология, передаваемое имущество сторон, возникающее новое горное имущество. Реализация прав собственности.
Ст.1 Собственность на ресурсы недр;
Ст. 2. Определения, дефиниции понятий, методов и инструментов определения и оценки.
Ст.3 Передаваемое имущество собственника недр- КР(информация о недрах, базы данных, результаты исследований; другое материальное и информационное имущество). Методы оценки, оценщик, Результаты оценки, акт передачи;
Ст.4 Передаваемое имущество инвестора(материальное и технологическое-интеллектуальное имущество, результаты исследований, ноу-хау и т.д.); денежные средства.
Ст.5 Оценка и объем инвестиционных средств на реализацию горного проекта от собственника;
Ст.6 Оценка и объем капитала горного проекта при оценке горной ренты I рода как инвестиционный капитал собственника- КР;
Ст.7 Оценка и объем инвестиционных средств на реализацию горного проекта от инвестора и\или корпоративного инвестора;
Ст.8 Оценка и объем капитала горного проекта при оценке горной ренты II рода как инвестиционный капитал инвестора и\или инвестиционного института;
Ст.9. Оценка и разделение долевого участия сторон в капитале горного проекта- оценка долевой собственности проекта;
Ст.10. Методы и инструменты, объемы, оценка наращивания капитала горного проекта для собственника недр КР и инвестора и\или инвестиционного института; прирост запасов в результате разведки; наращивание запасов от экономического, производственного и технологического эффекта при снижении промышленных кондиций и минимально-промышленного содержания; наращивание оборотного капитала от сокращения оборачиваемости капитала; наращивание обортного капитала от производительности добычных и технологических работ.
Ст.11. Декларация долевой инвестиционной собственности сторон в горном проекта.
Ст.12. Методы контроля, оценки и отчетности(годовой).
Ст.13 Оценка рисков горного проекта
Ст.14. Распределение рисков между сторонами.

4.6. Глава 6. Корпоративное и операционное управление

Реализация одного из аспектов категории собственности через право управления.
Ст.1 Цель корпоративного управления;
Ст.2 Полномочия совета директоров
Ст.3 Структура корпоративного управления и финансирование-источники, объем;

Ст.4 распределения голосов (КР и инвестора, и привлеченные независимые) и выборность членов корпоративного управления;
Ст.5. Выборы директоров;
Ст.6. Распределение обязанностей в совете директоров;
Ст.7. Общее собрание;
Ст.8. Оперативное управление, цели и задачи;
Ст.9. Методы подбора и назначения состава операционного управления;
Ст.10. Полномочия членов операционного управления;
Ст.11. Срок полномочий, вознаграждение, ответственность членов оперативного управления.

4.7. Глава 7. Операционная деятельность по соглашению

Собственная, привлечённая компания или совместная компания для операционной деятельности. Источник, объем и сроки оплаты операционной деятельности. Нормированная прибыль на операционные затраты определяется методами [41] и может варьировать от 3 до 17–20% от операционных затрат. Методы поощрения и\или сокращения нормированной прибыли от результатов производственной, технологической, экономической деятельности рудника определяется шкалой коэффициентов по шкале [41]. Элементы предпринимательского контракта.
ст.1 Цели и задачи операционной компании;
Ст.2 Акции или долевое участие сторон в операционной компании(100% собственника ресурсов КР(привлеченная, подрядная или созданная собственников) или 100% собственность инвестиционной стороны(привлеченная, подрядная и хозяйственным способом); или смешанная с долевой собственностью КР и инвестора(привлеченная, подрядная или созданная сторонами)
Ст.3. Права и обязанности операционной компании;
Ст.4. Управление операционной компании;
Ст.5. Методы и объемы финансирования операционной компании(метод нормированная прибыль от операционных затрат, определяется по методике.
Ст.6 Оценка производственной, финансовой деятельности операционной компании.
Ст.7 Методы и объема поощрения и\или снижения коэффициента нормирования прибыли по результатам работ.

4.8 Глава 8. Финансирование инвестиционной деятельности

Виды, объемы и источники инвестиций, направление, распределения по этапам. Оценка и расчет премии за инвестиционный капитал.
Ст. 1 потребность финансирования на горизонте планирования и по этапам
Ст.2. Капитал строительства.
Ст.3 Капитал на развитие и поддержание
Ст.4 Методы и параметры аммортизации
Ст.5 Рабочий капитал
Ст.6 Капитал на операционные затраты.
Ст.7 Источники капитала собственника
Ст.8 Источники капитала инвестиционного
Ст.9.Источники капитала совместного
Ст.10 Источники и параметры привлеченного совместного капитала

Ст.11 Рабочий и оборотный капитал.
Ст.12 Оборачиваемость капитала
Ст.13. Методы бухгалтерской отчетности (МФСО).
Ст.14 Методы оценки прибыли;
Ст.15 Распределение рисков(курсовая разница, процентные выплаты по кредитам и т.д.)

4.9. Глава 9. Распределение дохода инвестиционной деятельности. Норма прибыли, рента I, рента II. обязательные платежи и отчисления

Основные базовые категории для концепции договорного режима недропользования в КР. В целях определения ценности месторождения, оптимизации затрат на операционную деятельность, разделения ценности ресурсов недр между собственником КР и инвестиционной стороной. Возможность создания института долевой собственности в горном проекте между собственником и инвестором. Инструмент получения максимальной доли от ценности и стоимости ресурсов недр. Институциональная новизна для мотивации инновационных технологий. Инструмент увеличения интереса инвестиционного института страны и мира в разработке ресурсов недр КР. Инструмент привлечения высококвалифицированных горных компаний в разработке ресурсов недр КР. Инструмент для вовлечения в эксплуатацию месторождений бедных руд. [39-44].

Ст.1. Методы и инструменты расчета и оценки нормированной прибыли операционной деятельности;
Ст.2 Методы и расчет оценки дифференциальной ренты I рода на собственность на ресурсы-КР;
Ст.3. Методы расчет оценки дифференциально ренты II рода на инвестиционный капитал;
Ст.4 Методы оценки и расчета границ ренты I и II, выплаты ренты сторонам;

4.10 Глава 10. Привлечение дополнительного финансирования и третьих сторон инвестирования

Привлечение третьих сторон в горный проект на основе инвестиций, выкупа доли собственности в проекте, переуступка права востребования задолженности; в соответствии с общепринятой юридической практикой и регулируется Гражданским Кодексом КР или применимой практикой.

4.11. Глава 11. Обязательства сторон

В соответствии с общеприменимой практикой

4.12. Глава 12. Сроки и этапы проекта

В соответствии с положениями Главы 4- Геолого-промышленная оценка, проект разработки месторождения, расчетными и договорными параметрами горизонта планирования.

4.13. Глава 13. Разрешение споров и юрисдикция. Изменения соглашения.

Ст. 1. Урегулирование споров. Суды Кыргызской Республики. Выбор международной юрисдикции (процедуры по ООН инвестиционных споров).
Ст.2. Экспертизы. Арбитражная экспертиза. Экспертный совет. Экспертное заключение ГКЗ Кыргызской Республики (ассоциации, компетентные лица, эксперты недр и т.д.).

Глава 3. Международные договора, заключенные Кыргызской Республикой в части регулирования и управления Соглашением, имеют приоритетное правовое применение к законодательным актам КР.

Заключение и обсуждение.

1. Модель объединяет характеристики, признаки и атрибуты: концессионного, предпринимательского- операционного и инвестиционного договоров в модели сервисного соглашения со смешанным риском на основе гражданско-правового регулирования.

2. Гражданско-правовые отношения выстроены на основе: a) равенство сторон в имущественных отношениях, соответственно ответственности; b) диспозитивности правовых отношений (разрешено все что не запрещено); c) правовая организация автономного соглашения строится на основе благоприятную сферу субъектов прав- дозволения, запреты и обязывания при равенстве имущественных отношений и др.

3. В том числе имущественное равенство, соответственно и равенство субъектности устанавливается через прозрачное, расчетное и обоснованное равенство взноса имущества в горный проект- расчеты доли собственности владельца ресурсов в инвестиционный взнос через расчеты и обоснование горной ренты I рода. За природные свойства месторождения (выше базового среднее содержание золота; благоприятность геотехнологии; и цены на продукт выше средне-базовых показателей; могут быть применены и другие физико-географические(абсолютная высота над уровнем моря близость к инфрастуктурным узлам) и инфраструктурные условия(наличие линий электропередач, энергоресурсы, дороги) и др. Расчетное равенство оценивается на основе оценки по модели горной ренты I в инвестиции, т.е. совместное имущество и имущественный взнос инвестиционной стороны(денежный, имущество-техника и оборудование, технологические инновации и др).

4. На основе концепции и подхода перечисленные в п.3, устанавливается и равенство в отношении собственности, в частности по правам владения, пользования и распоряжения.

5. Собственность на горные проект, продукт производства и имущество устанавливается и через организацию корпоративного управления с влиянием пропорционально имущественной доли- право управления.

6. Характеристика Соглашения как инвестиционный договор так же определяется распределением долевой собственности в проект через имущественные взносы с целью получения прибыли; определение генерирование и распределение прибыли на инвестиции через расчетные концептуальные показатели горной ренты и нормированной прибыли.

7. Характеристика Соглашения как предпринимательских договор определяется на основе детализации и расчетных обоснований нормированной прибыли.

8. Характеристика Соглашения как концессионный договор определяется формированием прав собственности на ресурсы, продукт проекта и распределением прибыли через нормированную прибыль и горную ренту II за технологичность инновационность, производственный и экономический эффект инвестиций. Закреплением прав и обязанностей на правовом уровне автономного регулирования реализации горного проекта, закреплением собственности на генерированное горное и инновационное технологическое имущество.

9. В целом концептуально Соглашением сервисного типа со смешенным риском приведены основные применимые экономические и правовые категории для формирования

оптимальной инвестиционной среды для предпринимательской деятельности как государства как владельца ресурсов, так и инвестиционных институтов.

Список литературы

1. Указ Президента КР от 29 января 2021 года № УП-5 «О вопросах реформирования горнодобывающей отрасли КР». Доступно по ссылке: http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/430340 (дата обращения: 28.08.2022)
2. Конституция Кыргызской Республики, принята Законом КР от 5 мая 2021 года № 59. Доступно по ссылке: http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/112213?cl=ru-ru (дата обращения: 28.08.2022).
3. Закон КР от 19 мая 2018 года № 49 «О недрах». Доступно по ссылке: http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/111782 (дата обращения: 28.08.2022).
4. Закон КР от 6 марта 1992 года № 850-XII «О концессиях и концессионных предприятиях в КР». Доступно по ссылке: http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/800 (дата обращения: 28.08.2022).
5. Гражданский кодекс КР от 8 мая 1996 года № 15, введён в действие Законом КР от 8 мая 1996 года № 16. Доступно по ссылке: http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/4?cl=ru-ru (дата обращения: 28.08.2022).
6. Kurmanaliev K. Z., Jelisejevs A., Korobovsky N. V., Alekseeva O. Collisions of subsoil ownership in a transitional economy by the example of modern Kyrgyzstan. EURASIAN MINING. 2023. No. 2. pp. 51–55 DOI: 10.17580/em.2023.02.11.
7. Jelisejevs A. De-banking v Good Faith: Doctrinal Assessment of Bank's Interests when Terminating Payment Account Without Customer's Consent in the View of EU and Latvian Law. Liverpool Law Review. 2023. Vol. 44. pp. 183–204.
8. Максат улуу Эркин, Курманалиев К.З. Повышения эффективности экономики горной отрасли КР, источники дифференциально ренты I и II. Препринт. DOI:10.13140/РГ.2.2.31083.25121
9. Пешков, А.Б. Проблемы административно-правового метода регулирования советских общественных отношений / А.Б.Пешков. – Иркутск: 1974. – 111 с.
10. Морковских, К.Д. Административно-разрешительный метод в правовом регулировании отношений недропользования / К.Д.Морковских // Петербургский юрист. 2016. №4. С. 141-147.
11. Третьякова, А.В. Правовое обеспечение лицензирования недропользования / А.В.Третьякова // Теория и практика общественного развития. 2014. №12.
12. Дроздов, И.А. О развитии правового регулирования недропользования / И.А.Дроздов // Вестник Высшего Арбитражного Суда РФ. 2007. №8. С. 35.
13. Богдасаров А.В. Договорные формы недропользования: сравнительные характеристики. Журнал российского права. №10,2008. С132-136
14. Сосна С.А. Концессионные соглашения: теория и практика.М. 2002. С. 38-40.
15. Barrows G.H. Wordwide Concession Contract and Petroleum Legistation. Tusla(Okla) 1983. P 302
16. Джонстон Д. Международный нефтяной бизнес: налоговые схемы и соглашение о разделе продукции/пер. с англ.). М. 2000. С 40-46

17. Савинова О.Н. Договорное регулирование концессионных отношениц по законодательству РФ. Дисс. Канд.юрид.наук. Казань. 2006.С. 79-82

18. Курысь Н.В. Иностранные инвестициию Российская история. М. 2003. С.200

19. Клюкин Б.Д. О развитии договорной основы права пользования недрами. Государство и право. №9. 2004. С.51.

20. Клюкин Б.Д. Горные отношения в странах Западной Европы и Америки.М. 2000. С.148

21. Амунц Д.М. Концессионная модель государственно-частного партнерства в сфере российской культуры: перспективы реализации., 2005.с.17

22. Золоева Я.О. Концессионные и иные договоры с иностранными инвесторами в области

добычи полезных ископаемых. Автореф. дис. … канд. юрид. наук. - М., 2003. - 28 с.

23. Бринчук М.М. Экологическое право (право окружающей среды). - М.: Юрист, 1998. - 688 с.

24. Крупко С.И. Инвестиционные споры между государством и иностранным инвестором. -М.: БЕК, 2002. - 272 с.

25. Шадрина Т.В. Правовое регулирование иностранных инвестиций в Российской Федерации: Автореф. дис. … канд. юрид. наук. - М., 1999. - 32 с.

26. Богатырев А.Г. Формы правового регулирования иностранных инвестиций в развивающихся государствах: Автореф. дис. … канд. юрид. наук. - М., 1971. - 24 с.

27. Swan A., Murphy J. Cases and Materials on the Regulation of International Business and Economic relations. - N.Y., 1999. - 399 p.

28. Хайд Ч. Международное право, его понимание и применение Соединенными Штатами

Америки. /Пер. с англ. Под ред. В. Н. Дурденевского и др. Том 6. - М., 1954. - 225 с.

29. Аречага Э. Хименес де. Современное международное право. /Пер. с исп. Под ред. и совступ. ст. Г.И. Тункина. - М.: Прогресс, 1983. - 480 с

30. McDougal M., Lasswell H., Miller J. The Interpretation of Agreements and World Public Order; Principles of Content and Procedure. - New Heaven, 1967. - 337 p.

31. Анохин В.С. Предпринимательское право: Учебник для студентов вузов. М. 199. С. 134.

32. Брагинский М.И. Договор подряда и подобные ему договоры. М. 199. С. 64.

33. Майфат А.В.Гражданско-правовые конструкции инвестирования: Монография. М. 2006. С. 25.

34. Лисица В.Н. Инвестиционный договор // Закон. 2003. № 10. С. 12.

35. Лисица В.Н. Инвестиционное право. НГУ. Новосибирск. 2015. С. 56

36. Гущин В.В. Инвестиционное право: Учебник. М. 2006. С. 78

37. Антипова О.М. Правовое регулирование инвестиционной деятельности (анализ теоретических и практических проблем) // Волтерс Клювер. М. 2007. С. 44.

38. Инвестиционное право. Учеб.-практ. пособие // Фархутдинов И. З., Трапезников В. А. М. 2006. С. 432.

39. Рахматов С.Н., Коробовский Н.В., Пазылов Т.Ш., Курманалиев К.З. Оценка нормирования прибыли и границ горной ренты I и II как экономический метод регулирования горного проекта / Горная промышленность. – 2024. –№ 1. – с. 112–119.

40. Рахматов С.Н., Коробовский Н.В., Пазылов Т.Ш., Курманалиев К.З. 1. Гипотеза об абсолютной ценности ресурсов недр. https://doi.org/ 10.30686/1609-9192-2024-2-151-159

41. Коробовский Н.В., Рахматов С.Н., Пазылов Т.Ш., Курманалиев К.З. Расчет значений нормированной прибыли горных проектов методом оценки стоимости капитала // Креативная экономика. – 2024. – Том 18. – № 8. – С. 1911–1934. doi: 10.18334/ce.18.8.121440

42. Коробовский Н.В., Рахматов С.Н., Пазылов Т.Ш., Курманалиев К.З. Анализ экономики и признаки ценности горной ренты золоторудного проекта КУМТОР // Экономика и управление инновациями. 2024. № 2 (29). С. 35-46. DOI: 10.26730/2587-5574-2024-2-35-46, EDN: LQUNVZ

43. Пазылов Т.Ш. Рахматов С.Н., Эркин уулу Максатбек, Курманалиев К.З. Анализ стоимостной оценки и признаки ценности, горной ренты горного проекта Кумтор, Кыргызская Республика. Экономика Центральной Азии. – 2025. – Т. 9, № 1. – С. 105– 132. – DOI https://doi.org/10.18334/asia.9.1.123009

44. Пазылов Т.Ш. Рахматов С.Н., Эркин уулу Максатбек, Курманалиев К.З. Горная рента для регулирования и управления разработки бедных и сложных руд: элементы, структура, распределение. Экономика Центральной Азии. – 2025. – Т. 9, № 2. – С. 187– 216. – DOI https://doi.org/10.18334/asia.9.2.12320112.

45. Пазылов Т.Ш, Рахматов С. Н., Коробовский Н.В., Курманалиев К.З. Лицензионное и договорное право в горной отрасли Кыргызской Республики.Собственность права пользования недрами / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2023. –№4(68) стр. 1681 – 1688. DOI:10.56634/16948335.2023.4.1681-1687

46. Пазылов Т.Ш, Рахматов С. Н., Коробовский Н.В., Курманалиев К.З. Система горного права в Кыргызской Республике. Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2023. – №4(68). – стр. 1688 –1698. DOI:10.56634/16948335.2023.4.1688-1697

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.056.2:004.75

Джумалиев А., Кабаева Г., Кудакеева Г.
И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова Бишкек, Кыргызская Республика

A.Dzhumaliev, G.Kabaeva, G.Kudakeeva
I.Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
KGM@kstu.kg

ГИБРИДНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ С ЯКОРЕНИЕМ ХЭШЕЙ

ХЭШТЕРДИ ЯКОРЛОО МЕНЕН МААЛЫМАТТАРДЫН БҮТҮНДҮГҮН ГИБРИДДИК ТЕКШЕРҮҮ

HYBRID DATA INTEGRITY VERIFICATION WITH HASH ANCHORING

Бул макалада файлдар блокчейнден тышкары сакталган, ал эми бөлүштүрүлгөн реестрде агрегатталган көзөмөл мааниси гана катталган маалыматтардын бүтүндүгүн текшерүүнүн гибриддик системасы каралат. Криптографиялык негиз катары SHA-256 алгоритми, Меркл дарагы жана EVM-шайкеш смарт-келишимде тамыр хэшти якорлоо механизми колдонулат. Изилдөөнүн максаты иштелип чыккан эксперименттик прототиптин негизинде мындай архитектуранын колдонулушун баалоо болуп саналат. Прототип Python, FastAPI, PostgreSQL, Solidity, Hardhat жана Sepolia тест тармагын колдонуу менен ишке ашырылган. Текшерүүнүн жүрүшүндө өзгөртүлбөгөн файл ийгиликтүү текшерүүдөн өткөнү, ал эми өзгөртүлгөн файл туура четке кагылганы көрсөтүлдү. Натыйжалар сунушталган ыкманын электрондук документ жүгүртүүдө, санарип архивдөөдө жана юридикалык маанилүү маалыматтарды сактоодо перспективалуу экенин тастыктайт.

Ачкыч сөздөр: *маалыматтардын бүтүндүгү, блокчейн, Меркл дарагы, SHA-256, смарт-келишим, тышкы сактоо, хэштерди якорлоо.*

В работе описана гибридная система верификации целостности цифровых данных, в которой файлы хранятся вне блокчейна, а в распределенном реестре фиксируется только агрегированное контрольное значение. В качестве криптографической основы использованы алгоритм SHA-256, дерево Меркла и механизм якорения корневого хэша в EVM-совместимом смарт-контракте. Цель исследования оценить применимость такой архитектуры на базе разработанного экспериментального прототипа. Прототип реализован с использованием Python, FastAPI, PostgreSQL, Solidity, Hardhat и тестовой сети Sepolia. Показано, что предложенный подход обеспечивает воспроизводимую проверку неизменности файлов при существенно меньшей нагрузке на блокчейн по сравнению с прямой записью всех

контрольных значений в распределенный реестр. В ходе проверки неизмененный файл успешно проходил верификацию, тогда как модифицированный файл корректно отклонялся. Полученные результаты подтверждают перспективность применения предлагаемой схемы в системах электронного документооборота, цифрового архивирования и хранения юридически значимых данных.

Ключевые слова. *целостность данных, блокчейн, дерево Меркла, SHA-256, смарт-контракт, внешнее хранение, якорение хэшей.*

The paper presents a hybrid system for digital data integrity verification in which files are stored off-chain, while the blockchain is used only to anchor an aggregated control value. The proposed approach combines SHA-256 hashing, Merkle tree construction, and anchoring of the Merkle root in an EVM-compatible smart contract. The study aims to evaluate the applicability of this architecture on the basis of a developed experimental prototype. The prototype was implemented with Python, FastAPI, PostgreSQL, Solidity, Hardhat, and the Sepolia test network. The results show that an unchanged file successfully passes verification, whereas a modified file is correctly rejected. The proposed scheme reduces on-chain overhead while preserving independent and reproducible verification of file immutability. The solution can be applied to document workflows, digital archives, and systems handling legally significant digital records.

Key words: *data integrity, blockchain, Merkle tree, SHA-256, smart contract, off-chain storage, hash anchoring.*

Для цитирования: Джумалиев А., Кабаева Г., Кудакеева Г. Гибридная верификация целостности данных с якорением хэшей / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр. 156 - 165.

Введение

Сегодня, когда объемы цифровой документации и сложность информационных систем стремительно растут, вопрос надежного подтверждения неизменности данных становится критически важным. В реальных условиях недостаточно просто рассчитать хэш-сумму файла - нужно создать такую систему фиксации, где проверка не будет завязана на доверии к конкретному серверу.

Применение блокчейн-технологий позволяет использовать распределенный реестр как внешний источник доверия, поскольку запись, однажды включенная в блок, не может быть незаметно изменена. Однако хранение в блокчейне самих файлов либо большого числа индивидуальных хэшей сопровождается повышенными затратами, так как тогда бы пришлось на каждый файл создавать отдельную транзакцию в блокчейне. По этой причине на практике более целесообразна гибридная модель, в которой содержимое данных сохраняется во внешнем хранилище, а блокчейн фиксирует лишь компактное доказательство их состояния.

Одним из наиболее рациональных механизмов такой агрегации выступает дерево Меркла. Оно позволяет свернуть множество хэшей файлов в единый корневой хэш и затем подтверждать принадлежность отдельного объекта к заранее зафиксированному набору при помощи компактного доказательства. В результате достигается сочетание

криптографической проверяемости, воспроизводимости процедуры контроля и снижения стоимости использования блокчейна.

Целью настоящей работы является оценка гибридной системы верификации целостности цифровых данных с якорением хэшей в блокчейне. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проанализированы научные и технологические предпосылки подхода, реализован экспериментальный прототип, описаны его ключевые компоненты и проведена проверка на сценариях верификации неизмененного и измененного файла.

Обзор литературы

Теоретическую основу исследования составляют работы по криптографическим хэш-функциям, хэш-деревьям и распределенным реестрам. Алгоритм SHA-256, формализованный в стандарте NIST FIPS 180-4 [1], широко используется как надежный инструмент формирования контрольных значений и остается одним из наиболее распространенных решений в прикладных системах обеспечения целостности. В стандарте NIST отмечается, что дайджесты сообщений используются «для выявления факта их изменения после момента формирования» [1], что непосредственно соответствует задаче контроля неизменности цифровых файлов.

Концепция дерева Меркла была предложена Р. Мерклом [2] как способ компактного представления множества элементов в виде одного корневого значения с возможностью последующего доказательства принадлежности отдельного элемента. В качестве примера дерево Меркла используется в сети Bitcoin [3], где транзакции агрегируются в дерево Меркла, а в хэш блока включается только корневое значение [3].

Другой пример это сеть Ethereum [5], которая также показало применение таких механизмов за счет поддержки смарт-контрактов и программируемой логики фиксации данных. В научной работе по Ethereum подчеркивается ориентация платформы на создание произвольных приложений, основанных на механизмах консенсуса [4].

С точки зрения удаленной проверки сохранности информации важное значение имеют работы по provable data possession и proofs of retrievability [6, 7]. Эти направления ориентированы на доказательство владения либо возможности восстановления данных из недоверенного хранилища. Рассматриваемое в настоящей работе решение не претендует на полноту PDP- или POR-протоколов, однако использует близкую идею публично проверяемого подтверждения неизменности данных с опорой на криптографические доказательства.

Анализ публикаций показывает, что ключевые компоненты гибридной схемы давно известны и хорошо исследованы по отдельности. Вместе с тем для прикладных систем документооборота и цифрового архивирования сохраняется потребность в компактной и воспроизводимой архитектуре, в которой внешнее хранение, агрегация хэшей в дереве Меркла и фиксация корневого значения в блокчейне объединены в единый рабочий контур. В этой части разработка и оценка экспериментального прототипа представляют самостоятельный практический интерес.

Материалы и методы исследования

В качестве экспериментальной базы разработан прототип гибридной системы верификации целостности данных. Серверная часть реализована на языке Python с использованием фреймворка FastAPI. Для хранения метаданных файлов, записей о пакетах

данных и доказательств принадлежности применена СУБД PostgreSQL. Файлы в рамках прототипа сохраняются во внешнем локальном хранилище, что соответствует выбранной модели хранения вне блокчейна. Блокчейн-компонент реализован в виде смарт-контракта на Solidity и развертывается в EVM-совместимой сети Sepolia при помощи Hardhat.

Алгоритм обработки данных состоит из нескольких этапов. При загрузке файл сохраняется во внешнем хранилище, после чего для него вычисляется SHA-256 и в базе данных создается запись с метаданными. Далее неподтвержденные файлы отбираются в пакет и упорядочиваются детерминировано по возрастанию идентификаторов, что обеспечивает воспроизводимость построения дерева Меркла. Хэши файлов используются как листья дерева; при нечетном числе листьев последний элемент дублируется на соответствующем уровне, что позволяет корректно завершить агрегацию и получить итоговый корневой хэш.

Формально для файла F_i вычисляется контрольное значение

$$h_i = SHA256(F_i) \quad (1)$$

где h_i - хэш i-го файла. Листья дерева Меркла задаются как

$$L_i = h_i, \qquad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Родительский узел на очередном уровне дерева определяется выражением

$$N_{k,j} = SHA256(N_{k-1,2j} || N_{k-1,2j+1}) \quad (3)$$

где || обозначает конкатенацию двоичных представлений хэшей. Если число узлов на уровне нечетно, последний узел дублируется:

$$N_{k,j} = SHA256(N_{k-1,2j} || N_{k-1,2j}) \quad (4)$$

Итоговый корневой хэш дерева обозначим через R. Тогда процедура проверки для файла с доказательством принадлежности P_i сводится к восстановлению корня

$$R_i^* = Derive(h_i, P_i) \quad (5)$$

и сравнению его с зафиксированным в блокчейне значением R_{anchor}:

$$V_i = \begin{cases} 1, & if\ R_i^* = R_{anchor} \\ 0, & if\ R_i^* \neq R_{anchor} \end{cases} \quad (6)$$

Формулы (1)-(6) описывают базовую логику предлагаемого подхода. Сначала любой файл переводится в компактное криптографическое представление в виде хэша. Затем множество таких хэшей последовательно агрегируется в дерево Меркла до одного корневого значения. На этапе проверки повторно вычисленный хэш файла не сравнивается напрямую со всеми хэшами пакета; вместо этого по компактному доказательству принадлежности восстанавливается только путь от листа к корню. Именно это делает проверку

индивидуального файла практически осуществимой без хранения полного набора контрольных значений в блокчейне.

Для исключения неоднозначности порядок файлов в пакете задается детерминированно:

$$id(F_1) < id(F_2) < \cdots < id(F_n) \qquad (7)$$

Это условие гарантирует, что при повторном построении дерева для одного и того же набора данных будет получен тот же самый корневой хэш. Восстановление корня по доказательству принадлежности может быть записано рекуррентно. Пусть $P_i = (p_t, s_t)_(t = 1)^m$, где p_t - соседний хэш на t-м шаге, а s_t указывает его положение слева или справа.

$$r_0 = h_i \qquad (8)$$

$$r_t = SHA256(p_i || r_{t-1}), \qquad if \;\; s_t = left \qquad (9)$$

$$r_t = SHA256(r_{t-1} || p_t), \qquad if \;\; s_t = right \qquad (10)$$

$$R_i^* = r_m \qquad (11)$$

$$|P_i| = \mathcal{O}(\log n) \qquad (12)$$

$$T_{build}(n) = \mathcal{O}(n) \qquad (13)$$

$$T_{verify}(n) = \mathcal{O}(log\ n) \qquad (14)$$

В формулах с (8) до (14) показывается алгоритм построения дерева Меркла и также какую сложность имеет алгоритм при построении дерева и его проверки. Как видно только при построении дерева время затрат линейно, но при проверке оно логарифмическое.

$$C_{direct}(n) = n \cdot \; c \qquad (15)$$

$$C_{hybrid}(n) = \; c \qquad (16)$$

Как видно из формулы (15) мы при прямом подходе для каждого файла должна идти запись в блокчейн. Но при гибридном подходе для множества файлов будет только одна запись в блокчейне.

Для каждого файла формируется индивидуальное доказательство принадлежности к пакету в виде последовательности соседних хэшей и указаний их положения относительно текущего узла. Эти данные сохраняются в базе и затем используются при последующей проверке. Такой подход позволяет для каждого файла хранить только компактное доказательство принадлежности, а не полную структуру дерева.

Поток обработки данных в системе может быть представлен следующей последовательностью:

Пользователь загружает файл F_i через серверный интерфейс.

Система сохраняет файл во внешнем хранилище и вычисляет $h_i = SHA256(F_i)$.

Неподтвержденные файлы объединяются в пакет $B = F_1, ..., F_n$.

Для пакета строится дерево Меркла, вычисляется корневой хэш R и сохраняются доказательства P_i.

Значение R якорится в смарт-контракте вместе с идентификатором пакета.

При проверке вычисляется новый хэш проверяемого файла, по доказательству восстанавливается R_i* и сравнивается с R_{anchor}.

В терминах реализованного сервиса данный поток выражается следующей последовательностью HTTP-вызовов:

```
POST /files/upload -> POST /batches/create -> POST
/batches/{batch_id}/anchor -> GET /files/{file_id}/proof ->
POST /files/{file_id}/verify
```

Приведенный поток отражает жизненный цикл данных в системе. Сначала формируется исходное доказуемое состояние файла, затем это состояние агрегируется в пакет и фиксируется в блокчейне, после чего в любой момент может быть получено доказательство принадлежности и выполнена повторная проверка. Тем самым backend-служба, база данных и смарт-контракт работают не как независимые модули, а как единая цепочка доверия.

Ниже приведен фрагмент программной реализации построения дерева Меркла на Python, используемой в прототипе.

Фрагмент кода 1. Построение дерева Меркла на Python.

```
def _hash_parent(left_hex: str, right_hex: str) -> str:
    left = bytes.fromhex(_normalize_hex(left_hex))
    right = bytes.fromhex(_normalize_hex(right_hex))
    return hashlib.sha256(left + right).hexdigest()

if right is None:
    parent_hash = _hash_parent(left["hash"], left["hash"])
else:
    parent_hash = _hash_parent(left["hash"], right["hash"])
```

Этот код показывает реализацию, что, родительский хэш всегда строится как SHA-256 от конкатенации двух дочерних значений, которые соответствуют формулам (3) и (4). А также момент, что при отсутствии правого соседа левый хэш дублируется.

Фрагмент серверной логики формирования пакета и сохранения доказательств принадлежности приведен ниже.

Фрагмент кода 2. Формирование пакета и сохранение доказательств принадлежности.

```
files = (
    db.query(StoredFile)
    .filter(StoredFile.batch_id.is_(None))
    .order_by(StoredFile.id.asc())
    .all()
```

```
    )

tree = build_merkle_tree([file.sha256 for file in files])
batch = Batch(merkle_root=f"0x{tree.root}",
leaf_count=len(files), status="created")

for index, file in enumerate(files):
    file.batch_id = batch.id
    proof = Proof(
        file_id=file.id,
        batch_id=batch.id,
        proof_json=tree.proofs[index],
        leaf_index=index,
      )
    db.add(proof)
```

Этот фрагмент демонстрирует, как теоретическая модель переносится в прикладную систему. Файлы предварительно сортируются по идентификатору, затем из их хэшей строится дерево, а для каждого объекта сохраняется собственное доказательство принадлежности и индекс листа. Иначе говоря, система не ограничивается вычислением одного корневого хэша, а заранее подготавливает все данные, необходимые для дальнейшей индивидуальной проверки каждого файла.

Смарт-контракт IntegrityAnchor выполняет минимально необходимую функцию фиксации состояния пакета данных. Контракт принимает идентификатор набора и соответствующий корневой хэш, сохраняет его, временную метку и адрес отправителя, а также запрещает повторное якорение одного и того же идентификатора. Тем самым блокчейн используется не как среда хранения содержимого файлов, а как внешний неизменяемый реестр контрольных значений.

Ключевой фрагмент смарт-контракта, отвечающий за якорение корневого хэша, имеет следующий вид.

Фрагмент кода 3. Якорение корневого хэша в смарт-контракте.

```
function anchorRoot(uint256 batchId, bytes32 root) external
onlyOwner {
    if (roots[batchId].exists) {
        revert BatchAlreadyAnchored(batchId);
      }
    if (root == bytes32(0)) {
        revert EmptyRoot();
      }

    roots[batchId] = RootRecord({
        root: root,
        timestamp: block.timestamp,
        submitter: msg.sender,
        exists: true
      });
```

} практической точки зрения фрагмент кода показывает минималистичность смарт-контракта. В контракт не передаются файлы, не сохраняются промежуточные узлы дерева и

не размещаются доказательства принадлежности. On-chain фиксируется только корневой хэш и служебные метаданные. Благодаря этому блокчейн используется исключительно как неизменяемый внешний якорь, а не как дорогостоящее хранилище прикладных данных.

Процедура верификации включает повторное вычисление SHA-256 для проверяемого файла, восстановление корневого хэша на основе сохраненного доказательства принадлежности и сравнение полученного значения с корневым хэшем, считанным из блокчейна. Совпадение корней интерпретируется как подтверждение целостности, а несовпадение указывает на изменение содержимого файла либо на отсутствие его принадлежности к ранее зафиксированному набору.

Соответствующий фрагмент серверной реализации процедуры проверки имеет следующий вид.

Фрагмент кода 4. Проверка файла по доказательству принадлежности.

```
chain_record = client.get_root(batch.id)
anchored_root = chain_record["root"]
derived_root = f"0x{derive_root_from_proof(candidate_sha256,
proof.proof_json)}"
is_valid = verify_proof(candidate_sha256, proof.proof_json,
anchored_root)
```

Фрагмент проверки связывает вместе off-chain и on-chain части архитектуры. Сначала из контракта извлекается ранее зафиксированный корневой хэш, затем на стороне backend по предъявленному файлу и сохраненному доказательству восстанавливается ожидаемое значение корня. Если оба значения совпадают, система признает файл неизмененным. Если нет, это означает нарушение целостности либо несоответствие проверяемого файла выбранному пакету.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанный прототип обеспечил корректное выполнение полного цикла обработки данных: загрузку файла, вычисление его хэша, формирование пакета, построение дерева Меркла, запись корневого хэша в смарт-контракт и последующую верификацию на основе доказательства принадлежности. Для пакета, содержащего один файл, итоговый корневой хэш совпадал с SHA-256 этого файла, что соответствует ожидаемым свойствам хэш-дерева. Для пакета с несколькими файлами система формировала детерминированные индексы листьев и отдельные доказательства для каждого объекта.

На уровне блокчейн-компонента подтверждена корректность фиксации данных в смарт-контракте. После выполнения процедуры якорения записанный корневой хэш успешно считывался по идентификатору пакета. Повторная попытка записи для уже подтвержденного набора отклонялась, что исключало неоднозначность его состояния. Таким образом, блокчейн-слой выполнял функцию внешнего и неизменяемого регистра агрегированных контрольных значений.

Наиболее показателен сценарий индивидуальной проверки файла. Для ранее загруженного и включенного в пакет неизмененного файла восстановленный по доказательству корень совпадал с корневым хэшем, прочитанным из блокчейна, и процедура проверки завершилась положительно. После изменения содержимого файла его SHA-256 изменялся, вследствие чего восстановленный по тому же доказательству корень переставал совпадать с зафиксированным значением. В результате система корректно отклоняла такой

объект. Данный результат подтверждает, что предложенная схема чувствительна даже к минимальному изменению исходных данных.

Корректность предлагаемого подхода может быть дополнительно обоснована следующими утверждениями.

Утверждение 1. Для одного и того же упорядоченного набора хэшей файлов система всегда формирует один и тот же корневой хэш.

Доказательство. Порядок листьев фиксируется условием (7), поэтому входная последовательность хэшей однозначна. На каждом уровне дерева родительские узлы вычисляются по формулам (3) и (4), которые являются детерминированными функциями от входных значений. Следовательно, весь процесс агрегации однозначен на каждом шаге, а итоговый корневой хэш определяется единственным образом. Это обеспечивает воспроизводимость результата при повторном построении дерева для одного и того же набора данных.

Утверждение 2. Если файл после якорения не изменялся, а для проверки используется исходное доказательство принадлежности , то процедура верификации возвращает положительный результат.

Доказательство. Поскольку содержимое файла не изменялось, его хэш , вычисленный по формуле (1), сохраняет исходное значение. Далее на каждом шаге восстановления корня применяются те же соседние хэши и тот же порядок конкатенации, что и при построении дерева. Следовательно, по формулам (8)-(11) восстанавливается тот же корневой хэш , который был ранее зафиксирован в блокчейне. Поэтому выполняется условие (6), и файл признается неизмененным.

Утверждение 3. Если проверяемый файл отличается от исходного файла , то при отсутствии криптографической коллизии процедура верификации возвращает отрицательный результат.

Доказательство. Изменение содержимого файла приводит к изменению его контрольного значения с пренебрежимо малой вероятностью ошибки, обусловленной только возможностью коллизии SHA-256. Поскольку восстановление корня по доказательству принадлежности является детерминированным, на одном из шагов по формулам (9)-(10) будет получено значение, отличное от исходного пути агрегации. Следовательно, итоговый восстановленный корень не совпадет с зафиксированным значением , и условие (6) не выполнится. Тем самым модифицированный файл корректно отклоняется системой.

Приведенные утверждения важны тем, что связывают экспериментальные результаты с формальной моделью метода. Положительный исход проверки для неизмененного файла и отрицательный исход для модифицированного файла являются не случайными эмпирическими наблюдениями, а прямым следствием детерминированности дерева Меркла и криптографической устойчивости используемой хэш-функции.

Дополнительную значимость имеет тот факт, что проверка работоспособности проводилась не только во внутренних тестовых сценариях, но и при реальном вызове серверного интерфейса и взаимодействии с тестовой сетью Sepolia. Внешний клиент последовательно выполнял загрузку файла, создание пакета, якорение корневого хэша и последующее считывание зафиксированного значения из смарт-контракта. Совпадение возвращаемых данных подтвердило согласованность компонентов, работающих вне блокчейна и в блокчейне.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что гибридная архитектура действительно обеспечивает рациональный компромисс между стоимостью и

проверяемостью. Вместо записи в блокчейн множества отдельных контрольных значений фиксируется только один корневой хэш на пакет. При этом сохраняется возможность независимой верификации каждого файла. Практическая значимость такого подхода проявляется в электронном документообороте, цифровом архивировании, аудиторских системах и сервисах, работающих с юридически значимыми цифровыми материалами.

Выводы

В рамках работы было реализована гибридная архитектура верификации целостности цифровых данных. Для реализации которой было использовано SHA-256-хэширование, дерево Меркла и работа с блокчейном Sepolia.

Разработанная программа подтвердила работоспособность гибридного подхода. От загрузки файла и формирования пакета до записи корневого хэша в блокчейн до последующей проверки через доказательство принадлежности.

Проверка файлов показало работоспособность логики. При проверке файла который был не изменен, она успешно проходит, в случае же когда была проверка измененного файла, файл отклонялся и не проходил проверку.

С практической точки зрения ценность предложенного решения состоит в возможности его использования в системах электронного документооборота, цифровых архивах и корпоративных информационных системах. В таких местах явно будет видно преимущество и практичность использования гибридной архитектуры.

Список литературы

1. NIST. FIPS PUB 180-4: Secure Hash Standard (SHS). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2015. URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.180-4.pdf

2. Merkle R. C. A Digital Signature Based on a Conventional Encryption Function // Advances in Cryptology - CRYPTO '87. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 293. Berlin; Heidelberg: Springer, 1988. P. 369-378.

3. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2008. URL: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

4. Buterin V. Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform. 2014. URL: https://ethereum.org/content/whitepaper/whitepaper-pdf/Ethereum_Whitepaper_-_Buterin_2014.pdf

5. Wood G. Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger. 2014. URL: https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf

6. Ateniese G., Burns R., Curtmola R., Herring J., Kissner L., Peterson Z., Song D. Provable Data Possession at Untrusted Stores // Proceedings of the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security. New York: ACM, 2007. P. 598-609. URL: https://eprint.iacr.org/2007/202

7. Juels A., Kaliski B. S. Proofs of Retrievability for Large Files // Proceedings of the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security. New York: ACM, 2007. P. 584-597.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 378.147

Рывкина Н.В.[1], Закирова Д.И.[2]
[1]Л.Н.Гумилев атындагы Евразия улуттук университети, Астана шаары
[2]Туран университети, Алматы
[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, г. Астана,
[2]Университет Туран, г. Алматы
Республика Казахстан
[1]ORCID: 0000-0002-4646-3348
[2]ORCID: 0000-0001-5161-959X

N.V. Ryvkina[1], D.I. Zakirova[2]
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
[2]Turan University, Almaty
Republic of Kazakhstan
rondv2@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

КУРУЛУШ АДИСТИГИНДЕ ОКУГАН СТУДЕНТТЕРДИН КЕСИПТИК КОМПЕТЕНТТҮҮЛҮГҮНҮН КАЛЫПТАНУУ ДЕҢГЭЭЛИН БААЛОО МЕТОДИКАСЫН ИШТЕП ЧЫГУУ

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE LEVEL OF DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF STUDENTS OF CONSTRUCTION SPECIALTIES

Макалада компетенттүүлүк жана модулдук мамилелердин негизинде курулуш адистигинде окуган студенттердин кесиптик компетенттүүлүктөрүнүн калыптануу деңгээлин баалоо методикасы иштелип чыккан. Окутуу процессинде үч деңгээлде калыптануучу таанып-билүү; ой жүгүртүү; функционалдык жана жекече компоненттерди камтыган баалоо матрицасы сунушталган. Педагогикалык эксперименттин натыйжалары кесиптик компетенттүүлүк деңгээли жогору студенттердин үлүшүнүн өскөндүгүн көрсөтүп, методиканын натыйжалуулугун далилдеди.

Ачкыч сөздөр: *кесиптик компетенттүүлүк, калыптануу деңгээлин баалоо, курулуш багыты, дескрипторлор матрицасы, деңгээлдик шкала, компетенттүүлүк мамилеси.*

В статье разработана методика оценки уровня сформированности профессиональных компетенций студентов строительных специальностей на основе компетентностного и модульного подходов. Представлена матрица оценки, включающая познавательно-мыслительный, функциональный и индивидуальный компоненты, формируемые на трех уровнях в процессе обучения. Результаты педагогического эксперимента показали увеличение доли обучающихся с высоким уровнем профессиональных компетенций, что подтверждает эффективность методики.

Ключевые слова: *профессиональные компетенции, оценка уровня сформированности, строительное направление, матрица дескрипторов, уровневая шкала, компетентностный подход.*

The article developed a methodology for assessing the level of formation of professional competencies of students of construction specialties based on competence and modular approaches. Presented is an assessment matrix including cognitive-mental, functional and individual components formed at three levels during training. The results of the pedagogical experiment showed an increase in the proportion of students with a high level of professional competencies, which confirms the effectiveness of the technique.

Key words: *professional competencies, assessment of the level of formation, construction direction, descriptor matrix, level scale, competence approach.*

Для цитирования: Рывкина Н.В. Закирова Д.И. Разработка методики оценки уровня сформированности профессиональных компетенций студентов строительных специальностей / Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2026. – №3 (79). – стр. 166 - 176.

Введение

Система высшего образования на современном этапе ориентируется не только на передачу знаний, но и на формирование у будущих выпускников способности к решению всех поставленных задач в реальных условиях производства. Данное требование имеет большое значение именно для строительных специальностей, так как деятельность будущих инженеров очень многообразна: в неё входят проектирование, организация строительства, дальнейшая эксплуатация, реконструкция и модернизация как объекта, так и связанных с ним инженерных систем и сетей. В этой связи особую значимость приобретает не только вопросы, связанные с формированием компетенций в современной системе образования, но и вопросы объективной оценки уровня сформированности компетенций будущих специалистов.

Как известно, компетентностный подход предполагает, что результаты обучения в рамках отдельных дисциплин и в целом образовательных программ выражаются через совокупность знаний, умений, навыков, а также личностных характеристик и полученного опыта, которые необходимы для качественного выполнения профессиональных функций в реальной деятельности. Однако, как показывает практика, оценивание студентов часто сводится к проверке только полученных знаний по определённой дисциплине, что, безусловно не может дать целостного представления о готовности будущего выпускника к профессиональной деятельности. Для строительных направлений подготовки имеющаяся

проблема осложняется ещё и многообразием профессиональных задач, необходимостью получения практических навыков работы с оборудованием, потребностью учёта пожеланий работодателей в постоянно развивающейся строительной отрасли.

В ранее выполненных исследованиях была обоснована модель формирования профессиональных компетенций бакалавров технических направлений, определена последовательность профессиональных модулей конкретных образовательных программ, подчёркнута роль активных методов обучения и изложена логика поэтапного освоения компетенций в процессе изучения конкретных профильных дисциплин. Вместе с тем, остаётся недостаточно изученным вопрос разработки комплексной методики уровня сформированности профессиональных компетенций обучающихся строительного профиля, которая учитывала бы специфику конкретной образовательной программы в области строительства и позволила бы осуществлять мониторинг результатов обучения [1].

Цель настоящей работы заключается в разработке методики оценки уровня сформированности профессиональных компетенций обучающихся строительных специальностей. Для достижения цели были определены следующие задачи: проанализировать подходы к структуре профессиональных компетенций обучающихся строительного профиля; определить достижимые критерии, индикаторы и уровни их оценки, обосновать выбор диагностических средств и предложить последовательность применения методики в образовательном процессе.

Обзор литературы

Проведённый анализ казахстанских исследований показывает следующее: оценка профессиональных компетенций в современном образовании должна ориентироваться на комплексные модели оценивания, которые могут включать четко определённые критерии оценивания, использовать и практикоориентированные методы оценки и устанавливать уровни сформированности компетенций [2].

Международные исследователи при этом подчёркивают необходимость учёта позиций всех субъектов образовательного процесса в формировании итоговой оценки. Так, Цветкова К.Е. [3] предложила авторскую оперативную методику оценки интегрального показателя инженерной компетентности выпускников с учетом экспертного мнений работодателей, преподавателей, студентов и выпускников, что позволило повысить объективность оценивания и связать образовательные результаты с требованиями рынка труда. Также, согласно международным исследованиям в этой области, в современном образовании наблюдается устойчивый рост использования открытых форм оценивания, которые ориентируются на такие важные аспекты как реалистичность, когнитивная сложность и развитие оценочного суждения. Необходимо также отметить активное внедрение цифровых инструментов, обеспечивающих более достоверную оценку результатов с помощью цифровых методов, широкое применение групповых и командных форм оценивания, включающих как совместное тестирование, так и командную постановку проблемы, а также междисциплинарных подходов, направленных на развитие системного мышления и навыков взаимодействия [4].

Анализ научных работ в области инженерного образования также показывает широкое распространение активных методов обучения, включающих проектную деятельность, решение практико-ориентированных задач и командную работу. Их

эффективность подтверждается повышением мотивации и учебных достижений обучающихся, что, безусловно, требует адаптации существующих подходов к оцениванию результатов обучения [5]. Кроме того, современные тенденции цифровизации и использование технологий искусственного интеллекта в инженерном образовании создают дополнительный импульс к обновлению подходов к оценке компетенций. Интеллектуальные системы сегодня помогают полностью автоматизировать обработку результатов тестирования, анализировать большие объёмы данных, улучшать качество обратной связи от обучающихся. Это способствует повышению объективности, точности и эффективности процедур оценивания [6].

Таким образом, несмотря на наличие достаточно развитого инструментария оценки подготовки обучающихся для технических специальностей, остаётся недостаточно изученным вопрос комплексной оценки уровня сформированности профессиональных компетенций именно для обучающихся по образовательным программам строительного профиля с учетом разной структуры программ и практико-ориентированного характера профильных дисциплин. В этой связи возникает необходимость разработки методики, которая обеспечит интеграцию уровневого подхода к описанию компетенций, различных форм оценивания и цифровых инструментов.

Теоретическая часть

Разработанная в настоящем исследовании методика опирается на компетентностных подход, который предполагает, что результаты обучения в современном образовании характеризуются не только усвоением знаний, но и готовностью выпускника применять их при решении реальных профессиональных задач. В исследованиях В.И.Байденко, И.А.Зимней, А.В.Хуторского и других авторов компетенции определяются как результат профессиональной подготовки, который отражает способность обучающегося работать в условиях реальной профессиональной деятельности [7], [8],[9].

В работах А.Н. Гамаюновой, Э.Ф. Зеера и других исследователей, которые подчёркивают необходимость комплексной оценки результатов подготовки будущих специалистов [10], [11], профессиональная компетентность рассматривается как комплексное качество личности, включающее теоретическую подготовку, практические умения и личностные характеристики, необходимые для принятия решений и взаимодействия с другими членами команды.

Профессиональные компетенции рассматриваются как система, формируемая последовательно, этап за этапом, при это уровень ее развития может оцениваться с помощью критериев, индикаторов и уровневых характеристик. В работах В.А. Адольфа, Н.В. Ефремовой отмечена необходимость использования уровневого подхода при оценке результатов обучения [12], [13].

Значительное влияние на развитие современных подходов к оценке профессиональных компетенций оказывает распространение практикоориентированного и проектного обучения при подготовке обучающихся строительного профиля. Дополнительные возможности для организации комплексной оценки результатов создаёт широкое развитие цифровых образовательных технологий, в том числе применение технологий искусственного интеллекта для повышения качества диагностики.

Методы и материалы

Методологическую основу исследования составили компетентностный, модульный и системный подходы к организации профессиональной подготовки по указанному профилю. В качестве эмпирической базы использованы материалы исследования по формированию профессиональных компетенций обучающихся по образовательной программе «Инженерные системы и сети», структура образовательной программы «Инженерные системы и сети», дидактические материалы конкретных дисциплин, материалы исследований по оценке профессиональных компетенций обучающихся, использованию активных методов в обучении. Разработка методики состояла из нескольких этапов.

На первом этапе были выделены профессиональные компетенции, формируемые у обучающихся в результате изучения профильных дисциплин. Был произведён анализ содержания дисциплин, определена связь обязательных и элективных модулей образовательной программы и их направленность на достижение результатов обучения и решение профессиональных задач в области проектирования, строительства, эксплуатации и управления инженерными системами и сетями. В структуре компетенций были учтены основные компоненты: познавательно-мыслительный, отражающий объем и системность получения знаний, необходимых для решения профессиональных задач; функциональный, определяющий способность выполнения различных действий при решении профессиональных задач и индивидуальный, ориентированный на способность к самоорганизации и самоуправлению. С целью конкретизации структуры профессиональных компетенций для каждого компонента были определены соответствующие дескрипторы, отражающие соответственно содержание теоретической подготовки, характер выполняемых профессиональных действий и специфику личностных характеристик обучающихся.

На втором этапе для каждого компонента (познавательно-мыслительного, функционального и индивидуального) были определены критерии и индикаторы, позволяющие проводить диагностику уровня сформированности профессиональных компетенций. Познавательно-мыслительный компонент оценивался по полноте и пониманию теоретического материала; функциональный оценивался по способности выполнять квалифицированные расчёты; индивидуальный – по степени самостоятельности в принятии решений, готовности работать в команде, способности к коммуникации. Индикаторы были сформулированы таким образом, чтобы в процессе обучения они могли быть зафиксированы. К примеру, для функционального компонента были выбраны индикаторы корректности выполнения инженерного расчета, обоснования выбора того или иного технического решения, умения работы с нормативной документацией в конкретных проектных случаях.

На третьем этапе с учетом специфики образовательной программы были определены диагностические средства оценки профессиональных компетенций: тестовые и теоретические задания для проверки теоретических знаний, расчётно-графические работы, кейс-задания по анализу различных профессиональных ситуаций, проектные задания, задания по моделированию, результаты учебной и производственной практики, а также результаты самооценки и экспертной оценки преподавателей. Выбранный комплекс диагностических инструментов в целом согласован с материалами базового исследования и изученными подходами к оценке профессиональных компетенций, в которых подчёркнута необходимость комплексного использования как традиционных, так и аутентичных методов

исследования. Использование цифровых инструментов, таких как Google Forms, Mentimeter, заданий, выполняемых с помощью Bim-моделирования, современных систем автоматизированного проектирования позволило оперативно фиксировать результаты и увеличило возможности дальнейшей их интерпретации.

На 4 этапе для последующей интерпретации полученных результатов оценки была предложена трёхуровневая шкала сформированности компетенций, разработанная и апробированная ранее в модели формирования профессиональных компетенций. В рамках этой шкалы были выделены пороговый, средний и высокий уровни. Пороговый уровень предполагает при этом овладение основными понятиями и алгоритмами, способностью выполнять типовые задания по образцу. Средний уровень уже подразумевает умения применять полученные знания не только в типовых, но и более сложных условиях, при это устанавливая междисциплинарные связи. И на высоком уровне обучающийся уже обладает способностью самостоятельно решать комплексные профессиональные задачи, используя требования различных технологий и нормативной документации. Представленное деление на уровни сформированности компетенций соответствовало логике поэтапного освоения компетенций в процессе освоения образовательной программы и согласовано как с разработанной ранее моделью формирования профессиональных компетенций, так и с международной практикой применения уровневых дескрипторов и индикаторных шкал (Дублинские дескрипторы, национальные рамки квалификаций) [1], [5],[14].

Эффективность разработанной шкалы была подтверждена для дисциплины «Системы отопления знаний» образовательной программы «Инженерные системы и сети» Для этого был разработан фонд оценочных средств, в который вошли тестовые задания по дисциплине в количестве 200 вопросов, и несколько пакетов практических контрольных заданий по выбору и конструированию систем отопления зданий и сооружений, схем присоединения систем отопления к действующим тепловым сетям, средств автоматизации тепловых пунктов и отопительного оборудования и другие. Для каждого дескриптора были определены критерии оценки в соответствии с фондом оценочных средств, которые позволили определить уровень компетенций обучающегося в зависимости от количества и правильности выполнения тестовых и практических заданий.

На заключительном пятом этапе была разработана процедура применения методики, которая включала три взаимосвязанных этапа оценивания. До начала проведения педагогического эксперимента проводилась входная диагностика, направленная на определение исходного уровня освоения всех трех компонентов компетенций (познавательно-мыслительного, функционального и индивидуального). Для этого были использованы тестовые задания по основным понятиям и алгоритмам, произведён анализ ранее выполненных работ, а также предлагались к решению краткие практические задания, позволяющий выявить готовность обучающихся к решению типовых задач. Текущая и рубежная оценка осуществлялись в процессе освоения профессиональных модулей образовательной программы и контролировали динамику развития компетенций по всем компонентам. Применялись практико-ориентированные задания, кейсы, расчётно-графические работы, элементы проектной деятельности. Итоговая комплексная оценка проводилась по результатам изучения цикла профильных дисциплин и прохождению практик. На данном этапе использованы комплексные задания повышенной сложности, включая готовые проекты, связанные с проектированием инженерных систем.

Для увязки уровней сформированности дескрипторов с помощью критериев оценки из фонда оценочных средств была составлена матрица оценки уровня сформированности как каждого дескриптора в отдельности, так и профессиональной компетенции в целом. Для составления матрицы с помощью экспертов из числа работодателей были выбраны наиболее значимые профессиональные знания, умения и навыки и определён их весовой коэффициент. Итоговый балл по каждому дескриптору рассчитывался как произведение весового коэффициента и балльной оценки уровня. Комплексная оценка уровня сформированности определялась как среднеарифметическое по всем дескрипторам (познавательно-мыслительному, индивидуальному и функциональному). Затем полученный результат был соотнесён с интервалами уровней формирования компетенции переводился в буквенную оценку согласно принятой шкале в образовательной программе.

Результаты

Разработанная в настоящей работе методика ориентирована на комплексную оценку профессиональных компетенций обучающихся строительного профиля. Объектом оценки выступает уровень сформированности профессиональных компетенций, который связывает воедино знания, действия и личностные характеристики обучающегося. Оценка производится по трем компонентам (познавательно-мыслительному, функциональному и индивидуальному) и шкале уровней достижения (пороговый, средний и высокий), что в свою очередь обеспечивает переход от проверки отдельных знаний к полному анализу профессиональной готовности будущего специалиста. Методика ориентирована на оценку профессиональных компетенций, сформированных в результате освоения профессиональных модулей образовательной программы и реализуется через матрицу оценки уровня сформированности профессиональных компетенций. Пример матрицы для профессиональной компетенции ПК1 «Осуществляет организацию и руководство процессом проектирования систем обеспечения микроклимата зданий и сооружений» по дисциплине «Системы отопления зданий» представлен в таблице 1.

Таблица 1. - Пример матрицы оценки уровня сформированности всех компонентов ПК по дисциплине «Системы отопления зданий»

Дескриптор	Весовой коэффициент (от 1 до 3)	Уровни сформированности (пороговый – 4 балла, средний – 6 балла, высокий – 10 баллов)			Оценочная характеристика дескриптора
		П	С	В	
ПМ 1.1.	1	х			4
ПМ 1.2.	3		х		18
ПМ 1.3.	1			х	10
ПМ 1.4.	2			х	20
ПМ 1.5.	3			х	20
Итого:					72
И 1.1.	3	х			12
И 1.2.	1		х		6
И 1.3.	2		х		12

И 1.4.	2		x		12
И 1.5.	2			x	20
Итого:					62
Ф 1.1.	1	x			4
Ф 1.2.	1	x			4
Ф 1.3.	2		x		12
Ф 1.4.	3			x	30
Ф 1.5.	3			x	30
Итого:					80
ПК 1= (ПМ+И+Ф)/3					(72+62+80)/3=71,33
Уровень сформированности компетенции					средний
Пределы оценочных характеристик порогового (П) уровня					50-70
Пределы оценочных характеристик среднего (С) уровня					70 - 90
Пределы оценочных характеристик высокого (В) уровня					90 – 100

Такая схема позволила сопоставить качественные результаты обучения и количественные показатели их достижения.

В качестве цифровой основы методики выступили разработанные авторами электронные учебные пособия по профильным дисциплинам, а также используемые в образовательном процессе онлайн-платформы, таких как Google Forms, Mentimeter, и задания, выполняемые с помощью Bim-моделирования и современных систем автоматизированного проектирования. Это позволило создать единое цифровое пространство, объединившее учебный процесс, систему мониторинга и оценку результатов обучающихся.

Для анализа эффективности предложенной методики была проведена оценка уровня сформированности профессиональных компетенций в контрольной и экспериментальной группах, при это в экспериментальной группе применялись разработанная ранее модель формирования компетенций и комплексная система оценивания. Сводные результаты эксперимента представлены на рисунке 1.

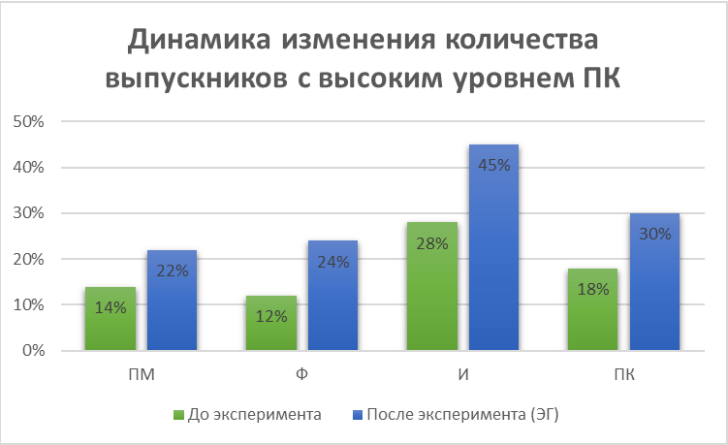


Рисунок 1- Динамика изменения процента выпускников с высоким уровнем сформированности ПК

Представленная на рисунке 1 диаграмма отражает уровень сформированности всех трех компонентов профессиональной компетенции, а также комплексную оценку профессиональной компетентности обучающихся контрольной и экспериментальной групп. Процент обучающихся с высоким уровнем сформированности познавательно-мыслительного компонента вырос на 8%, с высоким уровнем сформированности функционального компонента на 12 %, с высоким уровнем формирования индивидуального компонента на 17%, в целом процент выпускников с высоким уровнем сформированности профессиональных компетенций вырос на 12%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение ранее разработанной модели формирования компетенций и комплексной системы оценивания способствует повышению уровня профессиональной подготовки.

Заключение

Разработка методики оценки уровня сформированности профессиональных компетенций для обучающихся строительного профиля сегодня является важным условием повышения качества образования и отвечает требованиям, предъявляемым работодателями к подготовке будущих строителей. Предложенная методика сочетает компетентностный и модульный подход и предусматривает комплексную диагностику познавательно-мыслительного, функционального и индивидуального компонентов профессиональных компетенций с использованием трёхуровневой шкалы оценивания (пороговый, средний, высокий).

Качественные и количественные показатели оценки объединены при этом в системе дескрипторов, критериев и индикаторов. Это позволяет выйти за рамки традиционного подхода к контролю знаний по отдельным дисциплинам. Использование комплекса диагностических инструментов, таких как тестирование, расчётно-графические задания, кейс-задания, проектная деятельность, моделирование, результаты практик обучающихся, экспертные оценки и самооценки согласуется с современными подходами к практико-ориентированной комплексной оценке профессиональных компетенций.

В условиях цифровизации высшего образования важную роль также играют электронные и цифровые инструменты, встроенные в разработанную методику. Использование онлайн-платформ для тестирования и хранения данных позволяет обрабатывать большие объёмы информации, отслеживать прогресс поэтапного формирования компетенций, тем самым создавая цифровой профиль обучающихся за весь период обучения. Такая систематизация данных создаёт возможности для применения технологий искусственного интеллекта. Интеллектуальные системы при этом могут выявлять типичные ошибки и затруднения, прогнозировать риски и помогать в формировании индивидуальных образовательных технологий обучающихся с сохранением ведущей роди педагога как в самом процессе обучения, так и в оценке его результатов.

Результаты проведённого педагогического эксперимента показали положительную динамику уровня сформированности профессиональных компетенций по всем компонентам, в особенности по функциональному и индивидуальному, что подтверждает эффективность системы комплексного оценивания. Также это демонстрирует ограниченность использования только тестовых форм контроля, которые ориентированы только на проверку знаний и не отражают в полной мере способность обучающегося решать сложные профессиональные

задачи. Особое значение также приобретают активные и практико-ориентированные формы обучения, которые в разработанной методике одновременно являются и средствами формирования, и средствами оценивания профессиональных компетенций.

Такие методы позволяют оценивать способность применения знаний при решении сложных задач, обосновании инженерных решений, что соответствует выводам исследований об эффективности активных форм обучения. По сравнению с методикой, предложенной К.Е. Цветковой, которая ориентирована на расчёт обобщённого показателя компетентности, разработанная методика детализируют структуру компетенций, и в процессе оценивания помогает сделать вывод об уровне каждого компонента. В итоге появляется возможность корректировать отдельные виды деятельности в зависимости от уровня развития того или иного компонента.

Практическая значимость разработанной методики заключается в возможности ее применения в системе контроля обучающихся строительного направления, а также при мониторинге качества образовательных программ. Перспективным направлением дальнейших исследований является применение цифровой аналитики в совокупности с технологиями искусственного интеллекта в процессах обработки и интерпретации результатов обучения, построении цифровых профилей обучающихся за весь период обучения.

Список литературы

1. Рывкина, Н. В. Исследование формирования профессиональных компетенций выпускников бакалавров технических областей обучения / Н. В. Рывкина, А. С. Тулебекова, Г. Т. Тлеуленова, И. Т. Матин // Вестник Торайгыров университета. Серия Педагогическая. – 2025. – № 4. – С. 408–417. – DOI: 10.48081/YBXE7574.

2. Касымбекова, М. А. Проблема измерения и оценки компетенций в высшем профессиональном образовании / М. А. Касымбекова, А. К. Садыкова, М. К. Ахметова, Ж. Т. Жылтырова // Известия. Серия: Педагогические науки (Вестник Казахского университета международных отношений и мировых языков им. Абылай хана). – 2023. – Т. 69, № 2. – С. 1–13. – DOI: 10.48371/PEDS.2023.69.2.002. – URL: https://bulletin-pedagogical.ablaikhan.kz/index.php/j1/article/view/227 (дата обращения: 20.05.2026).

3. Цветкова, К. Е. Методы оценки инженерной компетентности студентов в системе «колледж – вуз» / К. Е. Цветкова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), Оренбург, 29–31 янв. 2014 г. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. – С. 3522–3530. – ISBN 978-5-4417-0309-3.

4. Ravi, M. Evolving trends in student assessment in chemical engineering education / M. Ravi // Education for Chemical Engineers. – 2023. – Vol. 43. – P. 135–145. – DOI: 10.1016/j.ece.2023.09.003.

5. Mirfenderesgi, G. Effectiveness of active learning methods on students' self-efficacy, learning motivation and academic performance in numerical methods in mechanical engineering / G. Mirfenderesgi, S. Z. Atiq // Proceedings of the 2024 ASEE Annual Conference & Exposition, Portland, OR, June 23–26, 2024. – Paper ID 42792.

6. Новые подходы к оцениванию: искусственный интеллект как драйвер изменений в образовании: аналитический доклад / под науч. ред. Е. Ю. Кардаковой. – Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2025. – 120 с. – (Серия «Современная аналитика образования»; № 5 (88)).

7. Байденко, В. И. Выявление состава компетенций выпускников вузов как необходимый этап проектирования ГОС ВПО нового поколения: методическое пособие / В. И. Байденко. – Москва: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. – 72 с.

8. Зимняя, И. А. Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании / И. А. Зимняя. – Москва: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004.

9. Хуторской, А. В. Ключевые компетенции и образовательные стандарты [Электронный ресурс] / А. В. Хуторской // Интернет-журнал «Эйдос». – 2002. – URL: http://eidos.ru/journal/2002/0423.htm (дата обращения: 20.05.2026).

10. Гамаюнова, А. Н. Структура профессиональной компетентности бакалавра психолого-педагогического образования / А. Н. Гамаюнова // Гуманитарные науки и образование. – 2010. – № 4. – С. 43–47.

11. Зеер, Э. Ф. Практика формирования компетенций: методологический аспект / Э. Ф. Зеер, Д. П. Заводчиков // Формирование компетенций в практике преподавания общих и специальных дисциплин в учреждениях среднего профессионального образования: сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. / науч. ред. Э. Ф. Зеер. – Екатеринбург–Берёзовский: Филиал Рос. гос. проф.-пед. ун-та в г. Берёзовском, 2011. – С. 5–10.

12. Адольф, В. А. Количественная оценка компетентности выпускников интегрированной системы обучения и возможности её повышения / В. А. Адольф, М. В. Лукьяненко, Н. П. Чурляева // Педагогическое образование и наука. – 2011. – № 11. – С. 22–30.

13. Ефремова, Н. Ф. Подходы к оцениванию компетенций в высшем образовании: учебное пособие / Н. Ф. Ефремова. – Москва: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. – 216 с.

14. Петров, Ю. А. Уровни компетентности: модель, классификация, иерархия / Ю. А. Петров, Г. И. Петрова // Образовательные технологии. – 2014. – № 4. – С. 65–70.

15. Наумкин Н.И., Купряшкин В.Ф., Безруков А.В. Особенности подготовки студентов к инновационной инженерной деятельности в национальном исследовательском Мордовском Государственном университете / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2024. №3(71). – стр. 838 -845.

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА

УДК 621.311.25: 621.311.29

Журавлев О.В., Мишин А.С.
«Москва энергетика институту» Улуттук изилдөө университети, Москва, Россия Федерациясы
Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, Российская Федерация

O.V. Zhuravlev, A.S. Mishin
National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russian Federation
ZhuravlevOV@mpei.ru MishinAIS@mpei.ru

РЕЖИМ МАКСИМИЗАЦИИ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТЯГИВАЮЩЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОГО ЗАТЕНЕНИЯ

КҮН ТИЙБЕГЕН КӨЛӨКӨ ШАРТТАРЫНДА КҮН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫ ҮЧҮН КҮН ЖЫЛУУЛУГУН ТАРТУУ КОЭФФИЦИЕНТИНИН ЫКМАСЫНА НЕГИЗДЕЛГЕН КУБАТТУУЛУКТУ МАКСИМАЛДАШТЫРУУ РЕЖИМИ

POWER MAXIMIZATION MODE BASED ON THE PULL-DOWN COEFFICIENT METHOD FOR SOLAR POWER PLANTS UNDER PARTIAL SHADING CONDITIONS

Бул макалада фотоэлектрдик системанын туруктуу ток циклинде фотоэлектрдик генерацияны моделдөө каралат жана максималдуу кубаттуулуктун иштеши үчүн акылдуу башкаруу алгоритми изилденет. Системалык модулдардын жарым-жартылай көлөкө түшүрүлүшү астында глобалдык максималдуу кубаттуулук чекитин табуунун натыйжалуулугун жогорулаткан төмөндөө коэффициенти ыкмасы сунушталат. MicroPythondo программаланган PyBoard тактасын жана жеке компьютерди камтыган эксперименталдык орнотуу иштелип чыккан башкаруу алгоритмдерин текшерүүгө мүмкүндүк берет. Жыйынтыктар сунушталган стратегия вольт-ватт ийри сызыгындагы жергиликтүү чокулардан натыйжалуу кача тургандыгын көрсөтүп турат. төмөндөө коэффициенти ыкмасы алгоритмдик жөнөкөйлүк жана математикалык конвергенция менен мүнөздөлөт жана контроллерди ишке ашыруунун жогорку ылдамдыгына ээ, бул системанын генерациясынын жогорку тактыгын, ишенимдүүлүгүн жана бекемдигин камсыз кылат.

Ачкыч сөздөр: *фотоэлектридик система, глобалдык максималдуу кубаттуулук чекити, сканерлөө, оптималдаштыруу, жыйрылуу коэффициенти, бөлүкчөлөрдүн үйүрү, тыгыздоо жана байкоо, тартуу-импульстуу өзгөрткүч.*

В данной статье рассматривается моделирование фотоэлектрической генерации в контуре постоянного тока фотоэлектрической системы, проведено исследование интеллектуального алгоритма управления для работы в режиме максимальной мощности. Предложен метод стягивающего коэффициента, повышающий эффективность поиска

глобальной точки максимальной мощности при частичном затенении модулей системы. Экспериментальная установка, включающая в себя плату PyBoard с программированием в MicroPython и персональный компьютер, позволяет верифицировать разработанные алгоритмы управления, а результаты показывают, что предложенная стратегия позволяет эффективно избегать попадания в локальные пики вольт-ваттной кривой. Метод стягивающего коэффициента характеризуется алгоритмической простотой и математической сходимостью, имеет высокую скорость контроллерной реализации, обеспечивая высокую точность, надежность и робастность генерации системы.

Ключевые слова: *фотоэлектрическая система, глобальная точка максимальной мощности, сканирование, оптимизация, стягивающий коэффициент, возмущение и наблюдение, широтно-импульсный преобразователь.*

This article examines the modeling of photovoltaic generation in a DC loop of a photovoltaic system and explores an intelligent control algorithm for maximum power operation. A pull-down factor method is proposed, which improves the efficiency of finding the global maximum power point under partial shading of the system modules. An experimental setup, including a PyBoard board programmed in MicroPython and a personal computer, allows for the verification of the developed control algorithms. The results demonstrate that the proposed strategy effectively avoids local peaks in the volt-watt curve. The pull-down factor method is characterized by algorithmic simplicity and mathematical convergence, and has a high speed of controller implementation, ensuring high accuracy, reliability, and robustness of the system's generation.

Keywords: *photovoltaic system, global maximum power point, scanning, optimization, pull-down factor, perturbance and observation, pulse-width converter.*

Для цитирования: Журавлев О.В., Мишин А.С. Режим максимизации мощности на основе метода стягивающего коэффициента для солнечных электростанций в условиях частичного затенения / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр. 177-189.

Введение

Забота человечества об экологии и истощающихся углеводородах приводят к росту уровня проникновения технологий генерации на основе возобновляемых источников энергии. Среди них технологии генерации энергии на основе солнца из-за их доступности и почти нулевых выбросов, особенно фотоэлектрические системы (ФЭС), преобразующие напрямую солнечное излучение в электричество. ФЭС установки имеют разнообразные применения, которые делятся на подключенные к сети и автономные. Приложения, подключенные к сети, обычно включают гибридные энергетические системы и солнечные фермы для снабжения энергосистемы электричеством, в то время как автономные применения в основном относятся к водяным насосам, системам освещения, электрифицированному транспорту, а также космическим приложениям [1,2,3]. Текущая вольт-ваттная характеристика (ВВХ) ФЭС меняются нелинейно в зависимости от значений климат-параметров локации системы. Существует рабочая точка на этой кривой, при которой можно достичь наивысшей эффективности и мощности, называемая точкой максимальной мощности (ТММ). Лучшее решение для определения ТММ – использование контроллеров отслеживания максимальной мощности, которые поддерживают

операционную работу в этой точке с наивысшей эффективностью. Эти контроллеры имеют разные особенности, связанные с их сложностью, гибкостью, количеством установленных датчиков, устойчивостью работы и характеристиками скорости и сходимости процессов регулирования. Такие климатические факторы, как температура окружающей среды и солнечное излучение, являются основными факторами влияющими на генерируемую выходную мощность ФЭС. Солнечное излучение может быстро меняться в течении короткого времени из-за возникшей облачности, загрязнения и деградации панелей, называемое частичное затенение. Всё вышеуказанное существенно меняет генерируемую мощность ФЭС и создает трудности в поиске глобальной ТММ (ГТММ) на ВВХ при равномерной (рисунок 1) или неравномерной освещённости (рисунок 2):

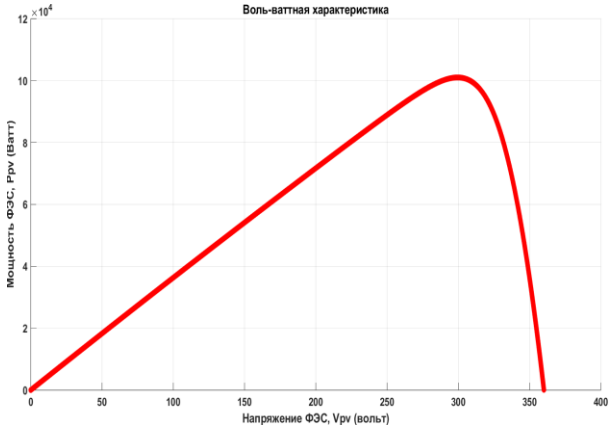


Рисунок 1 – Функция с одним пиком

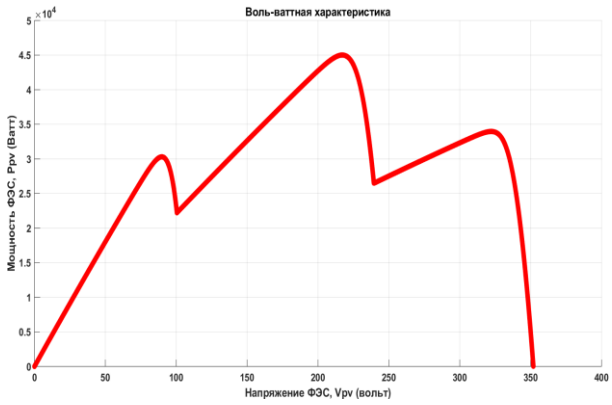


Рисунок 2 – Функция с несколькими пиками

Несмотря на выстраивание сложных классификаций по некоторым дополнительным детализирующим признакам [4,5,6], в настоящее время исследования и разработки алгоритмов поиска ГТММ для ФЭС в условиях частичного затенения практически сосредоточены на трёх направления алгоритмизации контроллеров: традиционные, интеллектуальные (на основе оптимизации или нейросети), и гибридные.

Традиционные алгоритмы. Наиболее распространенными являются алгоритмы возмущения и наблюдения (P&O), инкрементальной проводимости (INC) [4,5,6]. Являясь самыми простыми и удобными в алгоритмизации и реализации, они фундаментально исследованы. Обладают высокой эффективностью в случае равномерного освещения, так как не требуют перезапуска алгоритма при небольших изменениях мощности. Существенный их недостаток - попадая в локальные «ловушки», образуемые в многопиковых кривых, они снижают потенциал ФЭС в условиях частичного затенения.

Алгоритмы оптимизации. Сегодня эволюционные алгоритмы находят оптимальное решение проблемы из всех возможных альтернативных интеллектуальных методов. Являются более гибкими при решении сложных нелинейных задач. Не попадают в локальный максимум в динамических условиях эксплуатации. Наиболее оптимальным решением для поиска ГТММ считались алгоритмы на основе методов оптимизации роя частиц (PSO), колонии муравьев (ACO), генетического алгоритма (GA) [7,8,9], программируемые в цифровых контроллерах. Классическая математическая интерпретация этих оптимизационных алгоритмов требует улучшений с учетом предмета приложения.

Нейросеть и нечеткая логика. Эти алгоритмы обладают потенциалом для решения многих проблем, связанных с методами ГТММ, без сложных математических операций или точных параметров нейросети. В связи с популярностью этого направления широко исследуются интеллектуальные алгоритмы управления с нечеткой логикой (FLC), искусственные нейронные сети (ИНС). Пока что такие алгоритмы является трудоемкими в проектировании, требуют большой вычислительной нагрузки и являются дорогостоящим схемотехническим решением [6,7].

Гибридные алгоритмы. Гибридные алгоритмы стали основной тенденцией, достигая более комплексной и улучшенной производительности ГТММ-контроллеров за счет синергетического сотрудничества преимуществ различных алгоритмов. По критериям скорости и точности отслеживания, простоты реализации, по вычислительной нагрузке в современных цифровых контроллерах, достижение оптимума эффективно обеспечивает комбинация интеллектуальной технологии (GA, PSO, ACO) и традиционного алгоритма P&O или INC [7,8,9].

Недостатком всех указанных методов в солнечной энергетике является их разнородность, тщательная настройка различных параметров и коэффициентов, используемых в алгоритмах поиска ТММ.

В данной работе предлагается алгоритм режима поиска ГТММ на основе метода стягивающего коэффициента (ГТММ-МСК) с адаптивным шагом изменения мощности без настройки параметров и коэффициентов, который дополняет его применение в интеллектуальном управлении активной мощностью (ИУАМ) [10,11,12].

Материалы и методы исследования

Отметим ряд свойств МСК при реализации ИУАМ-режимов цифровых контроллеров:

- расчёт смещения рабочей точки напряжения построен по принципу «одной точки», сформированной в предыдущей итерации расчёта, тогда как другие алгоритмы используют принцип «двух или множества точек»;
- не требует определения знака приращения шага, так как направление смещения рабочего напряжения определяется стягивающим коэффициентом;
- не требует настройки масштабных параметров (различных коэффициентов, шагов напряжения и т.п.) и формирования условий адаптации;
- расчёты не привязаны к номинальным параметрам фотоэлектрического модуля и структуры ФЭС;
- использование формул расчёта существенно сокращает трудоёмкость алгоритмов контроллера, их программирование, длительность цикла выполнения итерации до минимального, обеспечивая сверхбыструю сходимость метода;
- обладает свойством динамической би-направленности расчётов к вертикальному направлению движения рабочей точки по ВВХ и универсален к горизонтальному выбору стороны регулирования,
- диапазон поиска всегда фиксирован и контролируем в границах [0, 1] даже в динамике изменения климат-кадров;
- легко контролировать исключительные ситуации с предложенными показателя контроля.

Разработке методов для режимов частичной нагрузки и резервирования мощности (РЧН и РРМ) в ИУАМ с применением МСК посвящены работы [10,11], с применением других методов [13,14,15]. В настоящей статье применимость МСК в различных режимах дополняется исследованием выработки электроэнергии в режиме максимальной мощности (РММ). Заметим, что в расчётных формулах используется нормализация рабочего значение напряжения относительно напряжения разомкнутой цепи $V_{\text{рц}}$, $d(k) = V(k)/V_{\text{рц}}$, которая делает эту характеристику безразмерной и контролируемой в рабочем диапазоне $d = [0 \div 1]$.

Сверхбыстрый алгоритм интеллектуального управления режима максимальной мощности ФЭС по методу стягивающего коэффициента в условиях частичного затенения. Режим максимальной мощности обеспечивает выработку максимально-пригодной мощности и выполняется в два этапа.

На первом этапе решается задача локализации максимальной мощности путем сканирования в допустимом диапазоне напряжения, а на втором – проводится оптимизации ГТММ с требуемой точностью по критерию мощности, т.е. процесс пикирования.

Сканирование рабочего диапазона. В этом случае, проводится принудительное итерационное приращение мощности ФЭС в климат-кадре $P(k)^*$ меняется на каждой итерации по формуле:

$$P(k)^* = P(k-1)^* + \Delta P_{\text{рим}} \ , \tag{1}$$

где k – индекс итерации, обеспечивающей изменение текущей мощности $P(k)$ до допустимой мощности $P^*(k)$; $\Delta P_{\text{рим}}$ – допустимое приращение текущей мощности на каждой –итерации – является константой. Фактически, алгоритмический цикл по –параметру устанавливает требование по сдерживанию мощности, обеспечивая её плавное изменение в процессе сканирования за счет её дискретного изменения по формуле (1). Отметим, что при этом рабочее напряжение ФЭС (Vсэс) на итерационном шаге меняется адаптивно с переменным шагом. В качестве графической интерпретации принципа работы предложенного алгоритма с итерационным изменением мощности служат представленные результаты моделирования на рисунках 5, 6, 7 и 8.

Алгоритм МСК основан на математическом решение задачи пересечения изменяющейся горизонтальной прямой, характеризующей ограничение P^*, с нелинейной кривой ВВХ. Согласно такому принципу управления характеристика $d(k)$ меняется по формуле:

$$d(k+1) = d(k) \cdot {P(k)^*}\big/{P(k)} \tag{2}$$

где k – индекс итераций алгоритмического цикла ИУАМ–контроллера, обеспечивающих набор (снижение) текущей мощности $P(k)$ до $P^*(k)$.

Стягивающий коэффициент определяется по формуле:

$$C_c(k) = \frac{P^*(k)}{P(k)}.$$

Пикирование в области ГТММ. Результатом выполнения процесса сканирования является значение напряжения, соответствующее наибольшему значению мощности. Это

точка, становится стартовой для выполнения решения задачи оптимизации мощности - пикирования.

Далее, алгоритм выполняется согласно формулы (2) с сокращением шага изменения мощности $\Delta P_{\text{рим}}$ по принципу «деления на два» при изменении знака условия контроля:

$$(P(k)^* - P(k-1)^*)/(V(k)^* - V(k-1)^*) \quad (3)$$

Алгоритм достигает ГТММ при условии достижения точности расчета ТММ - ε :

$$(P(k)^* - P(k-1)^*) \leq \varepsilon$$

Перезапуск предлагаемого алгоритма осуществляется при изменении нагрузок и/или атмосферных условий. Условие перезапуска:

$$\left|P_{pv_{\text{нов}}} - P_{pv_{\text{стар}}}\right| / P_{pv_{\text{стар}}} \geq \Delta P_{\%},$$

где $\Delta P_{\%}$ – дополнительный признак изменения атмосферных условий, %; $P_{pv_{\text{нов}}}, P_{pv_{\text{стар}}}$ – мощности, полученные на текущей и предыдущей итерациях соответственно, Вт.

Показатели контроля точности и надежности работы алгоритмов:

- Границы рабочего диапазона, т.е. когда $d \neq [0,1]$;
- При пикировании - сторона регулирования от ГТММ. Это условие предполагает, что знак выражения $((P(k) - P(k-1))/(d\big((k) - d(k-1)\big)$ должен быть неизменяемым: положительным слева или отрицательным справа от пика ГТММ;
- Точность расчёта ГТММ – ε.

Таким образом, при пикировании ГТММ–МСК алгоритм основан на сравнении выходной мощности с её значением на предыдущем шаге с использованием адаптивного динамического возмущения напряжения, определяемого мощностным приращением.

Экспериментальная установка

Для проведения экспериментов системы управления ФЭС в реальном масштабе времени использовалась платформа PyBoard, представляющая собой плату разработки на базе микроконтроллера STM32 (МК), с подключенным персональным компьютером (ПК). Плата имеет встроенный USB-интерфейс, набор контактов для ввода/выводов общего пользования и другие функции (акселерометр и часы реального времени). На ней запускается MicroPython, что позволяет быстро создавать прототипы встроенных систем. При этом ориентация MicroPython на совместимость с «обычным» Python упрощает перенос отдельных фрагментов вычислительной логики между ПК (анализ и верификация) и МК (проверка работы на соответствие программы в реальном времени). Технические характеристики Pyboard: – микроконтроллер STMicro STM32F7 Arm Cortex M7 с 216 МГц и 512 Кб RAM, 2 Мб флэш-памяти; хранилище – слот для микро SD карты и двух внешних флэш-чипов; USB – доступ к флэш-диску и USB для последовательной отладки и программирования; сеть – WiFi и Bluetooth с встроенной в плату антенной и u.FL разъемом для антенны; - универсальные программно-настраиваемые контакты входа/выхода на плате,

которые либо для считывания информации (вход), либо для управления внешними устройствами (выход). Внешний вид программируемой платформы PyBoard с микроконтроллером STM32 изображен на рисунке 3.

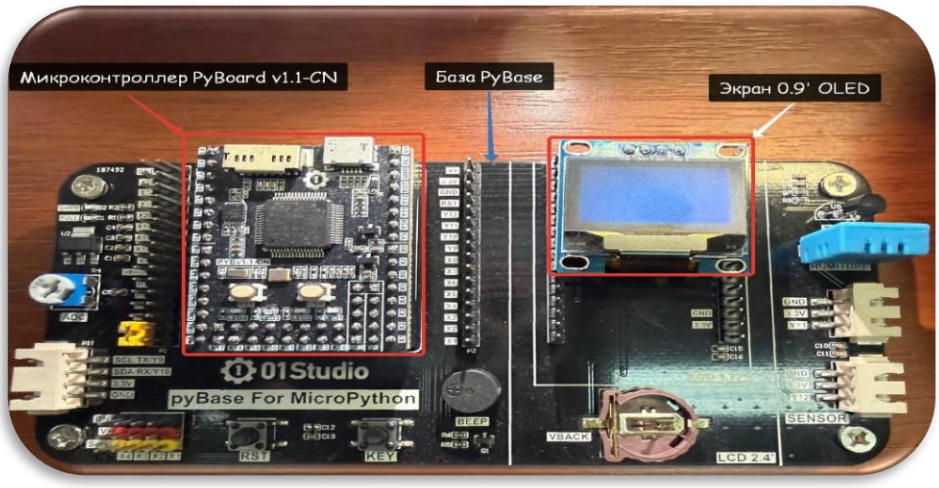


Рисунок 3 – Внешний вид программируемой платформы PyBoard с микроконтроллером STM32

Для отладки, верификации и визуализации процесса в реальном масштабе времени используется ПК, генерирующий набор шаблонов ВВХ, с выводом на экран компьютера динамически перемещаемую операционную точку регулирования напряжения (рисунок 4).

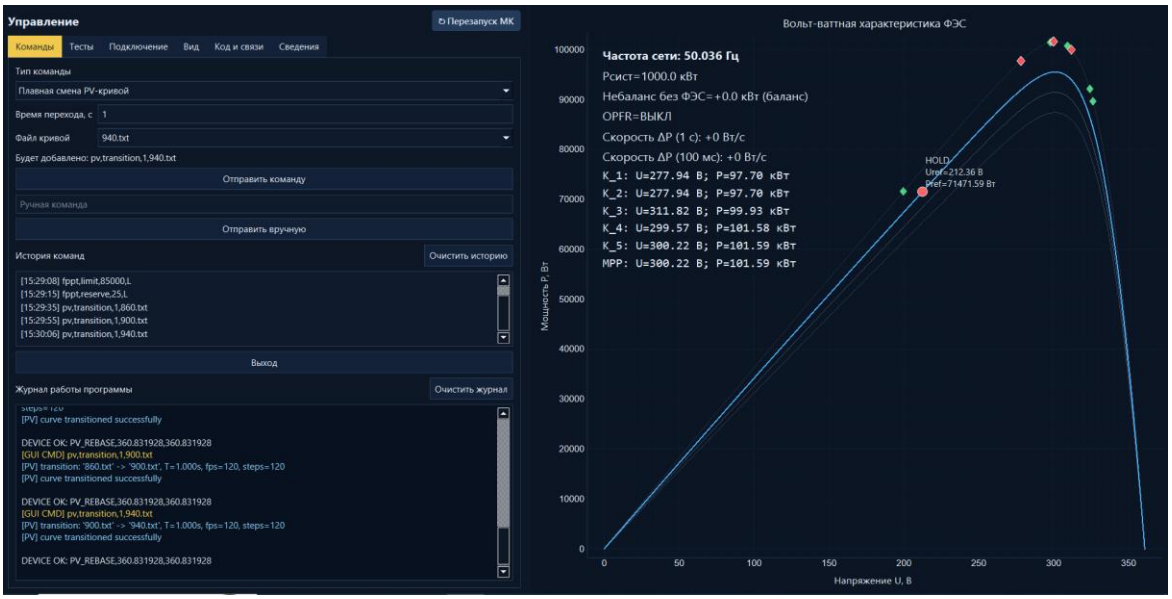


Рисунок 4 - Интерактивный экран визуализации процесса регулирования операционной точки напряжения

Шаблоны освещённости: Ш1-шаблон равномерной освещённости, Ш2-Ш4 - шаблоны частичного затенения и номинальные параметры ФЭМ API-P215 представлены в таблицах 1 и 2 соответственно. Структура генерации ФЭС состоит из 47 параллельно соединённых

рядов, каждый из которых состоит из 10 последовательно соединённых модулей, образующих секции. В таблице 1: секция 1 (С1)– один модуль, секция 2 (С2) – три модуля, секция 3 (С3) – три модуля, секция 4 (С4) – три модуля.

Характеристики $P_{pv} = f(V_{pv})$ для ФЭС с модулями API-P215 рассматриваемых шаблонов Ш1-Ш4 представлены на рисунках 5, 6, 7 и 8.

Сценарий поиска ГТММ. Суть процесса поиска ГТММ заключается в моделировании перемещения операционной точки в рабочем диапазоне напряжения ФЭС вдоль многопиковой вольт-ваттной характеристики с достижением глобального максимума целевой функции-мощности P_{pv} (рисунок 2):

$$P_{pv} = V_{pv} \cdot I_{pv}\,(G, T),$$

где: V_{pv}, I_{pv} – напряжение и ток фотоэлектрической генерации соответственно; T – температура поверхности панели; G – освещённость.

Данный сценарий управления опирается на показания только двух параметров контура постоянного тока: напряжения и тока. Эти параметры не являются климат-параметрами ФЭС: (температура и освещённость), датчики которых не используется в системе. Этот подход является несомненным преимуществом по сравнению с другими сценариями реализации интеллектуальных контроллеров [5,6,7].

Таблица 1. –Шаблоны освещённости и максимальной мощности

№/единица	С1	С2	С3	С4	Рмакс(Вт)
Ш1(Вт/м2)	1000	1000	1000	1000	101596
Ш2(Вт/м2)	1000	1000	900	800	86470
Ш3(Вт/м2)	1000	1000	800	600	66752
Ш4 (Вт/м2)	600	300	1000	600	44598

Таблица 2. – Номинальные параметры ФЭМ API-P215

Параметр	Значение
Максимальная мощность, Вт	214,96
Напряжение холостого хода, В	36
Ток короткого замыкания, А	7,83
Напряжение ТММ, В	29,94
Ток ТММ, А	7,18

Шаблоны 2-4 смоделированы при условиях частичного затенения, максимальные мощность шаблонов приведены в таблице 1. Для демонстрации реализации предложенного метода приводится примеры с полным сканированием допустимого диапазона напряжения, когда стартовая точка алгоритма размещена с левой стороны от ТММ. Экспериментальная

установка для отладки, верификации и исследования представленной модели ФЭС позволяет сформировать поведение режима работы контура постоянных токов в РММ и выводом сформированных списков данных в виде ВВХ на экране ПК. Траектории поиска ГТММ в условиях частичного затенения с параметрами и характеристиками представлены на рисунках 5, 6, 7 и 8 в соответствии с шаблонами в таблице 1.

Результаты моделирования.

Шаблон 1. Значения освещённости всех ФЭМ составляют 1,0 кВт/м². Полученная ВВХ имеет пик с наибольшей мощностью 101.596 кВт (рисунок 5). Полное время поиска ГТММ-МСК составляет 12,491 мсек.

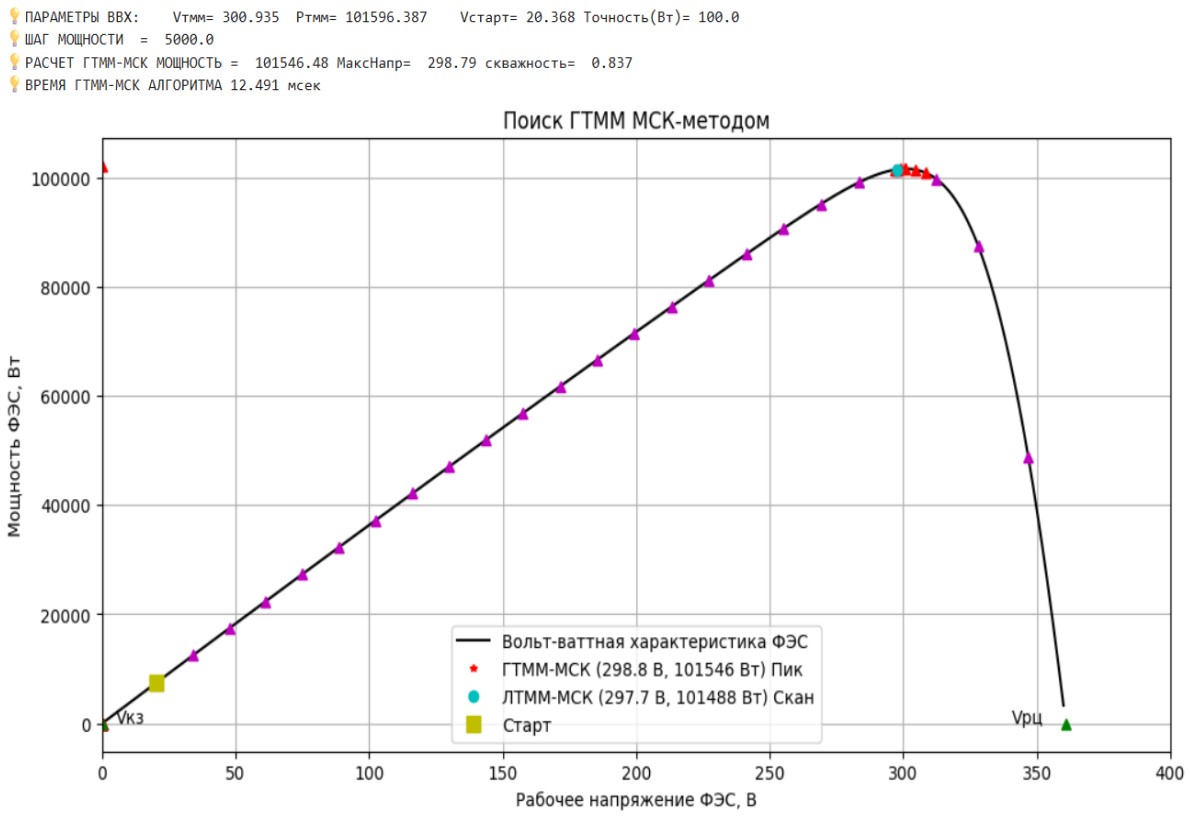


Рисунок 5 – Траектория управления РММ-шаблон 1 с использованием контроллера ГТММ-МСК
в Micro-Python

Шаблон 2. Значения солнечной радиации для шаблона 2 во втором сценарии составляют соответственно 1,0 кВт/м², 1,0 кВт/м², 0,9 кВт/м² и 0,8 кВт/м². Полученная ВВХ имеет три пика, третий пик имеет наибольшую мощность 86.470 кВт (рисунок 6). Полное время поиска ГТММ-МСК составляет 15,62 мсек.

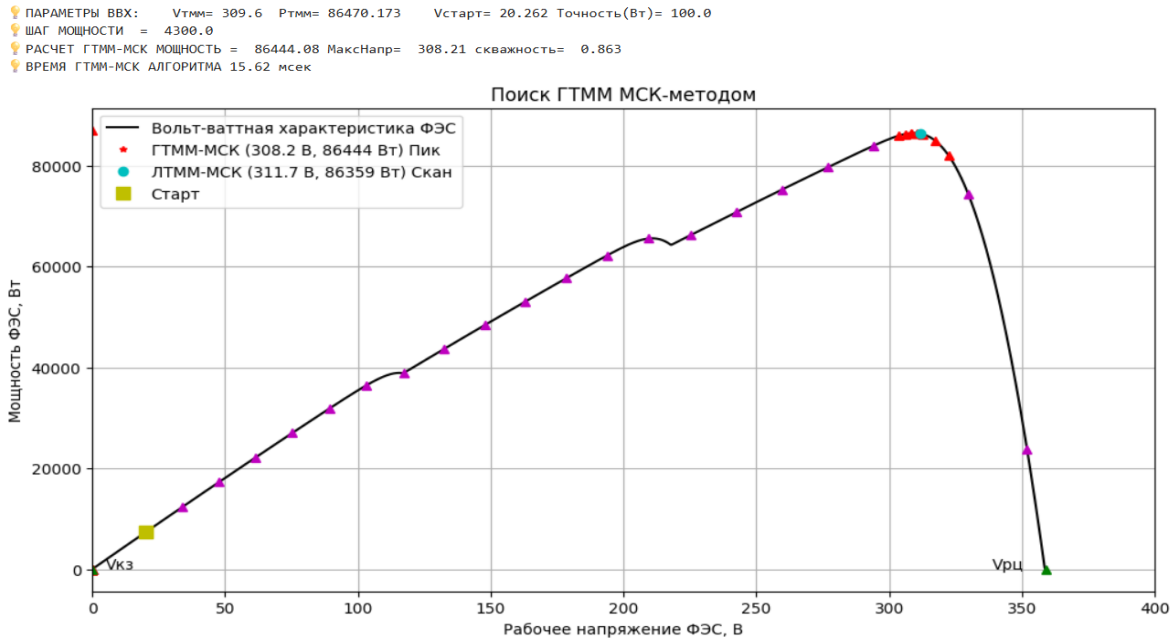


Рисунок 6 –Траектория управления РММ-шаблон 2 с использованием контроллера ГТММ-МСК в Micro-Python

Шаблон 3. Значения солнечной радиации для шаблона 3 в третьем средне-вероятном сценарии составляют соответственно 1,0 кВт/м², 1,0 кВт/м², 0,8 кВт/м² и 0,6 кВт/м². Полученная ВВХ имеет три пика, третий пик имеет наибольшую мощность 66.752 кВт (рисунок 7). Полное время поиска ГТММ составляет 17,585 мсек.

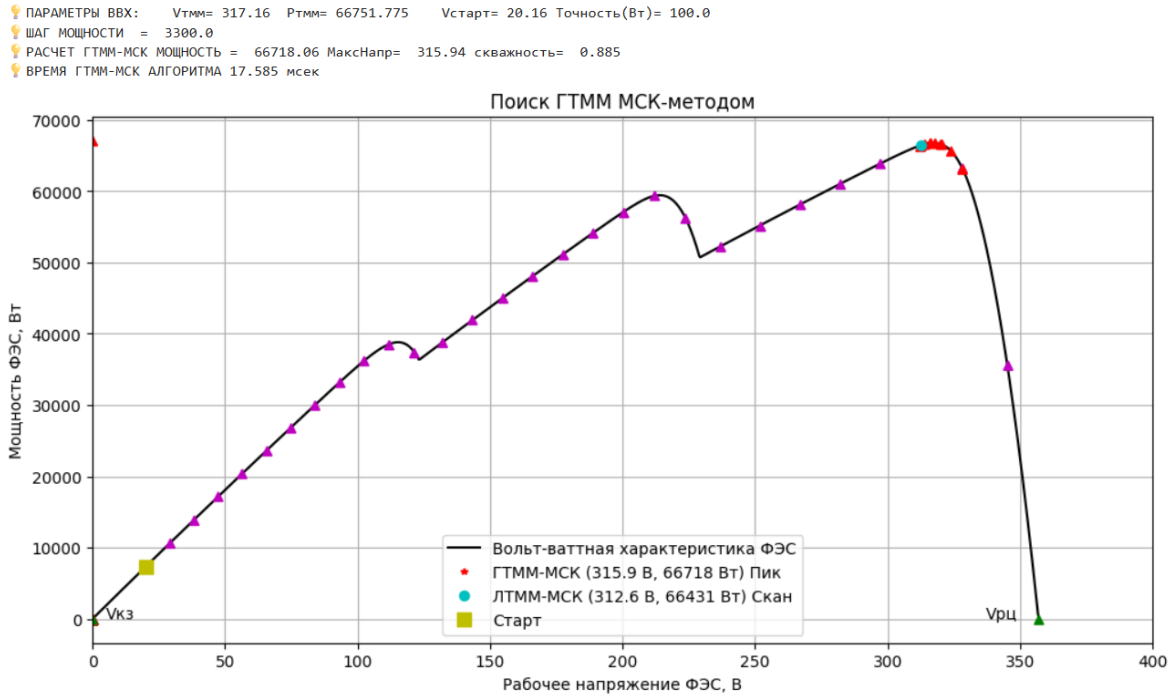


Рисунок 7 –Траектория управления РММ-шаблон 3 с использованием контроллера ГТММ-МСК в Micro-Python

Шаблон 4. Значения солнечной освещённости для шаблона 4 составляют соответственно 0,6 кВт/м², 0,3 кВт/м², 1,0 кВт/м² и 0,6 кВт/м². Полученная ВВХ имеет три пика, второй пик имеет наибольшую мощность 44.598 кВт (рисунок 8). Полное время поиска ГТММ-МСК составляет 11,824 мсек.

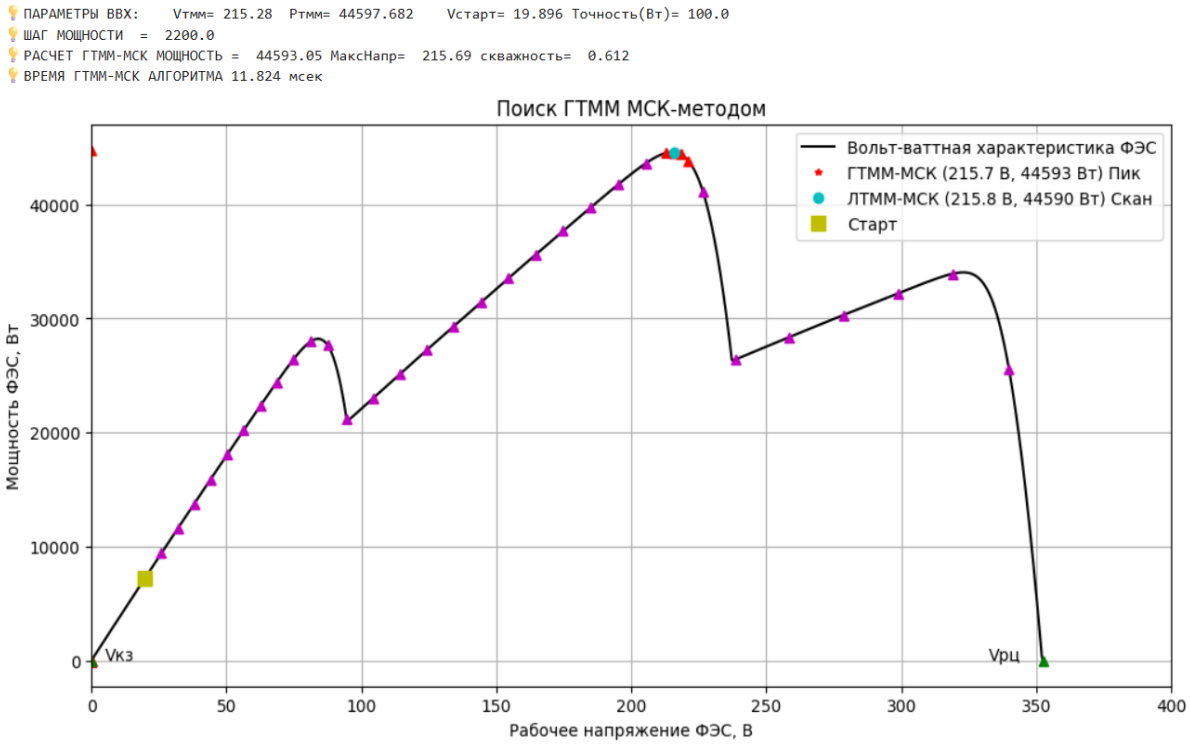


Рисунок 8 – Траектория управления РММ-шаблон 4 с использованием контроллера ГТММ-МСК в Micro-Python

Экспериментальные результаты показывают, что контроллер с предложенным алгоритмом ГТММ–МСК, способен быстро реагировать на внезапные изменения климат-параметров и поддерживать стабильную генерацию и преобразование тока и напряжения, демонстрирует эффективность управления ФЭС, обеспечивая стабильную работу, не вызывая значительных колебаний или задержек. Проведенные исследования показывают, что эффективность работы системы заметно увеличивается: повышается быстродействие по сравнению с другими алгоритмами (миллисекундный масштаб), требуется меньшее количество информации для обработки, нарастание мощности происходит плавно.

Заключение. При суточном планировании выработки электроэнергии ФЭС возникает необходимость перехода в режим поиска ГТММ, который может быть важен в управлении ИУАМ и связан выполнением нескольких интеллектуальных системных функций [12]:

– режим выработки максимально-пригодной электроэнергии в обычной ситуации; - режим выработки максимально-пригодной электроэнергии в ситуации аварийно-инерционной поддержки частоты электросети; – режим виртуального резервирования электроэнергии относительно максимального значения; – режим согласованной выработки с равномерно-распределенным динамическим резервированием по составляющим распределенных ФЭС.

Предложенный режим управления ГТММ–МСК контроллера выполняется с итерационно-изменяющимся уровнем мощности в два этапа: на первом – сканирование для

определения области нахождения глобального пика ВВХ в рабочем диапазоне напряжения: на втором – решается задача оптимизации, достигая ГТММ с проектируемой точностью сверх быстро.

Преимущества предложенного алгоритма, в том числе и в условиях частичного затенения:

– целевое решение реализовано одним методом, т.е. без гибридизации методов;

– расширяет класс задач в интеллектуальном управлении активной мощностью, решаемых на основе МСК;

– реализуется для всевозможных условий частичного затенения и температуры модулей ФЭС;

– базируется на показаниях только двух параметров: тока и напряжения, без использования климат-датчиков;

– исключает попадание трека в локальные ловушки ВВХ-кривой;

– обеспечивает высокую сходимость алгоритма и высокое быстродействие как при резком изменении климат-параметров, так и при незначительной динамике.

Список литературы

1. Илюшин, П.В. Интеграция электростанций на основе возобновляемых источников энергии в Единой энергетической системе России: обзор проблемных вопросов и подходов к их решению [Текст] / П.В. Илюшин // Вестник МЭИ. – 2022. -№ 4. – с. 98–107.

2. Стребков, Д.С. Роль новых технологий в развитии солнечной энергетики [Текст] / Д.С. Стребков, Н.Ю. Бобовников // «Энергетик». – 2020. -№ 7. – с. 33–36.

3. Илюшин, П.В. Обзор возможностей для увеличения доли ветровых и солнечных электростанций в структуре генерирующих мощностей энергосистем [Текст] / П.В. Илюшин, И.Д. Георгиевский // «Энергетик». – 2023. - № 5. – с. 13–18.

4. Kumar M., Panda K., Rosas-Caro J., Valderrabano-Gonzalez A., Panda J. Comprehensive review of conventional and emerging maximum power point tracking algorithms for uniformly and partially shaded solar photovoltaic systems // IEEE Access. – May 2023. - vol. 11. DOI:10.1109/ACCESS.2023.3262502.

5. Yang B., Xie R., Guo Z. Maximum power point tracking technology for PV-systems: Current status and perspectives//Energy Engineering. – 2024. - vol. 121(8). DOI: 10.32604/ee.2024.049423

6. Podder A., Roy N., Pota H. MPPT methods for solar PV systems: A critical review based on tracking nature // IET Renewable Power Generation. – 2019. – vol. 13, - no.10. – pp. 1615–1632.

7. Shankar G., Mukherjee V. MPP detection of a partially shaded PV array by continuous GA and hybrid PSO // Ain Shams Engineering Journal. – 2015. - v. 6 - №2. – pp. 471-479.

8. Журавлев, О.В. Цифровизация фотоэлектрических систем интеллектуальными контроллерными алгоритмами [Текст] / О.В. Журавлев и др. // Известия вузов Кыргызстана. – 2025. - № 3. – с.126–131. DOI:10.26104/IVK.2024.44.53.001.

9. Mishin A.S., Zhuravlev O.V. Enhancing global maximum power point tracking in partically shaded photovoltaic systems using agent colony optimization // 2025 7-th International

Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, April 2025, pp. 1-6. DOI:10.1109/REEPE63962.2025.10971126.

10. Журавлев, О.В. Гибкие алгоритмы отслеживания режимов постоянной и резервной мощности фотоэлектрических систем на основе метода стягивающего коэффициента [Текст] / О.В. Журавлев, А.С. Мишин // «Энергоэксперт». – 2025. - № 3. – с. 44–50.

11. Журавлев, О.В. Гибкий интеллектуальный контроллерный алгоритм режима резервирования мощности фотоэлектрических систем по методу стягивающего коэффициента [Текст] / О.В.Журавлев, А.С. Мишин // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2025. - № 3(75). – с. 811–819. DOI:10.56634/16948335.2025.3.811-819.

12. Журавлев О.В. Интеллектуальное управление мощностью солнечных электростанций для поддержания частоты в изолированных энергосистемах [Текст] / Журавлев О.В. // «Энергетик». – 2026. – №8. – с.26-33. DOI: 10.71527/EP.EN.2026.08.004.

13. Tafti H., Sangwongwanich A., Yang Y., Pou J., Konstantinou G., Blaabjerg F. An adaptive control scheme for flexible power point tracking in photovoltaic systems // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2018. - vol. 34(6). – pp. 5451–5463. DOI.org/10.1109/TPEL.2018.2869172.

14. Kumaresan A., Tafti H., Kandasamy N., Fariva G, Pou J., Subbaiyan T. Flexible power point tracking for solar photovoltaic systems using secant method // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2021. - vol. 36(8). – pp. 9419–9429. DOI.org/10.1109/TPEL.2021.3049275.

15. Kumaresan A., Tafti H., Kandasamy N., Pou, J. Flexible power point tracking algorithm for photovoltaic systems using the Newton’s method // IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2021. - October. DOI: 10.1109/IECON48115.2021.9589958.

УДК 624. 04

Душко О.В., Бочков М.И., Баличева Е.Р., Матиевская А.П.
Волгоград мамлекеттик техникалык университети,
Волгоград шаары, Россия Федерациясы
Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Российская Федерация

O.V. Dushko[1] M.I. Bochkov[2] E.R. Balicheva A.P. Matievskaya
[1]Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
[1]ORCID: 0000-0002-0818-6933
[2]ORCID: 0000-0002-3982-1899
maxim.bochckow@yandex.ru

РАСЧЕТ СВАЙНОГО РОСТВЕРКА МЕТОДОМ КОМПЕНСИРУЮЩИХ НАГРУЗОК С УЧЕТОМ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ЗАКОНА РАБОТЫ КОНСТРУКТИВНО-НЕЛИНЕЙНЫХ ОПОР

ПОЛИНОМИАЛДЫК МЫЙЗАМДЫ ЭСКЕ АЛУУ МЕНЕН, КОНСТРУКТИВДҮҮ СЫЗЫКТУУ ЭМЕС ТАЯНЫЧТАРДЫН ИШТӨӨСҮНҮН КОМПЕНСАЦИЯЛЫК ЖҮКТӨӨ МЕТОДУ МЕНЕН ҮЙМӨ РОСТВЕРГИН ЭСЕПТӨӨ

CALCULATION OF A PILE GROUTING CAP BY THE COMPENSATING LOAD METHOD CONSIDERING THE POLYNOMIAL LAW OF OPERATION OF CONSTRUCTIVELY NONLINEAR SUPPORTS

Макала курулуш механикасынын чөйрөсүндөгү конструктивдүү сызыктуу эмес маселелерди чечүү ыкмасын сүрөттөөгө арналган. Бул ыкма авторлор тарабынан мурун жарыяланган макалаларында сунушталган. Ыкманын маңызы — компенсациялык жүктөө методун чектүү элементтер методу менен айкалыштырууда, ал классикалык аралаш формулировка аркылуу ишке ашырылат. Белгилей кетүүчү нерсе, бул метод көрсөтүлгөн класстагы бир катар маселелерде, анын ичинде реалдуу конструкциялардын эсептөөлөрүндө өзүнүн иштөө жөндөмдүүлүгүн көрсөткөн. Ушул иште авторлор андан ары өнүгүшөт — байланыштардын иштөө мыйзамы татаалыраак болгон маселелерге методду жайылтуу мүмкүнчүлүгү изилденүүдө, бул конструктивдүү элементтердин реалдуу жүрүм-турумун такыр башка тактык менен кайра жаратууга мүмкүндүк берет. Конструктивдүү сызыктуу эмес байланыштын иштөөсүн сүрөттөө үчүн кыртыш массивиндеги үймөнүн деформацияланyу графиги алынган. Макалада сунушталган алгоритмдин өзгөртүлгөн нускасы классикалык текшерүү маселесинде — бекемделүү эффектиси менен серпилгич мүнөздүү таянычтарга таянган аркалыктын эсептөөсүндө верификациядан өткөрүлдү.

Ачкыч сөздөр: *курулуш механикасы, аралаш формадагы чектүү элементтер методу, сандык методдор, конструктивдүү сызыктуу эместик, үймөлөр, негиздер жана фундаменттер.*

Статья посвящена описанию подхода к решению конструктивно-нелинейных задач в области строительной механики, который был предложен авторами в их предшествующих публикациях. Суть подхода — в объединении достоинств метода компенсирующих нагрузок с методом конечных элементов, реализованным через классическую смешанную формулировку. Стоит отметить, что данный метод уже продемонстрировал свою работоспособность на ряде задач указанного класса, включая расчёты для реальных конструкций. В настоящей работе авторы продвигаются дальше – исследуется возможность распространения метода на задачи, в которых закон работы связей является более сложным, что, соответственно, позволяет с большей точностью воспроизводить реальное поведение конструктивных элементов. В качестве модели для описания работы конструктивно-нелинейной связи взят график деформирования сваи в грунтовом массиве. Модифицированный вариант алгоритма, который предлагается в статье, прошёл верификацию на классической тестовой задаче – расчёте балки, опирающейся на упругоподатливые опоры с эффектом упрочнения.

Ключевые слова: *строительная механика, метод конечных элементов в смешанной форме, численные методы, конструктивная нелинейность, сваи, основания и фундаменты.*

Paper presents an approach to solving structurally nonlinear problems in the field of structural mechanics, originally proposed by the authors in their earlier publications. The core idea of the approach lies in combining the advantages of the compensating loads method with the finite element method implemented through the classical mixed formulation. It should be noted that this method has already demonstrated its effectiveness on a number of problems of the specified class, including calculations for real structures. In the present work, the authors go further — the possibility of extending the method to problems involving a more complex law of constraint behavior is investigated, which, accordingly, allows for a more accurate reproduction of the real behavior of structural elements. The deformation curve of a pile in a soil mass is adopted as a model for describing the behavior of a structurally nonlinear constraint. The modified version of the algorithm proposed in the paper has been verified on a classical benchmark problem — the calculation of a beam resting on elastically compliant supports with a hardening effect.

Key words: *structural mechanics, mixed finite element method, numerical methods, structural nonlinearity, piles, soil mechanics and foundations.*

Для цитирования: Душко О.В., Бочков М.И., Баличева Е.Р., Матиевская А.П. Расчет свайного ростверка методом компенсирующих нагрузок с учетом полиномиального закона работы конструктивно-нелинейных опор / Известия КГТУ имени И. Раззакова. – 2026. – 379. – стр. 190 - 199.

Введение

Проектирование строительных конструкций, работающих совместно с грунтовым основанием, и по сей день остаётся одной из тех задач строительной механики, которые вызывают наибольшие затруднения у инженеров и исследователей. Причина тому — в самой природе рассматриваемой системы. Надземная часть сооружения и грунтовый массив под ним должны рассматриваться как единое целое, деформирующееся совместно, однако механическое поведение грунта принципиально отличается от поведения конструкционных

материалов. Уже при сравнительно невысоких уровнях нагружения грунт способен проявлять ярко выраженную нелинейность. Подобная специфика делает задачу расчёта существенно более трудоёмкой по сравнению с анализом конструкций, опирающихся на идеализированные жёсткие или линейно-упругие основания.

Актуальность этой проблемы возрастает с каждым годом. Современные здания и сооружения становятся выше и тяжелее, передаваемые на основание нагрузки растут, а требования к надёжности ужесточаются. В таких условиях корректный расчёт систем вида «балка — свайное основание» приобретает первостепенное значение. Между тем, традиционные расчётные подходы, как правило, опираются на допущение о линейной работе грунта. Это допущение удобно с вычислительной точки зрения, но оно приводит к систематическому искажению картины напряжённо-деформированного состояния: коэффициенты запаса при таком расчёте оказываются неоправданно завышенными, что непосредственно влечёт за собой перерасход материалов и удорожание строительства. Экономический аспект здесь далеко не второстепенен. Как указывается в работе [1], стоимость фундамента может достигать трети от полной стоимости здания — цифра весьма значительная, заставляющая задуматься о необходимости более рационального подхода к проектированию фундаментных конструкций, который бы в полной мере учитывал действительные закономерности деформирования грунта.

Анализ современной научной литературы, посвящённой данной проблематике, показывает, что вопрос моделирования нелинейного деформирования оснований находится в фокусе внимания многих исследовательских групп — как в России, так и за рубежом. Спектр разрабатываемых подходов достаточно широк. В частности, работа [2] посвящена методам оптимизации осадок свайных фундаментов в условиях нелинейной реакции основания; при этом расчёт ведётся с позиций двух групп предельных состояний, что соответствует действующей нормативной базе. Другое важное направление связано с учётом неоднородности грунтовых массивов, армированных вертикальными элементами, — ситуация, типичная для оснований, усиленных сваями или грунтоцементными колоннами. В работе [3] для такого случая выведена замкнутая система уравнений, описывающая нелинейное деформирование вертикально армированного основания, и, что представляет особый интерес для практики, предложена инженерная методика суммирования осадок, основанная на линеаризации исходных нелинейных зависимостей. Подобная методика существенно упрощает расчёт, не требуя от проектировщика применения сложных численных процедур.

Одновременно с развитием аналитических и полуаналитических подходов активно совершенствовались и численные методы расчёта конструкций на нелинейно деформируемом основании. Здесь особого внимания заслуживает дискуссия, развернувшаяся в зарубежной литературе, относительно преимуществ смешанных формулировок метода конечных элементов (МКЭ) перед традиционными схемами, построенными исключительно на перемещениях. A. Ayoub в работе [4] убедительно продемонстрировал, что при анализе балок на упругом основании смешанная формулировка обеспечивает существенно более точное воспроизведение нелинейного поведения как самого несущего элемента, так и подстилающего основания — и при этом оказывается менее затратной в вычислительном отношении по сравнению с формулировкой в перемещениях. Впоследствии указанный подход получил развитие применительно к более сложным конструктивным схемам. Так, для композитных балок с податливыми сдвиговыми связями между слоями использование смешанной формулировки позволило преодолеть трудности, связанные с локализацией

деформаций и концентрацией напряжений в зонах контакта — проблемы, которые при классическом подходе в перемещениях требовали значительного измельчения сетки [5].

В предшествующих публикациях авторов настоящей статьи уже была продемонстрирована эффективность МКЭ в смешанной формулировке применительно к задачам рассматриваемого класса. Базовым является расчётный алгоритм, описанный в работе [6]: он объединяет метод конечных элементов в смешанной форме с процедурой учёта нелинейных связей. Проведённые расчёты показали, что такая комбинация позволяет выходить на требуемую точность решения за сравнительно небольшое число итераций. Кроме того, подход органично сочетается со схемой пошагового нагружения, при которой жёсткостные характеристики связей уточняются поэтапно — по мере нарастания нелинейных деформаций в системе.

Методы и материалы

Продолжая и развивая направление упомянутых выше исследований, в настоящей работе ставится задача модифицировать алгоритм из [6] таким образом, чтобы нелинейное поведение свай фундамента описывалось не кусочно-линейной зависимостью «осадка — нагрузка», а полиномиальной функцией. Если в классическом варианте связь между усилием и перемещением полагается линейной, то в предлагаемой модификации реализуется итерационная процедура последовательного уточнения напряжённо-деформированного состояния на основе метода компенсирующих нагрузок. При этом использование смешанной формулировки МКЭ даёт возможность получать одновременно и перемещения, и усилия в опорных связях — это делает расчёт более информативным, повышает его точность и, что немаловажно, исключает необходимость в промежуточных вычислительных этапах.

Что касается свайных фундаментов, нелинейность их работы выражается в том, что жёсткость сваи меняется с ростом приложенной нагрузки. Результаты экспериментов (рис. 1) демонстрируют, что кривая «осадка — нагрузка» одиночной сваи носит отчётливо криволинейный характер и достаточно хорошо аппроксимируется полиномом второй степени. Отсюда следует, что линейные модели грунтового основания — такие как модель Винклера с неизменным коэффициентом постели — адекватно работают лишь в ограниченном диапазоне начальных нагрузок. При нагружениях, приближающихся к предельным, такие модели уже не способны обеспечить достоверную оценку напряжённо-деформированного состояния рассматриваемой системы.

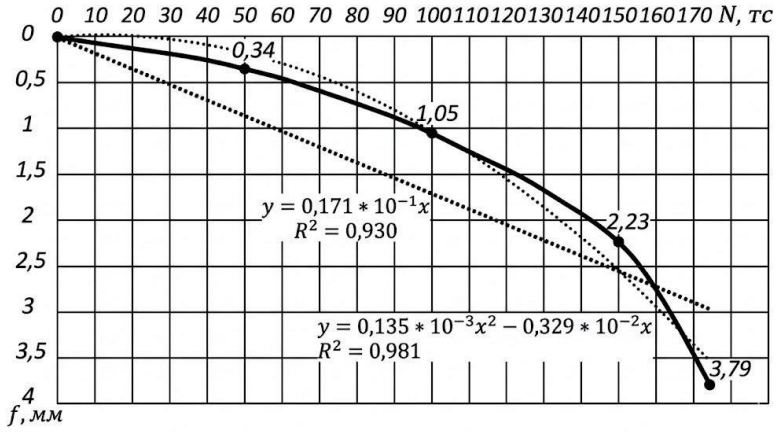


Рисунок 1 – График зависимости осадки сваи от нагрузки
Fig. 1. The graph depicting the dependence of pile settlement on applied load

В рамках метода конечных элементов существует несколько путей учёта нелинейного характера работы связей. Самый очевидный из них — это применение пошагово-итерационных схем: на каждом этапе приложения нагрузки жёсткость связи пересчитывается исходя из достигнутого уровня деформации. Проблема, однако, в том, что подобная процедура вынуждает заново собирать и решать систему уравнений многократно, а это сопряжено со значительными вычислительными расходами. Существует и другой путь — методы, построенные на принципе компенсирующих нагрузок. Идея состоит в следующем: корректировке подвергается вектор узловых усилий, тогда как сама матрица жёсткости системы остаётся неизменной.

В настоящей работе в качестве базового конечного элемента используется изгибаемый стержень (Рисунок 2). Разработке конечных элементов этого типа посвящён целый ряд публикаций как отечественных, так и зарубежных исследователей [9, 10, 11].

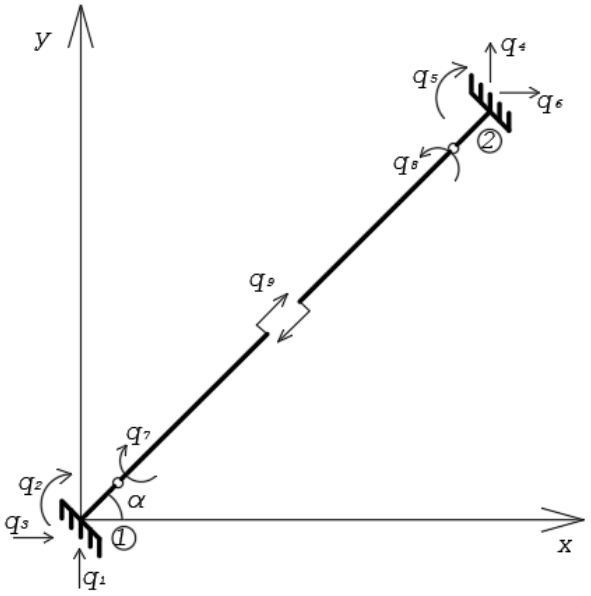


Рисунок 2 – Конечный элемент-стержень смешанного метода
Fig. 2. Mixed-method bar finite element

Изображённый на рисунке 2 стержень характеризуется девятью неизвестными величинами. Из них переменные 1, 3, 4 и 6 представляют собой линейные перемещения; переменные 2 и 5 соответствуют угловым перемещениям, а 7 и 8 — изгибающим моментам. Девятая переменная описывает возникающее продольное усилие.

Характерной особенностью применения метода компенсирующих нагрузок при анализе конструкций с нелинейно работающими связями является то, что дополнительные нагрузки прикладываются по направлению опорной реакции. Назначение этих нагрузок — скомпенсировать изменение жёсткостных характеристик в процессе деформирования. Расчёт начинается с линейного решения, после чего определяется невязка, отражающая отклонение, обусловленное изменением жёсткости, и на её основании вводится компенсирующая нагрузка. Далее невязка вычисляется повторно. Критерием завершения итерационного процесса служит разность невязок между j-й и (j+1)-й итерациями, которая определяется следующим выражением:

$$\delta_{(j+1)} = \frac{\Delta F_{(j+1)} - \Delta F_{(j)}}{\Delta F_{(j+1)}} \cdot 100\%;$$

здесь $\delta_{(j+1)}$ - критерий выхода из алгоритма;

$\Delta F_{(j)}$ - величина компенсирующей нагрузки на (j)-й итерации.

В данной работе расчёт системы осуществляется в два последовательных этапа. Первый этап — это линейное решение задачи с использованием начальных значений жёсткости свай. На основе найденных перемещений для каждой сваи вычисляется действительное усилие — в соответствии с экспериментально полученной кривой деформирования. Разница между этим действительным усилием и тем, которое было получено из линейного расчёта, формирует вектор компенсирующих нагрузок; он прикладывается к системе уже на следующей итерации. Итерации продолжаются до момента, когда изменение невязки от шага к шагу становится меньше наперёд заданного малого порога, — это означает, что система пришла в равновесное состояние.

Результаты и обсуждения

Для проверки работоспособности алгоритма рассматривается тестовый пример изображенный на рисунке 3.

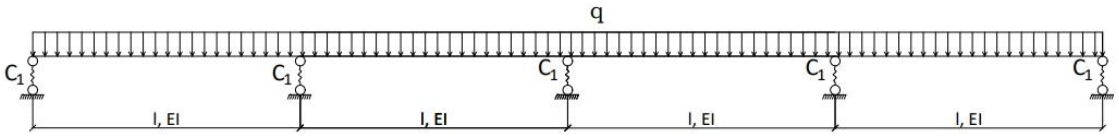


Рисунок 3. Расчетная схема
Fig. 3. Design model

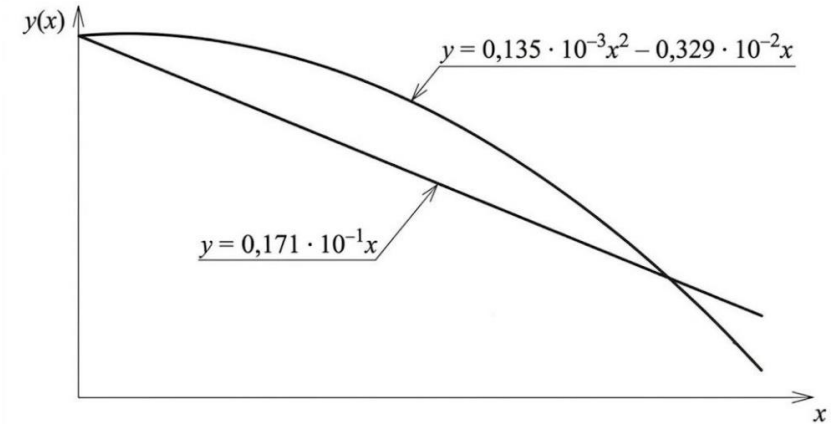


Рисунок 4 – График описывающий жесткость сваи
Fig.4. Graph describing the pile stiffness

Рассматриваемая в данном примере балка обладает следующими характеристиками:

$l = 1,27$ *м*; $EI = 56000$ *кН* $\cdot$ *м*^{4}; $q = 176,52$ *кН / м*

$c_1 = 0,170628571$ *кН / м*, $c_2 = 0,0013545 - 0,0328699$ *кН / м*

В работе [8] приведены параметры односторонних опор этой балки. Их поведение описывается — в соответствии с принятым графиком работы, приведенном на рисунке 4, — следующими неравенствами:

$$R(x)=\begin{cases}0,170628571\cdot x\\ 0,0013546\cdot x^2-0,0328699\cdot x\end{cases}$$

Основная система выглядит так, как показано на рисунке 5:

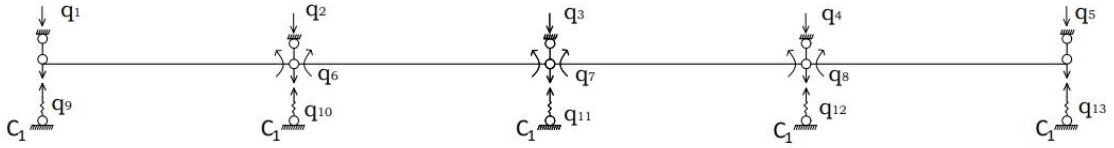


Рисунок 5 – Основная система с конечными элементами второго типа
Fig.5. Primary system with finite elements of the second type

На предварительном этапе, до запуска итерационной процедуры с компенсирующими нагрузками, необходимо было удостовериться в корректности линейной составляющей алгоритма. Для этого рассматриваемая балка — с идентичными геометрическими и жёсткостными параметрами, а также с теми же граничными условиями — была смоделирована в программном комплексе ЛИРА-САПР. Значения перемещений q1, q2, q3, q4, q5, полученные в ЛИРА-САПР, сопоставлялись с соответствующими величинами, найденными аналитически через решение системы разрешающих уравнений метода конечных элементов. Результаты сравнения показали вполне удовлетворительное совпадение — расхождение между двумя группами значений не вышло за пределы допустимой погрешности. Это свидетельствует о том, что и матрица жёсткости системы, и вектор узловых нагрузок были сформированы без ошибок. Линейная часть разработанного алгоритма может считаться проверенной, а дальнейший переход к расчёту с учётом нелинейного характера работы опорных связей осуществляется на надёжной вычислительной базе. Результаты итерационного расчета приведены в таблице 2.

Таблица 1. – Моделирование в ПК ЛИРА-САПР

№ опоры	Численное решение, м	ПК «ЛИРА-САПР», м	Расхождение результатов δ, %
1	-0,929	-0,930	0,042
2	-1,783	-1,784	0,037
3	-2,012	-2,013	0,037
4	-1,783	-1,784	0,037
5	-0,929	-0,930	0,042

Таблица 2. – Результаты итерационного расчета

№ итерации	P_1, кН	δ_1, %	P_2, кН	δ_2, %	P_3, кН	δ_3, %	P_4, кН	δ_4, %	P_5, кН	δ_5, %
1	55.58	0	75.33	0	80.61	0	75.33	0	55.58	0
2	44.46	25.01	61.25	22.98	65.36	23.34	61.25	22.98	44.46	25.01
3	46.66	4.71	63.92	4.17	68.22	4.19	63.92	4.17	46.66	4.71
4	46.23	0.94	63.41	0.80	67.68	0.79	63.41	0.80	46.23	0.94
5	46.32	0.18	63.51	0.15	67.78	0.15	63.51	0.15	46.32	0.18

Заключение

Благодаря применению метода конечных элементов в смешанной формулировке и модифицированного метода компенсирующих нагрузок к решению задачи расчета ростверка удалось добиться высокой степени точности. Суть доработки алгоритма, предложенного авторами ранее, сводится к следующему: зависимость «осадка — воспринимаемая нагрузка» теперь задаётся не кусочно-линейной функцией, а полиномом второго порядка. Такое представление позволяет значительно точнее моделировать деформации, зафиксированные по результатам натурных испытаний грунта сваями.

Использование полинома второй степени даёт значительные преимущества в точности расчета системы свая-грунтовое основание, так как точнее описывает работу сваи в грунте, получаемую экспериментально [9]. Полученные при работе над этой темой алгоритмы также позволят перейти к расчету систем, содержащих связи, работа которых описываются более сложными математическими законами.

При расчёте ростверка, как системы, включающей упругоподатливые связи, была получена хорошая сходимость итерационного процесса, что свидетельствует о перспективности математической модели и применимости для расчета конструкций с большим количеством степеней свободы. Результаты расчета согласуются с результатами расчета другими методами, что позволяет утверждать: предложенный метод пригоден для анализа напряженно-деформированного состояния ростверков, и может масштабироваться на более сложные задачи расчета свайно-плитных фундаментов. Сделать такие выводы можно, основываясь на уже имеющемся опыте авторов [9], в котором увеличение количества неизвестных в задаче не оказывало негативного влияния на сходимость итерационного процесса при решении задачи свайно-плитного фундамента на упруго-податливых опорах.

Подводя итог, можно констатировать, что предложенный подход не ограничивается академическими тестовыми примерами — он вполне применим к реальному проектированию фундаментных конструкций, в которых нелинейный характер работы грунтового основания или самих конструктивных элементов является определяющим фактором. Фактически, модификация раздвигает рамки применимости метода компенсирующих нагрузок на более широкий класс задач строительной механики, где линейные модели уже не дают приемлемой точности.

Список литературы

1. Çetindemir O., Zülfikar A.C. Numerical Validation of Fully Coupled Nonlinear Seismic Soil–Pile–Structure Interaction // Buildings. -2024.-Vol. 14, No. 6. - P. 1502. - DOI: 10.3390/buildings14061502

2. Granitzer A.N., Felic H., Leo J., Stastny A., Tschuchnigg F. Numerical investigation of pile foundation systems employing an enhanced embedded finite element // Frontiers in Built Environment. – 2024. – Vol. 10. – DOI: 10.3389/fbuil.2024.1234567

3. He Y., Winkler spring coefficients for laterally loaded piles // Computers and Geotechnics.-2024.-Vol. 170. - P. 106264. - DOI: 10.1016/j.compgeo.2024.106264.

4. Ashraf Ayoub - Mixed formulation of nonlinear beam on foundation elements . Pages 411-421, ISSN 0045-7949, https://doi.org/10.1016/S0045-7949(03)00015-4.

5. Andrea Dall'Asta, Alessandro Zona - Three-field mixed formulation for the non-linear analysis of composite beams with deformable shear connection; Finite Elements in Analysis and Design. - Pages 425-448, ISSN 0168-874X, https://doi.org/10.1016/S0168-874X(03)00071-4.

6. Исследование эффективности метода компенсирующих нагрузок в задачах расчета систем с угловыми упрочняющимися связями / О. В. Душко, М. И. Бочков, С. С. Рекунов, Е. А. Максютова, М. Д. Даудова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 145—152. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_145.

7. Игнатьев, В. А. Нелинейная строительная механика стержневых систем. Основы теории. Примеры расчета. / В. А. Игнатьев, А. В. Игнатьев В. В. Галишникова Е. В. Онищенко // Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. – 94 с.

8. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст]/ Городецкий А.С., Евзеров И.Д. -Киев: Факт, 2005. -344 с.

9. Calculation of the Pile Grillage Taking into Account the Nonlinear Operation of Piles in the Ground by the Method of Compensating Loads / М.И. Бочков, А.В. Игнатьев, Н.А. Масленников, И.С. Завьялов, Е.А. Максютова // Proceedings of the 9th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2025) / eds.: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov. - Springer Nature Switzerland AG, 2026. - P. 87-97. - DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14938-1_8. - Book Series: Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE, vol. 799).

References

1. Çetindemir O., Zülfikar A.C. Numerical Validation of Fully Coupled Nonlinear Seismic Soil–Pile–Structure Interaction // Buildings. -2024.-Vol. 14, No. 6. - P. 1502. - DOI: 10.3390/buildings14061502

2. Granitzer A.N., Felic H., Leo J., Stastny A., Tschuchnigg F. Numerical investigation of pile foundation systems employing an enhanced embedded finite element // Frontiers in Built Environment. – 2024. – Vol. 10. – DOI: 10.3389/fbuil.2024.1234567

3. He Y., Winkler spring coefficients for laterally loaded piles // Computers and Geotechnics.-2024.-Vol. 170. - P. 106264. - DOI: 10.1016/j.compgeo.2024.106264.

4. Ashraf Ayoub. Mixed formulation of nonlinear beam on foundation elements. Pages 411–421, ISSN 0045-7949. DOI: 10.1016/S0045-7949(03)00015-4

5. Andrea Dall'Asta, Alessandro Zona. Three-field mixed formulation for the non-linear analysis of composite beams with deformable shear connection; Finite Elements in Analysis and Design. Pages 425–448, ISSN 0168-874X. DOI: 10.1016/S0168-874X(03)00071-4

6. Dushko O. V., Bochkov M. I., Rekunov S. S., Maksyutova E. A., Daudova M. D. Issledovanie effektivnosti metoda kompensiruyushchikh nagruzok v zadachakh rascheta sistem s uglovymi uprochnyayushchimisya svyazyami [Investigation of the effectiveness of the compensating load method in problems of calculating systems with angular hardening connections]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2025, issue 1(98), pp. 145–152. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_145

7. Ignatyev V. A., Ignatyev A. V., Galishnikova V. V., Onishchenko E. V. Nelineynaya stroitelnaya mekhanika sterzhnevykh sistem. Osnovy teorii. Primery rascheta [Nonlinear structural mechanics of rod systems. Fundamentals of theory. Calculation examples]. Volgograd : VolgGASU; 2014, 94 p.

8. Gorodetsky A. S., Evzerov I. D. Kompyuternye modeli konstruktsiy [Computer models of structures]. Kiev : Fakt; 2005, 344 p.

9. Calculation of the Pile Grillage Taking into Account the Nonlinear Operation of Piles in the Ground by the Method of Compensating Loads / М.И. Бочков, А.В. Игнатьев, Н.А. Масленников, И.С. Завьялов, Е.А. Максютова // Proceedings of the 9th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2025) / eds.: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov. - Springer Nature Switzerland AG, 2026. - P. 87-97. - DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14938-1_8. - Book Series: Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE, vol. 799).

УДК 535.551

Казакбаева Г.О.
КР УИА Машина таануу, автоматика жана геомеханика институту
Бишкек, Кыргыз Республикасы
Институт машиноведения, автоматики и геомеханики НАН КР,
Бишкек, Кыргызская Республика

G.O. Kazakbaeva
Institute of Mechanikal Science, Automation and Geomechanics of National academu of Sciences
K. R., Bishkek, Kyrgyz Republic
gulkaz52@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ КАРЬЕРА, ОСЛАБЛЕННОГО РАЗЛОМОМ

КАРЬЕР МАССИВИНДЕГИ ЖАРАКАНЫН ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ АСТЫНДА ЧЫҢАЛУУ ТАЛААСЫНЫН БӨЛҮШТҮРҮЛҮШ ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮН ИЗИЛДӨӨ

A STUDY OF STRESS DISTRIBUTION CHARACTERISTICS IN A QUARRY MASS WEAKENED BY A FAULT

Поляризациялык-оптикалык ыкма менен оптикалык активдүү жалпак моделдерде тик кулаган жараканын таасирин эске алуу менен карьердин капталдарынын массивинде жана түбүнүн астында чыңалуулардын бөлүнүшүнүн мүнөзү изилденди. Чыңалуу талааларынын жалпы көрүнүшү көрсөтүлдү жана чыңалуулардын жогорулаган жана төмөндөгөн топтолуу зоналары аныкталды.

Ачкыч сөздөр: *карьердин дубалы, чыңалуу концентрациясы, модель, жарака, жылышуу чыңалуу, чыңалуу, кысуу, негизги нормалдуу чыңалуу, массив.*

Поляризационно-оптическим методом на оптически активных плоских моделях исследован характер распределения напряжений в массиве бортов и под основанием карьера с учетом влияния крутопадающего разлома. Представлен общий вид полей напряжений и выделены зоны повышенной и пониженной концентрации напряжений.

Ключевые слова*: борт карьера, концентрация напряжений, модель, разлом, касательные напряжения, растяжения, сжатия, главные нормальные напряжения, массив.*

The character of stress distribution in the pit walls and beneath the quarry floor, considering the influence of a steeply dipping fault, was investigated using the photoelastic method on optically active flat models. The general pattern of stress fields is presented, and zones of high and low stress concentrations are identified.

Key words*: quarry wall, stress concentration, model, fault, shear stress, tension, compression, principal normal stress, massif.*

Для цитирования: Казакбаева Г.О. Исследование особенностей распределения напряжений в массиве карьера, ослабленного разломом / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр. 200 - 205.

Введение

Реальный массив скальных пород имеет сложную структуру. Для обеспечения эффективной и безопасной работы открытого и подземного рудника необходимы данные о напряженном состоянии массива скальных пород. Открытая разработка месторождений осуществляется с помощью карьеров и разрезов. В течение всего периода разработки месторождения карьером, борта его должны сохранять устойчивость и не подвергаться обрушениям. Устойчивость бортов карьеров зависит от влияния многих факторов, в том числе, и от влияния трещин, разломов. Трещины, крупные разломы имеют разные размеры и по-разному расположены в пространстве [1-2].

Выявление характера распределения напряжений в массиве карьера под влиянием разломов, является актуальной задачей геомеханики и является целью представленной работы [3].

Методика исследования

Нами проведены несколько вариантов экспериментальных исследований распределения напряжений в массиве карьера под влиянием разломов разного размера и расположения. В данной статье представлены результаты одного из этих вариантов. Параметры используемой нами в эксперименте оптически активной плоской модели следующие: высота-11,4 см, ширина-17 см, толщина - 0,9 см. Длина разлома - 4,5 см, ширина разлома - 2 мм. Угол наклона разлома к борту карьера составляет - 30^0. Ширина правого борта -5 см, а левого -7 см.

На первом этапе исследований в модели карьера получена общая картина распределения напряжений под влиянием крутопадающего разлома. Измерения величин главных напряжений в модели производились при помощи методов полос, компенсации и разности касательных напряжений. Эти методы хорошо описаны в работе [4].

Результаты исследований

Характер распределения общего напряженного состояния массива карьера под влиянием крутопадающего разлома. Из нижеприведенной картины полос (рис.1) распределения напряжений в массиве карьера под влиянием крутопадающего разлома видно, что, начиная от поверхности и вдоль контура левого борта карьера, образовалась зона разгрузки. Ниже разгрузочной зоны, наблюдается рост концентрации напряжений до подножия карьера. На правом борту, где имеет место пересекающий левый борт карьера крутопадающий разлом, зона разгрузки занимает сравнительно малую площадь. Предполагаем, что размер площади зоны разгрузки в этом случае зависит от формы, ширины борта карьера и влиянием крутопадающего разлома. Из картины распределения напряжений (рис.1) видно, что в окрестности разлома образовалась зона растягивающих напряжений с неравномерным характером распределения. Зона растягивающих напряжений также образовалась на дне карьера, вблизи к поверхности. Влияние разлома привело к неравномерному распределению напряжений на правом борту карьера.

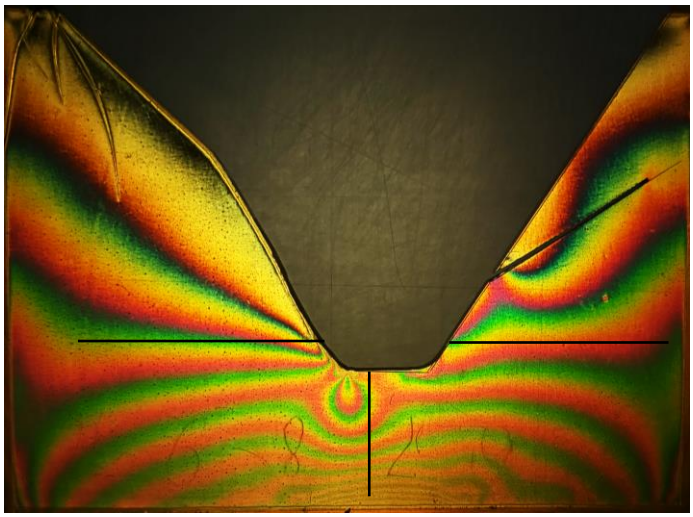


Рисунок 1 - Вид распределения полей напряжений в массиве карьера под влиянием крутопадающего разлома

В этой модели методом полос были определены величины максимальных касательных напряжений для каждой полосы. В массиве в глубине дна карьера значение максимальных касательных напряжений достигло 7,6 МПа (рис.2). Так как максимальные касательные напряжения являются сдвигающими напряжениями, их высокие величины нежелательны, они могут отрицательно повлиять на устойчивость бортов карьера.

Ниже, на рисунке 2 приведены изолинии максимальных касательных напряжений в модели с числовыми значениями в МПа. В бортах карьера до первой полосы, где величины максимальных касательных напряжений равны 0,688 МПа, имеется зона разгрузки.

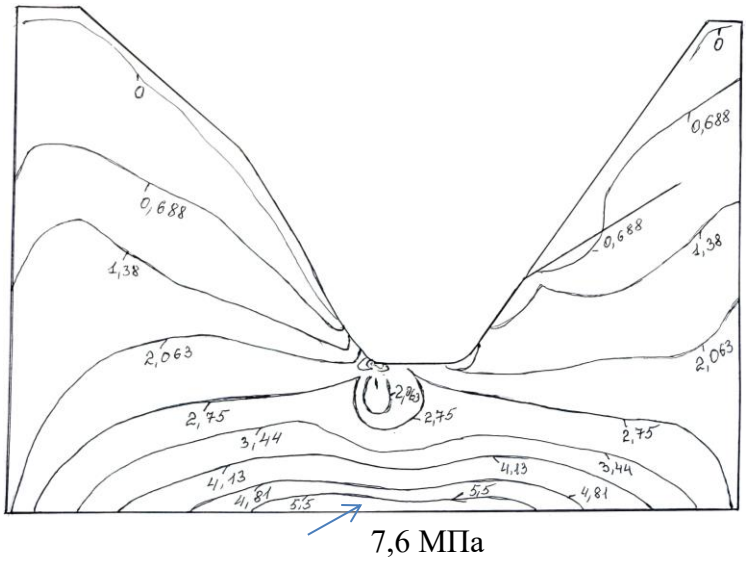


Рисунок 2 - Изолинии распределения максимальных касательных напряжений в модели под влиянием крутопадающего разлома

Влияние разлома привело к созданию зон растягивающих напряжений на правом борту и на дне карьера, которые могут повлиять на устойчивость правого борта и дна карьера. А с удалением от контура дна в глубину массива карьера наблюдается рост концентраций сжимающих напряжений.

Распределения главных нормальных напряжений в бортах и на дне карьера с учетом влияния крутопадающего разлома. В модели по горизонтальным и вертикальным сечениям в бортовых частях и на дне карьера были определены величины главных напряжений и построены их эпюры, которые показывают на их характер распределения. Ниже на рисунках 3-5 приведены эпюры главных нормальных напряжений.

Из эпюр главных нормальных напряжений на правом борту карьера видно, что под влиянием разлома характер распределения напряжений имеет неоднородный вид с преобладанием сжимающих величин, которые в отдельных точках достигли 5-8,2 МПа (рис. 3).

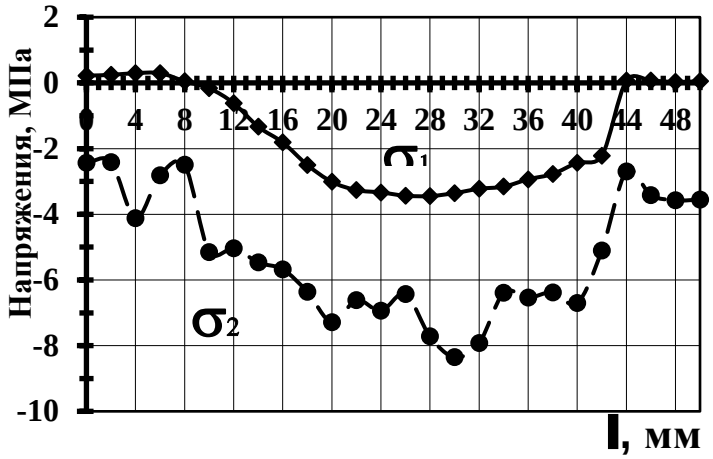


Рисунок 3 - Эпюры главных нормальных напряжений по горизонтальному сечению под разломом на правом борту карьера

Эпюры главных нормальных напряжений по горизонтальному сечению на левом борту карьера показывают на их неравномерное распределение. Напряжения имеют и сжимающих, и растягивающих значений. Величины сжимающих напряжений на отдельных участках в среднем на 1,8 раза ниже, чем на правом борту карьера (рис.4).

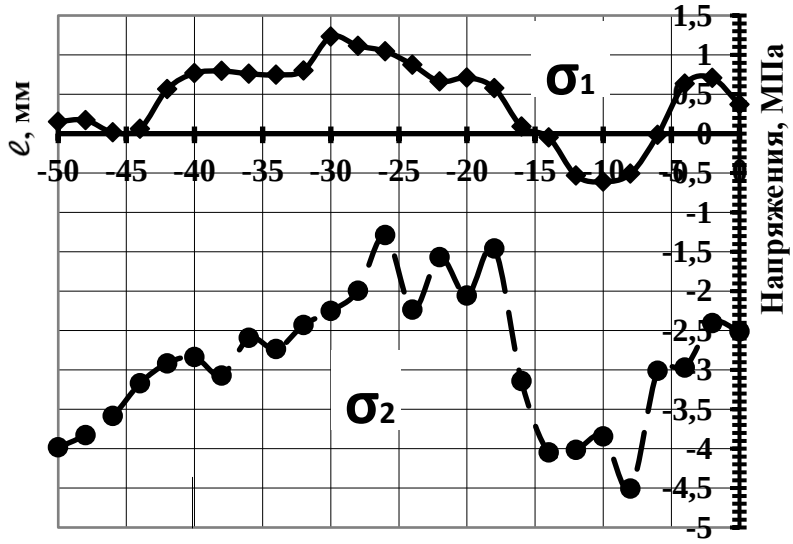


Рисунок 4 - Эпюры главных нормальных напряжений по горизонтальному сечению на левом борту карьера

Также в этой модели от середины дна карьера по вертикальному сечению были определены величины главных напряжений. Вблизи дна карьера главные нормальные напряжения имеют растягивающие значения с неравномерным от точки к точке характером распределения. Влияние разлома привели к росту величин растягивающих напряжений на дне карьера. Например, σ_1 имеет величину 3-6 МПа, а σ_2 в отдельных точках достигло 2,8 МПа (рис.5).

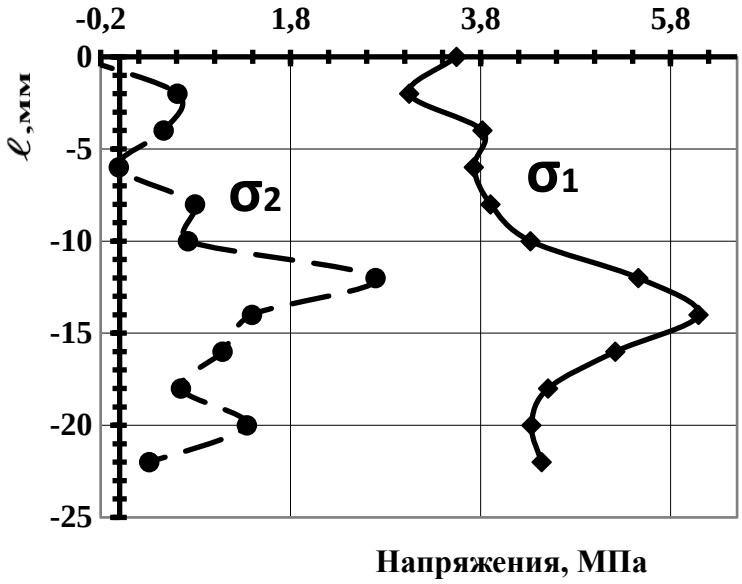


Рисунок 5 - Эпюры главных нормальных напряжений в модели по вертикальному сечению вблизи дна карьера

Заключение

- выявлено, что в окрестности крутопадающего разлома на правом борту карьера образовалась зона растягивающих напряжений.
- влияние крутопадающего разлома привело к росту высоких концентраций напряжений в подножии карьера.
- выявлено, что величины распределений главных нормальных напряжений в отдельных точках разные и их характер распределения по горизонтальным сечениям в бортах и по вертикальному сечению на дне в массиве карьера имеют знакопеременный, неравномерный вид.
- образовавшаяся зона растягивающих напряжений в окрестности крутопадающего разлома на правом борту со временем может привести к неприятным последствиям, ослабив устойчивость борта карьера.

Полученные экспериментальные результаты на модельных исследованиях могут послужить информативным показателем состояния массива бортов и дна карьера при действии крутопадающего разлома.

Список литературы

1. Айтматов, И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии [Текст] – Фрунзе: Илим, 1987.

2. Айтматов, И.Т. Геомеханика массивов горно-складчатых областей [Текст] // Ялымов Н.Г., Степанов В.Я. / Известия АН Кирг.ССР. Физико-техн. и матем.наук. –Фрунзе: Илим, 1990. - №2, - С.54-73.

3. Казакбаева Г.О. Исследование напряженно-деформированного состояния карьерных склонов поляризационно-оптическим методом [Текст] / Известия КГТУ им. Раззакова. – № 2 (74) 2025. – С. 444-450.

4. Хаимова-Малькова, Р.И. [Текст] / Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – Москва: Наука, 1970. - С.115.

5. Джаманбаев М. Дж., Омуралиев С.Б., Фалалеев Г.Н. Расчет устойчивости

6. оползневого склона методом FP в Сузакском районе Кыргызстана / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2024. – .№1(69). – стр.45 -54.

7. Казакбаева Г.О. Особенности перераспределения полей остаточных напряжений во

времени в образце из оптически активного материала / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2024. – №2(70). – стр. 584-591.

8. Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.О., Тажибаев Д.К. Напряженное состояние, деформация и саморазрушение модельных оптически активных образцов, имеющих остаточные напряжения / Известия КГТУ имени И. Раззакова. –.2025. –№3(75). – стр. 820 – 833.

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК: 687.157:331.344.2

Молдоканова А. И.[1], Турганбаева Б.Т.[2]
[1]И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университети
[2]И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университети
[1]Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
[2]Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева

A. I. Moldokanova[1], B.T. Turganbaeva[2],
[1] I.Razzakov Kyrgyz State Technical University (KSTU),
[2]I. Arabaev Kyrgyz State University (KSU),
asyl.moldokanova@mail.ru[1] turganbaeva.b@inbox.ru[2]

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕРМОСТОЙКОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ УТЮЖНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭРГОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

ЗАМАНБАП МАТЕРИАЛДАРДЫ, САНАРИПТИК ДОЛБООРЛОО ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ЖАНА ЭРГОНОМИКАЛЫК ЧЕЧИМДЕРДИ КОЛДОНУУ МЕНЕН ҮТҮКЧҮЛӨР ҮЧҮН АТАЙЫН ЫСЫК ӨТКӨРБӨГӨН КИЙИМДИ ИШТЕП ЧЫГУУ

DEVELOPMENT OF SPECIAL HEAT-RESISTANT CLOTHING FOR IRONING WORKERS USING MODERN MATERIALS, DIGITAL DESIGN TECHNOLOGIES, AND ERGONOMIC SOLUTIONS

Бул макалада үтүкчүлөр үчүн атайын термостой кийимди иштеп чыгуу маселеси каралат. Жогорку температура жана ысык буунун таасири астында иштеген жумушчуларды коргоо максатында көп катмарлуу кездеме сунушталат. Ал кездеме сырткы катмар катары зыгырды, орто катмар катары жылуулук изоляциялоочу подложканы жана ички катмар катары пахтаны камтыйт. Жилеттин конструкциясы кошумча алынуучу фартук-накладка менен толукталган, ал ишенимдүү термозащита жана узак убакыт кийүүгө ыңгайлуулукту камсыз кылат. Жүргүзүлгөн теплотехникалык сыноолор, эргономикалык анализ жана жумушчулардын пикирлери изделиенин натыйжалуулугун тастыктады. Кийимдин функционалдуулугун жана практикалык маанисин жогорулатуу багыттары аныкталды.

Ачкыч сөздөр: *атайын кийим, үтүкчүлөр, термозащита, көп катмарлуу кездеме, зыгыр, пахта, жылуулук изоляциясы, коргоочу жилет, өндүрүштүк коопсуздук.*

В статье рассматриваются особенности разработки специальной термостойкой одежды для утюжников, работающих в условиях воздействия высоких температур и горячего пара. Представлена конструкция многослойной ткани, включающей лён в качестве наружного слоя, теплоизоляционную подложку и внутренний хлопковый слой. Описан защитный жилет с дополнительным съёмным фартуком-накладкой, обеспечивающим надёжную термозащиту и комфорт при длительном использовании. Проведены теплотехнические испытания, эргономический анализ и опрос работников, подтвердившие эффективность изделия. Определены направления дальнейшего совершенствования конструкции для повышения её функциональности и практической значимости.

Ключевые слова: *спецодежда, утюжники, термозащита, многослойная ткань, лён, хлопок, теплоизоляция, защитный жилет, производственная безопасность.*

This article discusses the development of special heat-resistant clothing for ironing workers operating under high temperatures and exposure to hot steam. A multilayer fabric is proposed, consisting of linen as the outer layer, a thermal insulation substrate as the middle layer, and cotton as the inner layer. The protective vest design includes an additional removable apron overlay, providing reliable thermal protection and comfort during extended use. Thermal testing, ergonomic analysis, and worker feedback confirmed the effectiveness of the garment. Directions for further improvement of functionality and practical significance are identified.

Key words*: workwear, ironing workers, thermal protection, multilayer fabric, linen, cotton, insulation, protective vest, occupational safety.*

Для цитирования: Молдоканова А. И. Турганбаева Б.Т. Разработка специальной термостойкой одежды для утюжников с использованием современных материалов, цифровых технологий проектирования и эргономических решений / Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2026.– №3 (79). – стр. 206 - 213.

Введение

Работа утюжника на производстве связана с постоянным воздействием высоких температур, горячего пара и физической нагрузки. Несмотря на кажущуюся простоту, данная профессия требует высокой концентрации внимания, аккуратности и надёжной защиты от термических рисков. Среди распространённых проблем работников утюжильных участков — ожоги, перегрев и хронический дискомфорт.

На многих предприятиях до сих пор используется минимальная защита в виде тонкой хлопковой одежды либо универсальная спецодежда, не учитывающая специфику технологических процессов. Это создаёт предпосылки для профессиональных заболеваний и нарушений техники безопасности.

В связи с этим актуальной становится задача разработки специализированной термостойкой одежды, адаптированной под потребности утюжников. Основные требования к такой одежде — высокая термостойкость, комфорт при длительном ношении, лёгкость и удобство эксплуатации. Особое внимание уделяется выбору материалов и конструкции изделия, обеспечивающей защиту наиболее уязвимых участков тела.

Эти шаги указывают на стремление Кыргызской Республики адаптировать свою систему образования к требованиям времени, уделяя внимание не только общим образовательным стандартам, но и подготовке кадров, востребованных в IT-сфере [11].

Преимущества и проблемы подготовки молодых специалистов. Подготовка IT-специалистов в условиях современной экономики и технологических вызовов представляет собой одну из ключевых задач системы образования Кыргызской Республики. Внедрение современных образовательных программ позволяет выпускникам адаптироваться к требованиям рынка труда, однако ряд проблем требует решения для повышения эффективности подготовки кадров [11].

Таким образом, проведённые реформы в системе образования и акцент на подготовку специалистов в области IT создают основу для практического внедрения цифровых инструментов в профессиональную деятельность. Особенно важно отметить, что использование специализированных программных комплексов, таких как Grafis 12, позволяет студентам не только изучать теорию, но и сразу применять её на практике. Благодаря этому они получают навыки работы с современными системами автоматизированного проектирования, быстро решают задачи по конструированию одежды и разработке лекал. Это обеспечивает выпускникам готовность к профессиональной деятельности: они могут сразу приступать к решению реальных производственных задач, что делает их конкурентоспособными на рынке труда и востребованными в условиях цифровизации лёгкой промышленности.

Конструкторская подготовка студентов дизайнеров одежды включает в себя целый ряд навыков и знаний, которые являются неотъемлемой частью профессиональной деятельности.

Среди них выделяются следующие компоненты:

1. Конструирование и моделирование одежды: изучение методов создания моделей одежды с учетом анатомии человека, структуры, элементов дизайна и принципов эргономики.

2. Проектирование одежды: Разработка концепции будущего изделия, включая выбор стиля, ткани, фурнитуры, а также проработка технологических процессов.

3. Технология пошива: Знание всех этапов пошива и отделки одежды, начиная от работы с лекалами и заканчивая финальной сборкой и подгонкой изделия.

4. Использование цифровых технологий: Знакомство с компьютерными программами для моделирования одежды (например, AutoCAD, CLO 3D), использование методов 3D-прототипирования и цифровых технологий для реализации дизайнерских решений.

Современные требования к образовательному процессу подразумевают получение студентами не только теоретических основ, но и практических навыков, которые позволят им проектировать и изготавливать высококачественные изделия в реальных производственных условиях [12].

В качестве примера практического применения IT-технологий в лёгкой промышленности в данной работе была поставлена цель разработать специальную одежду для утюжильщиков, которая защищает работников от воздействия горячего пара и высоких температур при работе с утюгом. Такая задача демонстрирует, как современные цифровые системы проектирования позволяют создавать изделия, учитывающие требования

эргономики, безопасности и комфорта, а также адаптированные под конкретные производственные условия.

Работа утюжника на производстве связана с постоянным воздействием высоких температур, горячего пара и физической нагрузкой. Несмотря на кажущуюся простоту, данная профессия требует высокой концентрации внимания, аккуратности и надёжной защиты от термических рисков. Среди распространённых проблем работников утюжильных участков — ожоги, перегрев и хронический дискомфорт.

На многих предприятиях по-прежнему используется либо минимальная защита в виде тонкой хлопковой одежды, либо универсальная спецодежда, не учитывающая специфику технологических процессов. Это создаёт предпосылки для профессиональных заболеваний и нарушений техники безопасности [2].

В ответ на данные вызовы актуальной становится задача создания специализированной одежды, адаптированной под потребности утюжников. Основные требования к такой одежде — термостойкость, комфорт при длительном ношении, лёгкость и удобство в использовании. Особое внимание уделяется выбору материалов и конструкции изделия, обеспечивающей защиту наиболее уязвимых участков тела [3].

Цель исследования

Основной целью данной работы является разработка и внедрение специальной одежды для утюжников, обеспечивающей эффективную термозащиту и комфорт при длительной эксплуатации. В рамках исследования был создан защитный жилет из многослойной ткани с учётом требований эргономики, безопасности и функциональности.

Методы исследования

Для разработки изделия использован комплексный подход, включающий:

Теплотехническое тестирование – оценка сопротивления теплопередаче многослойной ткани.

Эргономический анализ – исследование удобства конструкции жилета при выполнении рабочих движений.

Анкетирование и наблюдение – сбор отзывов сотрудников, участвовавших в испытаниях образца.

Сравнительный анализ – сопоставление характеристик новой спецодежды с существующими аналогами.

Разработка изделия

Для создания защитного жилета была разработана экспериментальная многослойная ткань, включающая:

-верхний слой — лён: натуральный материал, обладающий высокой термостойкостью, устойчивостью к износу и хорошей воздухопроницаемостью.

-средний слой — теплоизоляционная подложка: снижает теплопроводность и предотвращает перегрев тела.

-внутренний слой — хлопок: мягкий гигроскопичный материал, обеспечивающий комфорт и отвод влаги.

Конструкция жилета тщательно продумана с учетом анатомических особенностей человеческого тела, максимального удобства при эксплуатации и надежной защиты наиболее уязвимых зон — груди, плеч и верхней части спины [1,4,6,7,8,10]. Для проектирования использовалась современная САПР (CAD) программа Графис 12, что позволило достичь высокой точности выкроек и оптимальной посадки изделия. Рисунок 1

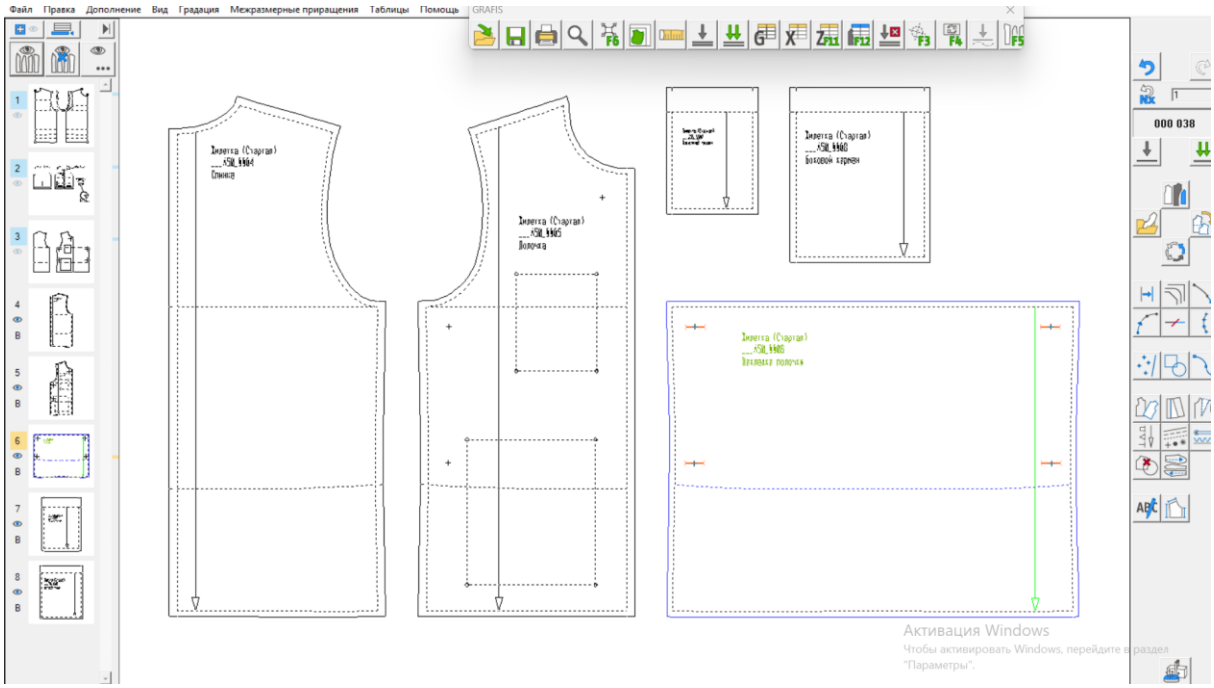


Рисунок 1 - Лекала жилетки

Одной из ключевых особенностей жилета является встроенный специальный фартук-накладка, разработанный для дополнительной термозащиты. Он состоит из тщательно подобранных слоев ткани, включая натуральный лен, термостойкую фольгу и мягкий, комфортный хлопковый материал, обеспечивающий защиту и удобство при длительном ношении (Рис.2).

Рисунок 2 – Схема обработки защитного фартука-накладки

Уникальная конструкция жилета предусматривает удобное крепление фартука-накладки на боковых швах с помощью надежных пуговиц, что позволяет пользователю легко пристегивать и снимать защитный элемент по мере необходимости. Фартук имеет

геометрически выверенную квадратную форму, что обеспечивает максимальную защиту для области груди и живота, не ограничивая свободу движений. Рисунок 3. Данный элемент разработан с учетом производственных условий, в которых работают утюжники, и служит эффективным барьером от высоких температур и горячего пара. Возможность съемного использования делает жилет универсальным и адаптивным, обеспечивая комфорт и безопасность при выполнении рабочих задач.

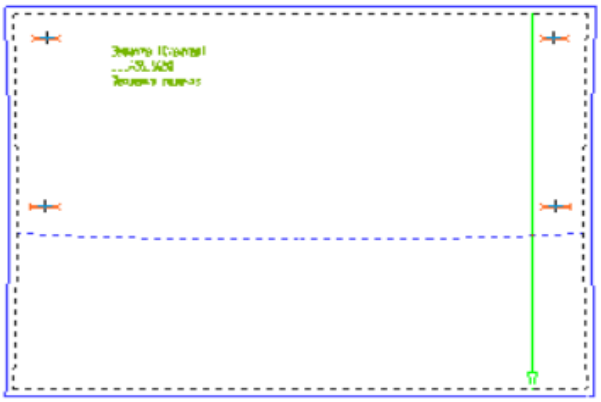


Рисунок 3 – Фартук-накладка жилета

Конструкция жилета продумана до мельчайших деталей, обеспечивая не только термозащиту, но и функциональность для комфорта работников. Жилет оснащен удобным нагрудным карманом, который позволяет хранить небольшие предметы, такие как ручки, блокноты или рабочие инструменты. Кроме того, предусмотрены боковые нижние накладные карманы, идеально подходящие для размещения необходимых аксессуаров, обеспечивая удобный доступ во время работы.

Особенностью конструкции являются специальные отверстия у основания застежки, предназначенные для закрепления проводных наушников. Это решение учитывает потребности работников, которые часто слушают музыку во время работы, обеспечивая удобное расположение провода и предотвращая его запутывание или мешающее движение (Рис. 4).

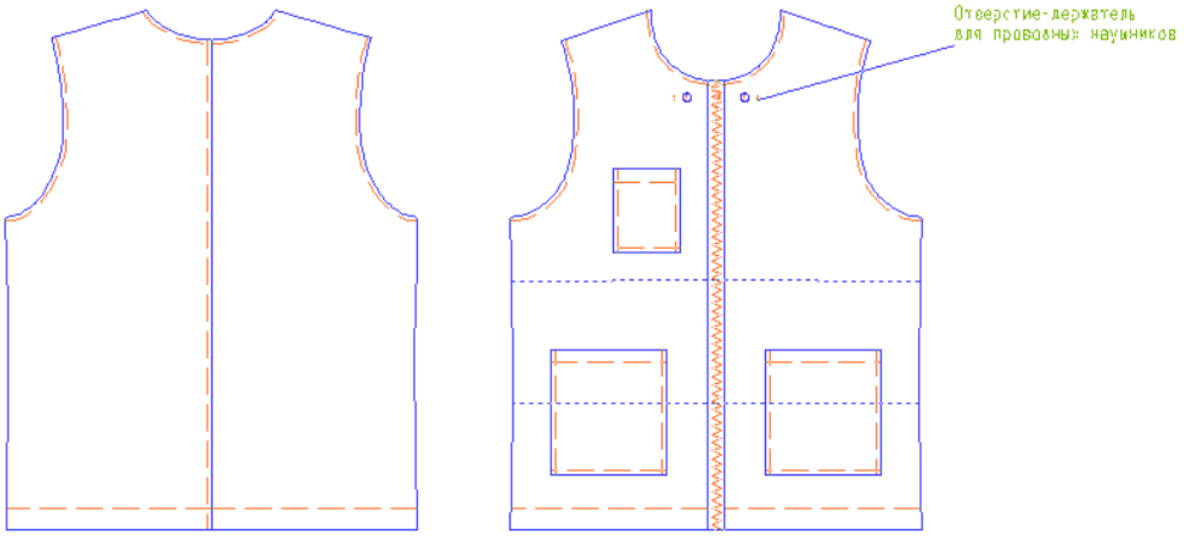


Рисунок 4 – Технический рисунок жилета

Фартук-накладка остается ключевым защитным элементом жилета, обеспечивая дополнительную теплоизоляцию для груди и живота. Благодаря съемному механизму, он легко пристегивается и снимается, адаптируясь к различным рабочим условиям.

Такая конструкция делает жилет многофункциональным, удобным и эргономичным, сочетая защитные свойства с практичностью и комфортом для пользователей.

Результаты исследования

По итогам лабораторных и производственных испытаний получены следующие результаты:

Термозащитные свойства Теплотехническое тестирование подтвердило высокую степень термоизоляции материала. В сравнении с традиционными хлопковыми халатами температура на внутренней стороне жилета оказалась ниже в среднем на 20–25%.

Комфорт и эргономика. Жилет не ограничивает движения, легко надевается на основную одежду и не вызывает перегрева при длительном ношении. Отмечены лёгкость конструкции и воздухопроницаемость льняного верхнего слоя[9].

Функциональность и практичность Материал устойчив к истиранию, жилет сохраняет форму после многократных использований. Защищаются наиболее уязвимые зоны тела, подвергающиеся воздействию высоких температур.

Отзывы работников по результатам опросов, сотрудники отметили увеличение комфорта и безопасности по сравнению с ранее используемой спецодеждой. Уменьшилась утомляемость и перегрев во время работы.

Перспективы совершенствования

Результаты исследования подтвердили эффективность предложенного жилета, однако выявлены возможности для дальнейшего улучшения:

Добавление вентиляционных вставок в области подмышек и спины.

Внедрение регулируемых элементов (по бокам и плечам).

Разработка дополнительных форм изделий (фартук, куртка, накидка) для разных условий работы [5].

Заключение

Проведённое исследование подтвердило актуальность разработки специализированной термостойкой одежды для утюжников, работающих в условиях воздействия высоких температур и горячего пара. Созданный жилет из многослойной ткани (лён, теплоизоляционная подложка, хлопок) показал высокую эффективность: теплотехнические испытания зафиксировали снижение температуры воздействия на тело на 20–25%, а эргономический анализ подтвердил удобство конструкции при длительном использовании.

Дополнительные элементы — съёмный фартук-накладка, карманы и отверстия для наушников — обеспечили функциональность и адаптацию к реальным условиям труда. Отзывы работников подтвердили повышение уровня безопасности, снижение утомляемости и улучшение комфорта по сравнению с ранее применяемой спецодеждой.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения разработанного жилета в производственные процессы лёгкой промышленности. Это

позволит снизить риск профессиональных заболеваний, повысить уровень охраны труда и обеспечить работникам более безопасные условия работы.

Перспективы дальнейшего совершенствования включают разработку дополнительных форм изделий (фартук, куртка, накидка), внедрение регулируемых элементов и вентиляционных вставок. Таким образом, предложенная конструкция является основой для создания целой линейки специализированной термостойкой одежды, отвечающей современным требованиям эргономики и производственной безопасности.

Список литературы

1. ГОСТ 12.4.250-2013 – стандарт по спецодежде для защиты от высоких температур. https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293775/4293775437.htm
2. СанПиН 2.2.4.548-96 – гигиенические требования к условиям труда. / https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851474.pdf
3. ТР ТС 019/2011 – технический регламент по безопасности средств индивидуальной защиты. / https://eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/bezopSIZ.php
4. Иванов, В. В. Термозащитные материалы для спецодежды / В. В. Иванов, А. А. Петров. // Текстильная промышленность. – 2024. – № 3. – С. 15–20.5.
5. Сидоров, Г. П. Анализ современных решений в области термостойкой спецодежды : монография / Г. П. Сидоров, Е. В. Кузнецова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2026. – 150 с.
6. Джу Ён Ли. Защитная одежда в условиях высоких температур / https://snu.elsevierpure.com/en/publications/protective-clothing-in-thermal-environments/fingerprints/
7. Махмудова Ф.М. Анализ методов проектирования эргономичной одежды с использованием современных информационных технологий / https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-proektirovaniya-ergonomichnoy-odezhdy-s-ispolzovaniem-sovremennyh-informatsionnyh-tehnologiy
8. ISO 11612:2015 – международный стандарт по защитной одежде от тепла и пламени / https://docs.cntd.ru/document/440129398
9. Жалалова Г. М., Джолдошова А. Б.. Особенности конструкторской подготовки дизайнеров одежды в ВУЗе. Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2025. – №2 (74). – стр.451-456.

ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК: 641.37, 641.865 4

Усубалиева А.М. [1], Мусалиев Н.С[2].
[1]Кыргыз-Түрк “Манас” университети, Бишкек, [2]"NOOR" (НУР) коммерциялык кооперативи, Нарын, Кыргыз Республикасы
[1]Кыргызско-Турецкий университет “Манас, Бишкек, [2]Коммерческий кооператив "NOOR" (НУР), Нарын, Кыргызская Республика

A.M. Usubalieva[1], N.S. Musaliev[2]
[1]Kyrgyz-Turkish Manas University, Bishkek, [2]Commercial cooperative "NOOR" (NUR), Naryn, Kyrgyz Republic
ausubalieva@manas.edu.kg noorkg@mail.ru

АЗЫКТЫК БААЛУУЛУГУ ЖОГОРУЛАТЫЛГАН МАЙЛУУ ПЕЧЕНЬЕНИН САПАТЫН БААЛОО

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СДОБНОГО ПЕЧЕНЬЯ С ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТЬЮ

QUALITY ASSESSMENT OF RICH BISCUITS WITH ENHANCED NUTRITIONAL VALUE

Макалада курут кошулган майлуу печеньелеринин органолептикалык жана физика-химиялык көрсөткүчтөрү келтирилген. Экинчи сорттогу буудай унунан курут, сары май кошулуп жасалган майлуу печеньелердин азыктык баалуулугун жогорулатуудан тышкары, жакшы органолептикалык касиеттерге да ээ. Изилдөөлөр көрсөткөндөй, азыктардын сырткы жана сындырылгандан кийинки көрүнүшү жана башка көрсөткүчтөрү май печенье үчүн берилген жөнгө салуучу талаптарына ГОСТ 24901-14 жооп берет. Салмагы, узундугу, туурасы жана калыңдыгы сыяктуу физикалык көрсөткүчтөр аныкталып, алар сактоодо, таңгактоодо жана колдонууда жеңилдетет. Даяр азыктардын артыкчылыктарынын бири - аалардын табигыйлыгы, башкача айтканда, алар тамак-аш кошулмалары жок жана жергиликтүү чийки заттарды колдонуу менен даярдалган. Алынган жыйынтыктардын негизинде курут кошулган майлуу печеньенин жаңы түрүн кондитер азыктарынын ассортиментин кеңейтүүгө сунуштоого мүмкүндүк берет. Майлуу печенье табигый жана калориясы жогору болгондуктан, аны снек катары колдонууга ылайыктуу кылып, калктын тамактануу рационуна сунуштоого болот.

Ачкыч сөздөр: *кондитер азыктары, курут, майлуу печенье, буудай уну, сары май, органолептикалык көрсөткүчтөр, рецептура.*

В статье приведены данные органолептических и физико-химических показателей сдобного печенья с добавлением курута. Сдобное печенье изготовленый из второго сорта пщеничной муки с добавлением курута, топленого масла, кроме повышенной пищевой ценностю, также обладает хорошими органолептическими показателями. Исследования показали, что внешний вид и вид при разломе и другие показатели соответствуют требованиям нормативной документации ГОСТ 24901-14. Определены физические показатели, такие как вес, длина, ширина и толщина изделия, что важно для удобства в хранении, фасовке и применении. Одним из достоинств готового изделия является, его натуральность, то есть без применения пищевых добавок, с использованием отечественного сырья. Полученные результаты позволяют рекомендовать нового вида сдобного печенья с добавлением курута для расширения ассортимента мучных кондитерских изделий. Продукт является натуральным и высококалорийным, что может применятся в качестве перекусов и рекомендуется включить в рацион населения.

Ключевые слова: *кондитерские изделия, курут, сдобное печенье, пщеничная мука, топленое масло, органолептические показатели, рецептура.*

This article presents the organoleptic and physicochemical properties of butter cookies with kurut. These cookies, made from second-grade wheat flour with added ghee and kurut, boast enhanced nutritional value and excellent organoleptic properties. Studies have shown that their appearance, breakability, and other characteristics meet the requirements of GOST 24901-14. Physical properties such as weight, length, width, and thickness were determined, which are important for ease of storage, packaging, and use. One of the advantages of the finished product is naturalness - that is, no food additives are added, using domestically sourced raw materials. The results suggest that this new type of butter cookie with added kurut will expand the bread confectionery product line. This natural and high-calorie product can be used as a snack and is recommended for general population's diet.

Key words: *confectionery, kurut, cookies, wheat flour, ghee, organoleptic properties, recipe.*

Для цитирования: Усубалиева А.М. Мусалиев Н.С. Азыктык баалуулугу жогорулатылган майлуу печеньенин сапатын баалоо / Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2026. – №3 (79) – стр. 214 - 222.

Киришүү

Учурда Кыргызстандын рыногундагы балансталган курамдагы кондитердик азыктардын ассортименти негизинен импорттолгон азыктар менен көрсөтүлүп, алардын баалары кымбат келет. Бирок, бул азыктарга суроо-талап жыл сайын өсүүдө. Бул керектөөчүлөргө импорттолгон товарларга салыштырмалуу жеткиликтүү болгон жогорку сапаттагы, жергиликтүү өндүрүштөгү, балансталган курамдагы продукцияларды сунуштоо зарылдыгы бар болгондугун белгилейт.

Ошол эле учурда, керектөөчүлөр мыкты даамга ээ болгон ундан жасалган кондитердик азыктарды гана эмес, көпчүлүк адамдар көңүлүн табигый ингредиенттерден жасалган пайдалуу жана функционалдуу тамак-аш азыктарына артыкчылык беришет. Бул категориядагы азыктардын профилактикалык касиеттери жок, бирок алар иммундук

системаны чыңдоого жардам берет жана физиологиялык жактан маанилүү азык заттардын булагы боло алышат.

Ундан жасалган кондитердик азыктар биологиялык баалуу заттардын аз болушу менен мүнөздөлөт, анткени алардагы белоктор (аминокислота курамы толук эмес белокторго кирет) жана алардын сиңимдүүлүгү төмөн болот. Ошондуктан, практика көрсөткөндөй, аларды табигый ингредиенттер менен, айрыкча биологиялык баалуулугун жогорулатуу максатында сүт кычкыл азыктар, сүт сары суусу, мөмө жана жашылча жемиштер, дан ж.б. азыктар менен байытууну талап кылат [1, 2]. Ундан жасалган кондитердик азыктардын рецепттерине, айрыкча май печеньелерине табигый кошулмаларды кошуу продукциянын ассортиментин кеңейтүүгө гана эмес, ошондой эле даамын, жытын, түсүн жана башка бир катар керектөөчүлүк мүнөздөмөлөрүн өзгөртүүгө, продукцияны макро- жана микронутриенттер, тамак-аш буласы ж.б. заттар менен байытууга мүмкүндүк берет, ошол эле учурда синтетикалык ингредиенттерди колдонуудан баш тартууга болот [1, 3]. Ошондуктан, өндүрүүчү керектөөчүлөр үчүн өндүрүлгөн азыктардын ассортиментин толуктоо үчүн функционалдык ингредиенттерди колдонуп, аны менен бирге жергиликтүү чийки заттарды колдонуу менен пайдалуу тамак-аш азыктарынын трендин сактап, кондитер азыктарынын түрүн кеңейтүүсү керек.

Жергиликтүү чийки азыктарды колдонуп, атайын багытталган тамак-аш азыктарын иштеп чыгуу - *изилдөөнүн максаттарынын* бири болуп саналат. Жогоруда айтылгандарды эске алуу менен, улуттук кыргыз сүт кычкыл азыгы – курут менен байытылган, сары май кошулган май печеньесинин рецептин оптималдаштыруу, жогорку сапаттагы унду экинчи сорттогу буудай уну менен алмаштыруу жана керектөө рыногунда пайдалуу тамак-аш азыктарынын аймактык брендин жайылтуу бул илимий изилдөөнүн *актуалдуулугун* жана *практикалык* маанисин аныктайт.

Кочкорованын изилдөөсүнүн жыйынтыктары [4] көрсөткөндөй минералдык курамы боюнча куруттун курамында өспүрүмдүн денесинин күнүмдүк муктаждыгын (14-18 жаштагы өспүрүмдөр үчүн сунушталган күнүмдүк муктаждык 1200 мг) фосфор менен магний 29,8 % жана 14,9 % га, жез менен марганец 41 % жана 23 % га, темирди 17,2 % га, цинкти 10,7 % га, калий жана кальцийди болжол менен 9 % га тиешелүүлүгүнө жараша толуктай турган өлчөмдө кармалгандыгын көрсөттү [4, 5]. Ал эми [6] изилдөөнүн маалыматы боюнча курутта белоктун – 46 %, углеводдордун – 2,5 %, майдын – 1,5 % жана күлдү – 2,6 % кармалышы аныкталган. Демек, курутту азыка кошууда, аны белок, алмаштырылгыз аминокслоталар жана минерал элементтеринин булагы катары баалуулугун жогорулаттуу менен, азыктарды атайындаштырылган багытта өндүрүүгө сунуштоого болот.

Май печеньенин негизги курамы болуп – экинчи сорттогу буудай уну болуп, ал жогорку сорттогу буудай унунан айырмаланып, белоктун, аминокислоталардын, углеводдордун, пентозандардын, тамак-аш буласынын, минералдардын (Na, K, Ca, Mg, P, Fe) жана витаминдердин (B_1, B_2, PP, E) кармалышынын жогору болушу менен мүнөздөлөт. Тамактанууда үзгүлтүксүз колдонууда ашказан-ичеги жолунун иштешин нормалдаштырууга, жүрөк булчуңун чыңдоого, атеросклероздун пайда болуу коркунучун азайтууга, кан басымын нормалдаштырууга жардам берет, б.а., дарылоо-профилактикалык касиетке ээ жана адамдын организмине пайдалуу таасир тийгизет [7].

Ошондой эле май печеньелердин курамынын бири сары майдын курамы түрлүү биологиялык активдүү май курамы менен физиологиялык таасир берүүсү менен өзгөчөлөнөт. Сары майдын курамында конъюгирленген линол кислотасы, орто узундуктагы чынжырлуу триглицериддер, майда эрүүчү витаминдер (A, D, E и K), бета-каротин, ошондой

эле түрлүү фосфолипиддердин кармалышы, анын функционалдык касиетин аныктайт. Бул курам, илимий кызыгууну жаратып келет, себеби алардын ичеги-карындын ден соолугун сактоодогу, зат алмашууну жөнгө салуудагы, антиоксиданттык коргоону камсыз кылуудагы, жүрөк-кан тамыр системасын коргоодогу жана ректын алдын алуудагы ролу боюнча жаңы маалыматтар пайда болууда [8, 9]. Сары майдын мындай функционалдык касиетинин негизинде, аны дарылоо-профилактикалык максатта күнүмдүк тамактануу үчүн жана жаңы иштелип жаткан тамак-аш азыктарына кошууну сунуштоого болот.

Ундан даярдалган кондитер азыктарынын түрлөрүн кеңейтүү жана алардын тама-аш баалуулугун жогорулатуу максатында курамына ар кандай кургатылган мөмө-жемиштерди, жаңгактарды, уруктарды кошууга болот. Бул чийки заттар биологиялык активдүү заттардын (витаминдер, полифенолдор ж.б.) жана сиңирилүүчү углеводдорду (моно- жана дисахариддер), органикалык кислоталардын булагы болуп, азыка кошумча баалуулук беришет [10].

Демек, жаңы иштелип чыккан май печеньелерин даярдоодо экинчи сорттогу буудай уну, курут, сары май, бал, шекер, жумуртка жана кошумча грек жаңгагын, кургатылган өрүктүн колдонулушу азыктардын биологиялык баалуулугун жогорулатууга таасир бериши мүмкүн.

Иштин максаты

Май печеньесинин рецептине экинчи сорттогу буудай унуна курут кошуу менен даярдоо, анын азыктык баалуулугун жогорулатуу жана ундан жасалган кондитердик азыктардын түрлөрүн кеңейтүү.

Иштин максатына ылайык май печеньенин физика-химиялык, органолептикалык жана сырткы көрүнүшүнүн көрсөткүчтөрүн изилдөө **маселеси** катары каралды.

Материалдар жана изилдөөнүн объектиси

Изилдөө үчүн экинчи сорттогу буудай унунан даярдалган жана курамына курут, сары май кошулган май печенье алынган. Даярдалган май печеньесине колдонулган экинчи сорттогу буудай уну, курут жана сары май Нарын облустунда өндүрүлгөн. Мындан тышкары май печеньелеринин рецептурасына кирген шекер, бал, жумуртка – азыктарга кошумча органолептикалык касиеттерин жакшыртуу менен бирге камыр даярдоодо анын тиешелүү касиетине жана тамак-аш баалуулугуна да жакшы таасирин берет.

Жаңы иштелип чыккан май печеньелеринин жалпы үч үлгүсү даярдалган. Бул азыктардын рецептурасы боюнча негизги курамына: экинчи сорттогу буудай уну, курут, сары май, шекер, бал, ичүүчү суу жана жумуртка кирет. Рецептура боюнча №1-үлгү кошумчасы жок даярдалып контролдук үлгү катары, ал эми №2-үлгүгө кошумча ингредиент грек жаңгагы жана №3-үлгүгө кургатылган өрүк кошулуп даярдалды.

Колдонулган методдор

Май печеньенин органолептикалык жана физика-химиялык көрсөткүчтөрү печеньеге болгон жалпы техникалык шартка (ГОСТ24901-14) ылайык стандарттык ыкмалардын жардамы менен аныктоолор (n=2) жүргүзүлдү [11].

Жыйынтыктар жана аларды талкуулоо

Жаңы иштелип чыккан печеньелердин физика-химиялык көрсөткүчтөрү 1-таблицада берилген.

1 – таблица. Курут кошулган май печеньенин физика-химиялык көрсөткүчтөрү (100 г азыкка)

Көрсөткүчтөр	**Май печенье**		
	№ 1 (контролдук)	**№ 2 (грек жаңгагы)**	**№ 3 (кургатылган өрүк)**
Нымдуулук, %	8,25	8,5	9,5
Белоктор, %	9,3	10,8	9,8
Углеводдор, %	53	55	60
Майлар, %	19,6	21,4	19,1
Күл, %	0,48	0,5	0,49
Щелочтуулук, град.	1,5	1,6	1,5
Энергетикалык баалуулук, ккал	425,6	455,8	450,2

Алынган жыйынтыктарга ылайык нымдуулуктун, майдын кармалышы жана щелочтуулук (1 табл.) май печеньеси үчүн берилген стандарттык [11] көрсөткүчтөрүнөн (тиешелүү 16 %, 40 % жана 2,0 град.) ашкан жок.

Үлгүлөрдүн курамында углеводдордун жогору кармалышына рецептурадагы шекер жана балдын эсебинен болгондугун (1 табл.) белгилөөгө болот. Ошондой эле контролдук үлгүгө салыштырмалуу грек жаңгагы жана кургатылган өрүк кошулган үлгүдө углеводдордун кармалышы тиешелүү 1,0 жана 1,1 эсе жогорулагандыгын көрүүгө болот. Даяр азыктарда белоктун кармалышы №1 жана №3 үлгүлөр үчүн 9,3-9,8 % түзүп, ал эми курамында кошумча грек жаңгагы кошулган №2-үлгүдө салыштырмалуу 10,8% түздү. Адабияттык маалыматтарга ылайык рецептурасында жара тартылган ундан даярдалып, кошумчалары жок болгон май печеньенин курамында белоктун кармалышы 7,7 % түзгөн [12]. Демек, рецептура боюнча жаңы даярдалган үлгүлөр 2-сорттогу ундан даярдалып, аларга куруттун кошулуусунун эсебинен салыштырмалуу белоктун кармалышынын жогорулашына (1 табл.) таасир бергендигин көрүүгө болот.

Үлгүлөрдө күлдүн массалык үлүшү 0,48-0,5% салыштырмалуу бирдей көрсөтүп, стандарттык көрсөткүчтөн ашкан жок [11].

Изилденген май печеньелеринин энергетикалык баалуулугу №1-үлгүнүн 425,6 ккал, №2-үлгүнүн 455,8 ккал жана №3-үлгүнүн 450,2 ккал түзүп, организмди ток сезимде алып жүрүүгө көмөктөшөт. Адабияттык булактарга ылайык, ундан жасалган кондитердик азыктардын энергетикалык баалуулугу 100 г продуктуга орточо эсеп менен 400-500 ккал түзөт. Ар кандай азыктар үчүн бул маани рецептурага жараша өзгөрүшү мүмкүн [13]. Демек, май печеньелердин рецептураларына ылайык курамында май, шекер кармагандыктан, ошондой эле контролдук үлгүгө салыштырмалуу кошумча грек жаңгагы жана кургатылган өрүк кошулгандыгы үлгүлөрдүн калорияларынын жогорулашына таасир бергендиги аныкталды.

Ошондой эле азыктарды бышыруу процесси үчүн жана кардарларга ыңгайлуу кутулоо максатында алардын өлчөмдөрү жана салмактары маанилүү болгондуктан, ченөөлөрдүн натыйжасында үлгүлөрдүн өлчөмдүк көрсөткүчтөрү (узундугу, туурасы, калыңдыгы) жана салмактары стандарттык ыкмага ылайык [11] ар бир үлгүдөн беш даанадан өлчөнүп орточо маанилер аныкталып, жыйынтыктары 2 - таблицада берилди.

2– таблица. Курут кошулган май печеньенин өлчөмдүк көрсөткүчтөрү (n=5)

Көрсөткүчтөр	**Май печенье**		
	№ 1 (контролдук)	**№ 2 (грек жаңгагы)**	**№ 3 (кургатылган өрүк)**
Салмагы, г	18,06±0,30	18,07±0,90	18,07±0,90
Узундугу, мм	60,87±0,090	60,41±0,03	60,71±0,03
Туурасы, мм	42,05±0,40	41,71±0,40	41,45±0,30
Калыңдыгы, мм	7,6±0,04	7,1±0,07	7,5±0,07

Май печеньенин сырткы жана сындырганда көрүнүштөрү 1-сүрөттө берилген.

а – жалпы б – жалпы в – жалпы

а – сындырганда б – сындырганда в – сындырганда

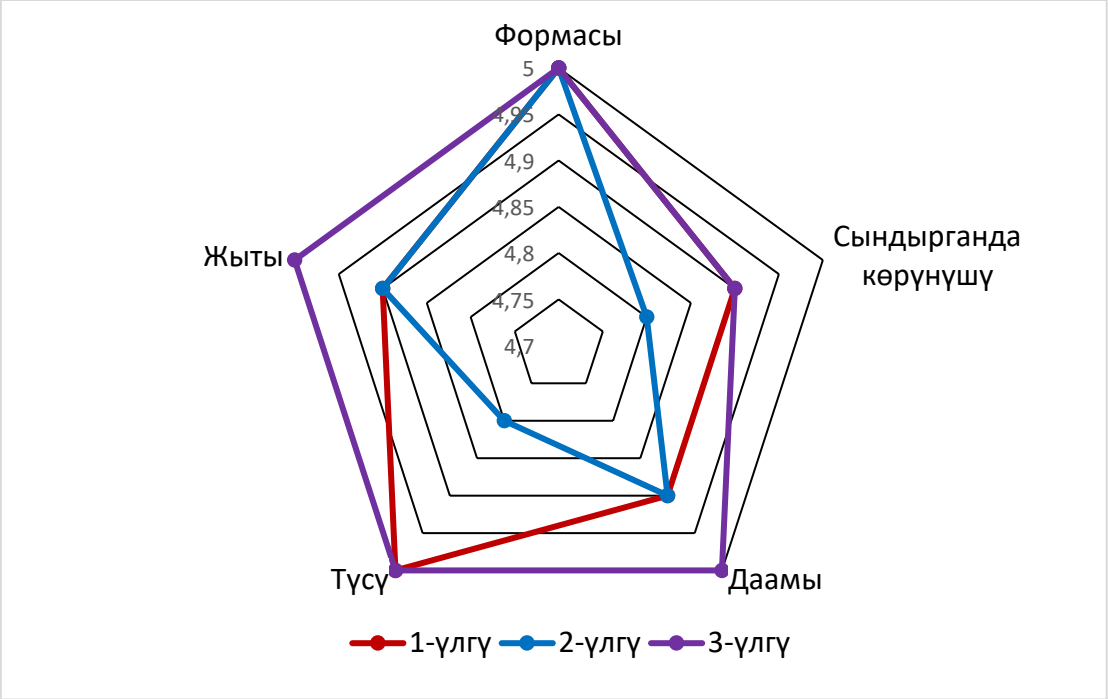
1-сүрөт. Курут кошулган май печеньелердин көрүнүштөрү: а – №1 (контролдук), б – №2 (грек жаңгагы кошулган), в – №3 (кургатылган өрүк кошулган)

Май печеньенин үлгүлөрүнүн органолептикалык көрсөткүчтөрү стандарттык көрсөткүчтөргө [11] ылайык түсү, даамы жана жыты, сындырганда көрүнүшү аныкталып, салыштырылды. Алынган жыйынтыктар 3-таблицада берилген.

3 – таблица. Курут кошулган май печеньелеринин органолептикалык көрсөткүчтөрү

Көрсөткүчтөр	**Үлгүлөрдүн мүнөздөмөлөрү**		
	№ 1 (контролдук)	**№ 2 (грек жаңгагы)**	**№ 3 (кургатылган өрүк)**
Түсү	Аталган азыка мүнөздүү, бир калыптуу. Үстүнкү бетинде жана четки бөлүктөрүндө күңүрт боелгон түстөрү бар	Аталган азыка мүнөздүү, бир калыптуу. Үстүнкү бетинде жана четки бөлүктөрүндө күңүрт боелгон түстөрү бар жана жаңгактын бөлүкчөлөрү көрүнүүдө	Аталган азыка мүнөздүү, бир калыптуу. Үстүнкү бетинде жана четки бөлүктөрүндө күңүрт боелгон түстөрү бар
Даамы жана жыты	Аталган азыка мүнөздүү, жагымдуу, бөтөн жыты жана даамы жок	Аталган азыка мүнөздүү, жагымдуу, бөтөн жыты жана даамы жок	Аталган азыка мүнөздүү, жагымдуу, бөтөн жыты жана даамы жок
Сындырганда көрүнүшү	Бир калыптуу, борпоң боштугу жок, жакшы бышкан	Бир калыптуу, борпоң боштугу жок, жакшы бышкан жана жаңгактын бөлүкчөлөрүнүн көрүнүшү менен	Бир калыптуу, борпоң боштугу жок, жакшы бышкан

Изилденүүчү май печеньелердин органолептикалык көрсөткүчтөрү 5 баллдык баалоо системасына ылайык 20 адис тарабынан дегустация ыкмасы менен бааланды. Жалпысынан алганда бардык үлгүлөрдүн өзгөчө жытка, азыка тиешелүү жагымдуу даамга жана жакшы текстурага ээ болгондугун дегустаторлор тарабынан белгиленген. Даяр продукциянын сырткы көрүнүшүн баалоодо алар бир тектүү, борпоң боштугу жок түзүлүштү белгилешти (1-сүрөт). Жыйынтыктар төмөнкү профилограммада берилди (2-сүрөт).



2-сүрөт. Курут кошулган май печеньенин дегустациялык баалоонун жыйынтыктары

Дегустациялык баалоодо №1, №2 үлгүлөр 4,9 баллга, ал эми №3-үлгүнүн көрсөткүчтөрү салыштырмалуу максималдуу 5 баллга ээ болду. Белгилей кетсек үлгүлөрдүн даамын баалоодо кургатылган өрүктү камтыган №3 үлгү эң жогорку баллга ээ болду. Кургатылган өрүк бир аз кычкыл курутту толуктап турган жагымдуу таттуу даам берип, даамдардын жагымдуу айкалышкандыгын белгилөөгө болот.

Демек, алынган жыйынтыктарга ылайык, рецептуранын курамы даяр азыктын органолептикалык көрсөткүчтөрүнө жана колдонуучулук касиеттерине жакшы таасир бергендигин белгилөөгө болот.

Корутунду

Май печеньелеринин физика-химиялык көрсөткүчтөрү болгон нымдуулуктун жана майдын массалык үлүшү, күлдүн кармалышы жана щелочтуулугу май печеньеси үчүн берилген стандарттык (ГОСТ 24901-14) маанилерден ашкан жок. Ошондой эле дегустациялык баалоодо №1, №2 үлгүлөр 4,9, ал эми №3-үлгү жагымдуу даамы менен 5 баллга бааланды.

Изилденген азыктарда углеводдордун жана белоктордун кармалышына рецептурадагы ингредиенттердин таасир бергендиги аныкталды. Рецепурада шекер жана балдын эсебинен, ошондой эле контролдук үлгүгө №1 салыштырмалуу грек жаңгагы жана кургатылган өрүк кошулган №2, №3 үлгүлөрдө углеводдордун кармалышы тиешелүү 1,0 жана 1,1 эсе жогорулагандыгын көрүүгө болот. Ал эми белоктун кармалышына №1 жана №3 үлгүлөргө (9,3-9,8 %) салыштырмалуу, курамында кошумча грек жаңгагы кошулган №2-үлгүдө 10,8% түзгөндүгү аныкталды.

Даяр азыктардын энергетикалык баалуулугу үлгүлөр үчүн 425,6-455,8 ккал түзүп, организмди ток сезимде алып жүрүүгө көмөктөшөт жана күнүмдүк тамактануу рационунда снек катары колдонууга сунуштоого болот.

Даяр азыктардын артыкчылыктарынын бири – алардын табигыйлыгы б.а. тамак-аш кошулмалары жок жана жергиликтүү чийки заттарды колдонуу менен азыктык баалуулугу

жогору болгондугунда. Алынган жыйынтыктарга таянып, курут кошулган жаңы май печеньесин ундан жасалган кондитердик азыктарынын ассортименттерин кеңейтүүгө сунуштоого мүмкүнчүлүк берет.

Адабияттар тизмеси

1. Завалишина, О.М. Качественные характеристики сдобного печенья с добавлением порошка шиповника [Текст] / О.М. Завалишина // Вестник биотехнологии. – 2023. – 3(36).

2. Корниенко, А.А. Совершенствование рецептуры печенья сдобного безглютенового с использованием побочных продуктов переработки моркови и тыквы [Текст] / А.А. Корниенко, Е.В. Лютова // Известия КГТУ. –2025. – № 77. – с. 58-71.

3. Сокол, Н.В. Исследование технологических особенностей муки тритикале для производства мучных кондитерских изделий функционального назначения [Текст] / Н.В. Сокол, С.А. Гриценко, Н.С. Храмова, О.П. Гайдукова, В.Я. Ковтуненко // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. –№ 10. – с. 27–30.

4. Кочкорова, Ф.А., Китарова Г.С. Пищевая ценность национального кисломолочного продукта курут и его место в питании подростков Кыргызской Республики [Текст] // Вопросы питания. 2021. 90(5). – с. 87-95.

5. Gille, D. Potenzial der Milchprodukte als Brainfood // Swiss J. Dietetics. 2012. Vol. 2. p. 21.

6. Усубалиева, А.М. Кыргыз курутунун азыктык баалуулугу [Текст] / А.М. Усубалиева, К.А. Сартова // Известия ВУЗов Кыргызстана. - Бишкек: 2024. - № 1. с. 47-50.

7. Брыксина, К.В., Толстова, Н.Ю. Применение муки пшеничной цельнозерновой при производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности [Текст] / К.В. Брыксина, Н.Ю. Толстова // Наука и Образование. 2022. – 5(2).

8. Semwal, S., Kumar, R., Rajkumar, D. R, Jha, P., Surbhi, Suman, Murugalatha, N. et al. Ghee's multifaceted benefits for daily nutrition and health // Journal of Rare Cardiovascular Diseases, 2025. 5(S6), p.788–792. https://doi.org/10.61336/jrcd/25-S6-103

9. Elemanova, R., Serniene, L., Usubalieva, A., Tayeva, A., Baikhozhaeva, B. Musulmanova, M. Physicochemical characteristics of Kyrgyz khainak milk for ghee production // Food and Humanity, 2026. 6, 100990. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100990

10. Киселева, Т. Ф. Комплексная переработка сушеного плодово-ягодного сырья [Текст] / Т.Ф. Киселева, А.С. Ушакова, А.Ф. Газиева // Техника и технология пищевых производств. 2015. – 3(38). – с. 30-34.

11. Борисова А.С. К вопросу разработки рецептуры белково-растительной пасты [Текст] / А.С. Борисова, Ж.О. Бекова, М.Т. Тынарбекова, Р.Ш. Элеманова // Известия КГТУ. – Бишкек: 2025. – № 3(75). – с. 840-848. https://doi.org/10.56634/16948335.2025.3.840-848

12. Усубалиева А.М. Исследование сушеного абрикоса, выращенного в Кыргызской Республике [Текст] / А.М. Усубалиева, К.А. Сартова, Ж.А. Осконбаева, Р.Ш., Элеманова, М.Т. Тынарбекова // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 15(97). – с. 27-30.

13. ГОСТ 24901-14. Печенье. Общие технические условия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://meganorm.ru/Data/583/58308.pdf

14. Алексеенко, Е.В. Сдобное печенье повышенной пищевой ценности [Текст] / Е.В. Алексеенко, И.Г. Белявская, Л.В. Зайцева, А.Г. Уварова // Проектирование и моделирование продуктов питания нового покаления. 2021. – №3, – с. 121-138.

15. Кузнецова Л. С. Технология производства мучных кондитерских изделий: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л. С. Кузнецова, М. Ю. Сиданова. – 7-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 400 с. – ISBN 978-5-7695-9525-7

УДК: 641.303

Усубалиева А.М., Озбекова Ж.Э., Бодошов А.У., Дейдиев А.У.
[1]Кыргыз-Түрк "Манас" университети, Бишкек, Кыргыз Республикасы
[1]Кыргызско-Турецкий университет "Манас, Бишкек, Кыргызская Республика

A.M. Usubalieva, Zh.E. Ozbekova, A.U. Bodoshov, A.U. Deydiev
[1]Kyrgyz-Turkish Manas University, Bishkek, Kyrgyz Republic
ausubalieva@manas.edu.kg

АЛМА СЫГЫНДЫСЫНЫН САПАТТЫК КӨРСӨТКҮЧТӨРҮ

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЯБЛОЧНОЙ ВЫЖИМКИ

QUALITY INDICATORS OF APPLE POMACE

Мөмө-жемиштер адамдардын рационунда маанилүү ролду ойнойт, себеби алардын курамында адамдын ден соолугуна пайдалуу компоненттер камтылат, өзгөчө витаминдер, органикалык кислоталар, минералдык элементтер жана антиоксиданттар. Бирок, мөмө-жемиштердин сактоо мөөнөттөрү кыска болгондуктан аларды ар кандай жолдор менен кайра иштетүү керек. Мөмө-жемиштерден кеңири өндүрүлүүчү азыктардын бири болуп ширелер эсептелет. Изилдөөнүн алкагында ЖЧК "Экопродукт Азия" өндүрүшүндөгү алма ширесин өндүрүүдөгү алманын сыгындысы негизги чийки зат катары тандалып алынган. Алма сыгындысын өндүрүштө кайра иштетүү үчүн аны кургатуу менен башка тамак-аш азыктарын өндүрүүдө кошууга мүмкүнчүлүк берет. Кургатылган алма сыгындысынын органолептикалык мүнөздөмөлөрү аныкталды жана курамында (%): белоктор — 8,65, булалар — 9,25, күл — 1,42, майлар — 5,42 жана канттар — 8,2, ошондой эле элементтердин: Si – 0,265±0,02; Mg – 3,0±0,1; Fe – 7,0±0,23; Na – 0,756±0,5 жана Cu – 67,0±1,6 өлчөмүндө кармалгандыгы аныкталды. Алманын сыгындысын тамак-аш тармагында колдонуусу ден соолука пайдалуу болуп, ич катуунун, семирүүнүн жана жүрөк-кан тамыр ооруларынын алдын алууга көмөктөшөт.

Ачкыч сөздөр: *алманын сыгындысы, тамак-аш баалуулук, функционалдык азык, минералдык элемент, кургатуу, химиялык курам, шире.*

Фрукты играют важную роль в рационе человека, поскольку содержат компоненты, полезные для здоровья человека, в частности витамины, органические кислоты, минеральные элементы и антиоксиданты. Однако, срок хранения фруктов невелик, их необходимо перерабатывать различными способами. Одним из наиболее распространенных продуктов, получаемых из плодов, являются соки. В рамках исследования в качестве основного сырья был выбран яблочный жмых, получаемый при производстве яблочного сока, выпускаемого ОсОО «Экопродукт Азия». В производстве для переработки яблочного жмыха можно использовать метод высушивания, что позволит его использовать в качестве добавки в другие пищевые продукты. Определены органолептические показатели высушенного яблочного жмыха. Результаты анализа показали, что образец высушенного яблочного жмыха содержит (%): белки — 8,65, клетчатку — 9,25, золу — 1,42, жиры — 5,42 и сахара — 8,2. Кроме того, было установлено содержание следующих элементов: Si — 0,265±0,02; Mg — 3,0±0,1; Fe — 7,0±0,23; Na — 0,756±0,5 и Cu — 67,0±1,6. Использование яблочного жмыха в пищевой промышленности полезно для здоровья и может способствовать профилактике запоров, ожирения и сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: *яблочная выжимка, пищевая ценность, функциональный продукт, минеральный элемент, сушка, химический состав, сок.*

Fruits play an important role in the human diet, containing components beneficial to human health, including vitamins, organic acids, minerals, and antioxidants. However, due to their short shelf life, fruits require various processing methods. Juices are one of the most common products obtained from fruits. Apple pomace from an apple juice plant produced by Ecoproduct Asia LLC was chosen as the primary raw material for this study. Apple pomace can be processed using drying, allowing it to be used as an additive in other food products. The organoleptic properties of dried apple pomace were determined. Analysis showed that the dried apple pomace contains the following (%): proteins 8.65, fiber 9.25, ash 1.42, fats 5.42, and sugars 8.2, as well as elements such as Si, Mg, Fe, Na, and Cu. The use of apple pomace in the food industry is beneficial for health and can be recommended for the prevention of certain diseases.

Key words: *apple pomace, nutritional value, functional product, mineral element, drying, chemical composition, juice.*

Для цитирования: Усубалиева А.М., Озбекова Ж.Э., Бодошов А.У., Дейдиев А.У. Алма сыгындысынын сапаттык көрсөткүчтөрү / Известия КГТУ имени Раззакова. –2026. – №3 79. – стр. 223-231.

Киришүү

Алма дүйнөдө эң көп өстүрүлгөн мөмө-жемиштердин бири. Дүйнө жүзүндө бир жылда 80 млн тонна алма өндүрүлөт. Алманын өндүрүшү боюнча дүйнөдөгү алдыңкы өлкөлөр Кытай, АКШ жана Түркия болуп эсептелет. Алма тамак-аш өндүрүшүндө баалуу чийки азык болуп, кыям, мармелад, чай, шире, уксус даярдоодо ж.б. колдонулат. Кеңири колдонулган багыттардын бири, алма ширесин өндүрүү болуп саналат. Шире өндүрүүдө көп санда алманын сыгындысы калдык катары чыгарылат. Алманын сыгындысы кошумча азык катары алынып, алма ширеси өндүрүшүнүн калдыктарынын 25-35%ын түзөт [1].

Узак убакыт бою алманын сыгындысы, негизинен, жаныбарлардын тоюту катары колдонулган же жок кылынган аз баалуу калдык катары каралып келген. Бирок, заманбап изилдөөлөр бул сыгындынын тамак-аш буласынын, пектиндин, полифенолдук кошулмалардын, органикалык кислоталардын, витаминдердин жана минералдардын баалуу булагы экенин көрсөтүп турат [2, 3]. Адабияттык талдоолор боюнча жемиштерди кайра иштетүүдө калган баалуу таштандыларды утилдөө маселеси көптөгөн өлкөлөрдө актуалдуу маселе болуп эсептелет.

Жашылча жемиштердин курамында баалуу азыктардын кармалышы, аларды кайра иштетүү менен ар кандай багытта колдонуу жолдору изилденип келет. Акыркы жылдары алманын сыгылган дандары нан жана кондитердик азыктарды, сүт азыктарын, эт системаларын, экструзияланган жеңил тамактарды жана функционалдык суусундуктарды иштеп чыгууда ийгиликтүү колдонулуп келет. Бул ингредиенттин кошулушу тамак-аш буласынын жана антиоксиданттардын курамын көбөйтөт, сууну кармап туруу жөндөмүн жакшыртат жана даяр продукциянын кычкылдануу туруктуулугун жогорулатат. Бирок, сыгылган дандын технологиялык касиеттери дозаны оптималдаштырууну талап кылат, анткени ашыкча кошуу продукциянын текстурасына, түсүнө жана башка органолептикалык мүнөздөмөлөрүнө таасир берүүсү мүмкүн [4, 5].

Алманын сыгындысы белгилүү болгондой көбүнчө пектин, ароматикалык заттарын алуу үчүн жана малга тоют катары кенири колдонулуп келет. Бразилияда алманын сыгындысын кургатуу менен пектин өндүрүүдө колдонуп келишет [6]. Ал эми Индияда

алманын калдыгынын курамында булалардын камтылышы кызыктырып, тамак-аш багытында тамак-аш булаларын даярдоо үчүн колдонуп келишет [7]. Ошондой эле алма сыгындысынын курамында тамак-аш булаларынан тышкары фенолдор дагы камтылат. Бланширленген, суусуздандырган жана майдаланган алманын кабыгы 41% тамак-аш булаларын камтыйт [8]. Мындай кургатылып майдаланган калдыктарды нан бышырууда колдонуу азыктын курамындагы суу жана майды жакшы кармоого мүмкүнчүлүк түзүү менен алардын функционалдык касиетин жогорулатууга таасир берет [7]. Ошондой эле нан азыктарынын курамында пектин жана башка биологиялык активдүү заттардын жогорулашы алардын тамак-аш баалуулугун жогорулатууга алып келет [9].

Кургак затка эсептегенде алма сыгындысында жалпы диеталык буланын үлүшү 40–70 %га чейин, ал эми полифенолдордун көлөмү сортко, өстүрүү шарттарына жана кайра иштетүү технологиясына жараша олуттуу өзгөрөт. Мындай курамдык ар түрдүүлүк аны ар кандай багыттагы функционалдык азыктарды иштеп чыгууда универсалдуу ингредиент катары кароого мүмкүндүк берет [5].

Ошондой эле, изилдөөчү [10] алманын сыгындысын кургатуу менен малдарга тоют (өлчөмү 0,1 мм) даярдоо үчүн жана кондитер азыктарына колдонуу максатында кургатууну модернизациялаган. Алманын сыгындысын малдарга тоют катары колдонууда анын химиялык курамы жана биологиялык балуулугу боюнча кээ бир башка өсүмдүк калдыктарына (дандуулар, данбобдуулар, майдандар ж.б.) салыштырмалуу чийики зат катары колдонуу үчүн талаптарга жооп берет [11].

Адабияттык маалыматтарда [12] алманын сыгындысынан пектин алуу үчүн кургатууда, аны 80°С кургатуу оптималдуу температура болгондугу аныкталган. Ширелерди жана концентраттарды өндүрүү учурунда алынган алманын сыгылган бөлүгүндө бир топ нымдуулук (70-80 %) бар, бул аны микробиологиялык жактан туруксуз кылат жана сактоо мөөнөтүн чектейт. Ошондуктан, кургатуу нымдуулукту азайтуу, химиялык курамын турукташтыруу жана алманын сыгылган бөлүгүн андан ары порошок түрүндөгү функционалдык ингредиент катары колдонууга мүмкүндүк берүү үчүн зарыл болгон технологиялык кадам болуп саналат [2].

Демек, алманын сыгындысын ар кандай максатта кургатуу анын курамындагы баалуу компоненттерди сактап калуу үчүн максаттуу температуралык режимди жана башка факторлорду да эске алуу керек экендигин белгилесек болот.

Кыргызстанда мөмө-жемиш жана жашылча ширелерин өндүрүү статистикалык маалыматтар боюнча (жылда миң/литр): 2015 ж. – 8656,1; 2016 ж. – 5529,1; 2017 ж. – 9411; 2018 ж. – 8880,2 жана 2019 ж. – 8891,8 түзгөн. Ал эми бул өндүрүш тармагында сыгындылар боюнча статистикалык маалыматтар берилген эмес. Кыргыз Республикасында алма менен алмуруттун бир жылда алынган түшүмү 110-120 миң тоннага жетет. Ал эми өндүрүштөрдө алманы кайра иштетүү болгону 10% гана түзөт [14]. Шире алууда алманын сыгындысы малга жем катары колдонулгандыгы менен чектелет. Демек, Кыргызстанда шире өндүрүүчү заводдордо негизги калдыктар катары мөмө-жемиштердин сыгыдыларын кайра иштетүү жана толук кандуу колдонулбагандыгына байланыштуу, аларды туура колдонуу жолдорун табуу актуалдуу маселелердин бири болуп эсептелет.

Иштин максаты

Кыргызстандагы шире өндүрүүдөн калган калдыктарды тамак-аш багытында колдонуу маселесин чечүү болуп саналат. ЖЧК «Экопродукт Азия» - накта ширелерди, нектарларды жана шире камтылган суусусундуктарды өндүрүүчү ири ишканалардын бири. Борбордук Азиянын рыногуна «Organic» маркасы алдында түз сыгылган бренделген ширени биринчилерден болуп алып чыккан жана рынокто белгилүү, кенири таркалган [13].

Материалдар жана изилдөөнүн объектиси

Изилдөө объектилери жана аларды кургатуу. Изилдөө объектиси катары – ЖЧК “Экопродукт Азия” өндүрүшүндөгү алма ширесин (Голден Делишес сорту) өндүрүүдөгү алманын сыгындысы полиэтилен баштыктарда эки партия алынып келинген.

Алма сыгындысын кайра иштетүү үчүн кургатылган абалда сактоо ынгайлуу болгондуктан, кургатуу ыкмаларын колдонуу каралды. Алманын сыгындысы лабораториялык шартта эки ыкманын жардамы менен кургатылды. Үлгүлөр алдын ала таразага тартылып, конвективдүү кургатуучу (UOP8-A сериясындагы Armfield Ltd. компаниясынын кургатуучу аппаратында, t=43-45 ^{0}C, 10-12 саат) жана сублимациондук кургатуучу (Kambic LİO-5P маркасындагы сублимациялык кургаткычта, t= – 42°C .... – 55°C , P=0,026-0,067 кПа, 6-8 саат) жабдыктарында кургатылды (сүрөт 1). Кургатылган үлгүлөр полиэтилен баштыктарга салынды.

а - сублимация ыкмасы

б - конвективдүү ыкмасы

Сүрөт 1. Алманын кургатылган үлгүлөрү

Колдонулган методдор

Изилдөөгө даярдалган алма сыгындысынын чийки жана кургатылган үлгүлөрүнүн химиялык көрсөткүчтөрү: нымдуулугу, белоктордун, майлардын, жалпы жана канттардын, тамак-аш булаларынын, күлдүн камтылышы стандарттык ыкмаларга ылайык аныкталды (AOAC, 2000) [15]. Кургатылган үлгүлөрдүн органолептикалык көрсөткүчтөрү ГОСТ 32896-2014 ылайык аныкталды [16]. Ар бир анализ кеминде эки-үч параллелдүү аныктоодо жүргүзүлүп, алынган натыйжалар **M±SD** түрүндө көрсөтүлдү, ал эми статистикалык иштетүү **ANOVA** ыкмасы менен жүргүзүлүп, айырмачылыктар **p<0,05** деңгээлинде статистикалык маанилүү деп эсептелди.

Минералдык элементтер атом-эмиссиондук спектралдык жабдыгында (спектрограф ДФС-8, дифракциондук торчосу 600 штр/мм) эки параллель аныкталды. Спектрлерди дүүлүктүрүү ДГП-50 кош агымдуу плазматрондо, 78 А ток күчүндө жүргүзүлгөн. Экспозиция убактысы 25 секунд, тешикченин туурасы 14 мкм түзгөн. Спектрлер ЭС-10 фотопластинкаларында сезгичтүүлүгү 10 бирд. ГОСТ 10691.6-88 менен катталган [17].

Жыйынтыктар жана аларды талкуулоо

Алманын сыгындысынын чийки жана кургатылган үлгүлөрүнүн химиялык курамы 1-таблицада берилген.

1 – таблица. Алманын сыгындысынын химиялык курамы

Көрсөткүчтөр	**Алма сыгындысы**	**Кургатылган алма сыгындысы (сублимация ыкмасы)**	**Кургатылган алма сыгындысы (конвективдүү ыкмасы)**
Нымдуулук, %	74,5±0,2	13,5±0,3	11,2±0,3
Белок, %	0,85±0,05	8,8±0,2	8,5±0,2
Булалар, %	9,9±0,30	45,8±0,1	42,0±0,1
Күл, %	0,76±0,02	1,95±0,01	1,8±0,02
Майлар, %	1,20±0,2	5,85±0,20	5,2±0,30
Редуцирлөөчү канттар, %	7,5±0,20	9,0±0,30	7,4±0,20

Алма сыгындысын тамак-аш өндүрүү багытында колдонуу, анын тамак-аш балуулугу жогору болгондугу менен аныкталат. Изилдөөдө аныкталган кээ бир көрсөткүчтөр алманын сыгындысы баалуу чийки азык экендигин тастыктайт. Изилденген адабияттык маалыматтар боюнча алманын сыгындысы пектинге, булаларга бай экендигин көрүүгө болот. Мисалы, [18] изилдөөлөрү боюнча алманын сыгындысынын курамында (%): пектин – 17,6; клетчатка – 16,7; моносахариддер – 26,9; күл – 2,08 жана темирдин – 1,64 мг/кг кармалышын көрүүгө болот. Ошондой эле алманын сыгындысынын физико-химиялык курамы изилденип, көп өлкөлөрдө кызыгуу туудуруп келет. Мисалы, [19] изилдөөлөрү боюнча алманын сыгындысынын курамында (%): нымдуулугу 79,2; белок 3,7; булалар 38,2; күлү 3,5; углеводдор 59,8; редуцирленген канттар 10,8 жана pH чөйрөсү 4,0 түзгөн.

Алынган натыйжалар боюнча сублимациялык кургатылган алма сыгындысында редуцирлөөчү канттардын өлчөмү **9,0±0,30%**, ал эми конвективдик кургатылган үлгүдө **7,4±0,20%** түздү. Сублимациялык кургатылган үлгүнүн нымдуулугу 13,5±0,3%, конвективдик үлгүнүкү 11,2±0,3% болгон. Кургатуу процессинде суунун бөлүнүп чыгышы кургак заттын үлүшүнүн жогорулашына алып келгендиктен, редуцирлөөчү канттардын салыштырмалуу концентрациясы жогорулаган. Сублимациялык кургатууда төмөн температуралык шарттар колдонулгандыктан, канттардын термикалык өзгөрүүлөрү азыраак жүрүп, алардын сакталышы конвективдик кургатууга салыштырмалуу жогору болгон деп божомолдоого болот.

Кыргызстанда алынган алма сыгындысына салыштырмалуу белок, булалар, күл жана углеводдор жогору болгондугу аныкталды, ал эми чөйрөсү төмөн болуп чыкты. Демек, салыштырмалуу алманын сыгындыларынын курамы алманын сортуна, өстүрүлгөн шарттары жана климатка карата, колдонулган технологияга карата өзгөрүлмөлүү болгондугун көрүүгө болот.

Ошондой эле алманын сыгындысынын курамындагы минералдык элементтердин өлчөмү (мг/100 г) төмөнкүдөй аныкталды: Si – 0,265±0,02; Mg – 3,0±0,1; Fe – 7,0±0,23; Na – 0,756±0,5 жана Cu – 67,0±1,6. Алма сыгындысынын минералдык курамы адабият булагындагы [20] маалыматтар менен салыштырылды. Адабиятта темирдин (Fe) өлчөмү 25,17 мг/кг, ал эми биздин изилдөөдө 7,0 мг/100 г, башкача айтканда 70,0 мг/кг түздү. Демек, биздин изилдөөдө аныкталган темирдин өлчөмү адабиятта келтирилген мааниден жогору экендиги аныкталды.

Изилдөөнүн жыйынтыктары көрсөткөндөй үлгүдө кремний элементинин кармалышы 0,265 мг/100 г аныкталгандыгы менен, анын дагы бир баалуулугун белгилөөгө болот. Себеби бул элемент биоактивдүү, пайдалуу элемент болуп эсептелет. Ал адамдын организминде маанилүү ролду ойнойт жана иммундук, нейрон жана сөөктү бекемдөөдө маанилүү болуп эсептелет [21]. Ошондой эле кургатылган алманын курамында айрым витаминдердин жана минералдык элементтердин жакшы сакталып калгандыгын белгилөөгө болот [22].

Кургатылган алма сыгындысынын органолептикалык көрсөткүчтөрү 2-таблицада берилген.

2 – таблица. Кургатылган алма сыгындысынын органолептикалык көрсөткүчтөрү

Көрсөткүчтөр	**Кургатылган алма сыгындысы**	
	Сублимация ыкмасы	**Конвективдүү ыкмасы**
Сырткы көрүнүшү	бир түрлүү	бир түрлүү
Консистенциясы	жумшак жана борпоң	катуу, оңой сынуучу
Түсү	ачык күрөң	күңүрт күрөң
Даамы	таттуу-кычкыл, алмага мүнөздүү	таттуу-кычкыл, алмага мүнөздүү, бирок начар
Жыты	алмага мүнөздүү, күчөтүлгөн	алмага мүнөздүү, начар

Органолептикалык баалоонун жыйынтыгында, сублимациялык ыкма менен кургатылган сыгынды конвективдүү ыкманыкына салыштырмалуу ачык күрөң түстүү, жумшак борпоң, жыты алмага тийиштүү, даамы кургатылган алманын даамына мүнөздүү. Ал эми конвективдүү кургатуудан алынган сыгындынын даамы жана жыты алманын даамына жана жытына мүнөздүү, бирок начар болгондугу аныкталды. Бул көрсөткүчтөр кургатылган алма сыгындысын майдалоодо жана ар кандай максатта колдонууда маанилүү болуп эсептелет.

Корутунду

Изилдөө алкагында ЖЧК "Экопродукт Азия" өндүрүшүндөгү алма ширесин өндүрүүдөгү калган алманын сыгындысы негизги чийки зат катары алынып, өндүрүштө калдыктарды кайра иштетүү маселесин чечүүдө бирден бир бөлүгү катары чийки затты кургатуу жолу каралды.

Өндүрүштөрдө алма ширесинен калган алманын сыгындысын кургатып сактоо маселесин чечүүдө, сублимациялык жана конвективдүү ыкмалары колдонулуп, салыштырмалуу сублимация ыкмасы менен кургатылган сыгындынын органолептикалык көрсөткүчтөрү жогору көрсөткүчтөргө ээ болуп, химиялык курамындагы компоненттерди көбүрөөк сактагандыгы аныкталды. Кургатылган алманын сыгындысы баалуу компоненттерге бай экендиги аныкталып, кургатуу методуна жараша орточо курамында (%) белоктор 8,5 – 8,8; булалар 42 – 45,8; күл 1,8 – 1,95; майлар 5,2 – 5,85; редуцирлөөчү канттар 7,4 – 9 аралыгында жаткандыгын белгилөөгө болот. Ошондой эле кургатылган алма сыгындысында Si – 0,265±0,02; Mg – 3,0±0,1; Fe – 7,0±0,23; Na – 0,756±0,5 жана Cu – 67,0±1,6 өлчөмүндө аныкталды.

Аткарылган изилдөөлөрдүн негизинде кургатылган алма сыгындысын функционалдуу багытта тамак-аш азыктарын өндүрүүдө жана башка тармактарда кошумча баалуу компоненттер катары колдонууга сунуштоого болот.

Ыраазычылык

Изилдөө иши Кыргыз-Түрк Манас университети тарабынан каржыланган долбоор (Долбоор №:KTMU-BAP-2019.FBE.04) алкагында аткарылган жана колдоо көрсөткөндүгү үчүн ыраазычылык билдиребиз. Ошондой эле ЖЧК "Экопродукт Азия" өндүрүшү изилдөө иши үчүн чийки азыктар менен камсыз кылып бергендиги үчүн ыраазычылык билдиребиз.

Адабияттар тизмеси

1. Vendruscolo, F. Apple Pomace: A Versatile Substrate for Biotechnological Applications [Текст] / Vendruscolo, F., Albuquerque, P.M., Streit, F.// Critical Reviews in Biotechnology. – 2008. –№28. – p.1-12.

2. Kauser, S. Apple pomace, a bioresource of functional and nutritional components with potential of utilization in different food formulations: A review [Текст] / Kauser, S., Murtaza, M. A., Hussain, A., Imran, M., Kabir, K., Najam, A., An, Q. U., Akram, S., Fatima, H., Batool, S. A., Shehzad, A., & Yaqub, S. // Food Chemistry Advances. - 2024. - №4. – p. 100598. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100598

3. Vandorou, M. A review on apple pomace bioactives for natural functional food and cosmetic products with therapeutic health-promoting properties [Текст] / Vandorou, M., Plakidis, C., Tsompanidou, I. M., Adamantidi, T., Panagopoulou, E. A., Tsoupras, A. // International Journal of Molecular Sciences. – 2024. - №25(19), 10856. https://doi.org/10.3390/ijms251910856

4. Akcan, N. Muz Kabuğu: Katı Faz Fermantasyonunda Bacillus licheniformis VO7 tarafından α-Amilaz Üretimi için Potansiyel bir Substrat [Текст] / N. Akcan // Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi. – 2021.– №. 2(8) – с. 501-510.

5. Султанова, Б.А. Современные тенденции валоризации отходов предприятий общественного питания с помощью процессов биохимической конверсии [Текст] / Б.А. Султанова, А.Т. Мажитова // Известия КГТУ. Б.: 2023. – №2(66). – с. 1102-1116. https://doi.org/10.56634/16948335.2023.2.1102-1116.

6. Lyu, F. Apple pomace as a functional and healthy ingredient in food products: A review [Текст] / Lyu, F., Lu, X., Wang, Y., Liu, Y., Huang, Y. // Processes. – 2020. №8(3). – p.319. https://doi.org/10.3390/pr8030319

7. Peter, R. Apple and grape pomace: emerging upcycled functional ingredients in processed meat products, designed to increase polyphenol and fiber contents [Текст] / Peter, R. // Gracey and Elad Tako // Sustainable Food Technology. – 2025. №3. – p. 861-874.

8. Canteri-Schemin, M. H. Extraction of Pectin From Apple Pomace [Текст] / Canteri-Schemin, M.H., Ramos Fertonani, H.C., Waszczynskyj, N., Wosiacki, G. // Brazilian Archives of Biology and Technology. –2005. – V.48(2). – p. 259-266.

9. Sahni, P. Utilization of fruit and vegetable pomace as functional ingredient in bakery products: A review [Текст] / Sahni, P., Shere, D.M. Asian // Asian Journal of Dairy and Food Research. –2018. – V.37. №3. – p.202-211.

10. Rupasinghe, H.P.V. Effect of baking on dietary fibre and phenolics of muffins incorporated with apple skin powder [Текст] / Rupasinghe, H.P.V., Wang, L., Huber, G. M., Pitts, N. L. // Food Chemistry. – 2008. – №107. – p.1217-1224.

11. Ktenioudaki, A. Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer’s spent grain and apple pomace [Текст] / Ktenioudaki, A., O’Shea, N. Gallagher, E. // Journal of Food Engineering. –2013. – №116. – p. 362-368.

12. Krailo, M.I. Modernization of apple pomace drying unit [Текст] / Krailo, M.I. // Pishchevaya-Promyshlennost. USSR. –1984. №3. – p. 53-54.

13. Чериков, С.Т. Разработка технологии получения органоминерального экструдированного комбикорма с использованием новообразующего фильтрационного осадка сахарных заводов [Текст] / Чериков, С.Т., Черикова, Д.С. Шамыралиев, Ж.Д. Сырымбекова Э.И. // Известия КГТУ. Б.: – 2016. – № 1(37). – С. 203-208.

14. Constenla, D. Effect of Pomace Drying on Apple Ponce [Текст] / Constenla, D., Ponce, A.G., Lozano, J.E. // LWT - Food Science and Technology. – 2002. –V.35(3). – p. 216-221.

15. Компания жөнүндө. http://www.ecoproduct.kg [Алынган дата 05.09.2025].

16. Абдиев, М.Ж. Проблемы производства и переработки плодоовощной продукции в КР [Текст] / Абдиев, М.Ж. // Реформа. – 2011. – №1(49). – С. 70-75.

17. AOAC Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. 2000.

18. ГОСТ 32896-2014 Фрукты сушеные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ. 2015. - с. 16.

19. Баткибекова, М.Б. Особенности накопления тяжелых металлов в овощных культурах [Текст] / Баткибекова, М.Б., Урманбетов, К., Усубалиева, А.М., Таштанов, Р.А. // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. Б: – 2010. – №1. – с. 81-84.

20. Беляев, Д.А. Исследование различных способов хранения отходов консервной промышленности [Текст] / Беляев, Д.А. // Вестник МичГАУ. – 2012. №1. Ч. 1. – С. 166-170.

21. Albuquerque, P.M. Estudo da produção de proteína microbiana a partir do bagaço de maçã. Doctoral dissertation, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos: UFSC, 2003. – p. 103.

22. Fatih E.R. Chemıcal composıtıonal propertıes and mıneral contents of some apple cultıvars. South Western Journal [Текст] / Fatih E.R., Özcan, M.M. // Horticulture, Biology and Environment. – 2010. – V.1(2). – p. 121-131.

23. Farooq, M.A. Silicon as Versatile Player in Plant and Human Biology: Overlooked and Poorly Understood [Текст] / Farooq, M.A., Dietz, K.-J // Frontiers in Plant Science. – 2015. – V.6(994). – p. 12.

24. Мамбетова, А.Ш. Разработка сухой молочно-растительной композиции [Текст] / Мамбетова, А.Ш., Омурбек Кызы Назира // Известия КГТУ. Б.: 2019. – № 3(51). – с. 198-205.

ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.8-53

Зыкова Е.П., Мухтарбекова Р.М., Бубликова Ю.С.
И.Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек, Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И.Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

E.P. Zykova, R.M. Mukhtarbekova, I.S. Bublikova
I. Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
zykova-lena21@mail.ru, winjoker25@mail.ru, julija.s_2@mail.ru

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ МАШИН

МАШИНАЛАРДАГЫ КОШУМЧА МЕХАНИЗМДЕРДИ ТАЛДОО ЖАНА КЛАССИФИКАЦИЯЛОО

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF MACHINE AUXILIARY MECHANISMS

Макалада машиналардын курамында негизги (аткаруучу) механизмдердин жана максаттуу механизмдер деп аталган механизмдердин бар экендиги, ошондой эле машиналардын өндүрүш процессиндеги мааниси көрсөтүлгөн. Машинанын багытына жана колдонулуу чөйрөсүнө карабастан, анын курамын түзгөн механизмдердин негизги түрлөрү баяндалган.

«Көмөкчү механизм» түшүнүгүнө аныктама берилген.

Ар кандай функционалдык багыттагы машиналардын көмөкчү механизмдеринин структуралык схемалары талдоого алынган. Машина курууда, айыл чарбасында, полиграфия тармагында, текстиль машиналарында жана тоо-кен машиналарында колдонулуучу механизмдердин схемалары келтирилген.

Көмөкчү механизмдердин бир нече критерий боюнча классификациясы иштелип чыккан.

Ачкыч сөздөр: *машина, механизм, түзүлүш (структура), аткаруучу механизм, кулачок, кулиса, алты звенолуу механизм (шестизвенник), жылдыргыч (ползун), кривошип.*

Указано наличие в машинах основных (исполнительных) механизмов и, так называемых, целевых механизмов, и значимость машин в производстве. Представлены виды механизмов, из которых состоит любая машина, независимо от ее назначения.

Дано определение термина «вспомогательный механизм».

Проведен анализ структурных схем вспомогательных механизмов машин различного функционального назначения. Приведены схемы механизмов, применяемых в машиностроении, сельском хозяйстве, полиграфии, в текстильных машинах и в горных машинах.

Разработана классификация вспомогательных механизмов по нескольким критериям.

Ключевые слова*: машина, механизм, структура, исполнительный механизм, кулачок, кулиса, шестизвенник, ползун, кривошип*

The text describes the presence of primary (executive) mechanisms and so-called specialized mechanisms in machines, as well as the importance of machines in manufacturing. It presents the types of mechanisms that make up any machine, regardless of its purpose.

The term "auxiliary mechanism" is defined.

An analysis is conducted of the structural diagrams of auxiliary mechanisms in machines with various functional purposes. Diagrams of mechanisms used in mechanical engineering, agriculture, printing, textile machinery, and mining machinery are provided.

A classification of auxiliary mechanisms based on several criteria has been developed.

***Key words**: machine, mechanism, structure, actuator, cam, link, six-bar linkage, slider, crank.*

Для цитирования: Зыкова Е.П., Мухтарбекова Р.М., Бубликова Ю.С. Анализ и классификация вспомогательных механизмов машин / Известия КГТУ имени И.Раззакова. –2026. №3(79). – стр. 232 - 240.

Введение

Роль машин как средства производства в различных отраслях производства различны. Очевидно, что машины повышают производительность, и технический уровень технологического процесса.

В теории механизмов и машин принято следующее определение: "машина" – это сочетание механизмов, осуществляющих целесообразное движение с целью, преобразования энергии (машина-двигатель), или же для выполнения конкретной работы (рабочая машина).

Любая машина состоит из двигательного, передаточного и исполнительного механизмов [1].

Основой рабочей машины является исполнительный механизм, который получая движение от двигателя и передаточных механизмов, воздействует своими орудиями на обрабатываемый материал для изменения его свойств, формы, состояния или же положения.

Механизм – это устройство, являющееся одним из основных элементов любой машины, предназначенное для преобразования движения от двигателя в движение исполнительного механизма (ползуна, шатуна, коромысла).

В работе [2] указано, что в последнее время повышается интерес к конструированию деталей, входящих в состав механизмов эксцентриковых и коленчатых валов, шатунов, ползунов, рычагов, коромысел, шарнирных соединений и т.д. по той причине, что механмзмы входят в состав различных машин и оборудования. Например, в прессовом оборудовании, в ткацких, сновальных, полиграфических машинах, а также в строительных и дорожных машинах.

Аналогично вышепривенному, в работе [3] указано, что структуру машин, выполняющих технологические операции различного функционального назначения предложено условно разделить на две основные части: основной (исполнительный) механизм, выполняющий операции в соответствии с назначением машины и механизмы вспомогательные.

Там же дано определение: вспомогательные - это механизмы, необходимые для подготовки условий выполнения основных операций, согласно назначению машины.

Вспомогательные механизмы являются важным звеном технологически взаимосвязанной цепочки.

Выход из строя одного из вспомогательных механизмов вызывает длительные простои оборудования, снижается фактическая производительность, а следовательно, возникают экономические потери.

Поскольку основные (исполнительные) механизмы выполняют операции в соответствии с назначением машины, обеспечивают основную нагрузку, требуюмую

производительность, режимы работы и т.д., то и внимание им уделяется больше, чем вспомогательным.

Цель исследования

Установление значимости вспомогательных механизмов, их назначения и структурной классификации.

Для достижения этой цели решены задачи:

1. рассмотреть схемы вспомогательных механизмов машин различных отраслей промышленности;
2. провести анализ структуры и назначения вспомогательных механизмов;
3. разработать классификацию вспомогательных механизмов по нескольким категориям (по назначению, по структуре, по способу приведения в движение, по движению выходного звена).

Материал и методы исследования

Основу работы составляет структурный анализ механизмов машин. На его основе установлено, что вспомогательные операции необходимы для выполнения следующих функций:

− включение, выключение и реверсирование исполнительного механизма,
− предохранение исполнительного механизма от перегрузок,
− подача заготовки в рабочую зону оборудования и съем готовой детали,
− установка, зажим, или фиксация положения заготовки в процессе ее обработки,
− фиксированное или бесступенчатое перемещение конструктивных элементов машины,
− подача обрабатываемого материала,
− смена инструмента, машины,

Выполнение вспомогательных операций производится посредством множества целевых механизмов: транспортирующих, подающих, поворотных, фиксирующих и реверсивных механизмов, а также механизмов зажима и др.

В машиностроительном оборудовании применяются: механизмы подачи, механизмы магазинных питателей, отсекатели, зажимные устройства, механизмы поворота и др. [4].

Механизмы подачи, например, пруткового материала, могут быть цанговые, без подающих цанг, с направляющими трубами.

Подающие механизмы проволоки, ленты или проката могут быть: рычажными, шариковыми или роликовыми.

Наиболее распространенным является рычажный механизм подачи, который монтируется на подвижной каретке.

Захват материала в механизме подачи с шариковой цангой осуществляется с помощью трех шариков, которые заклиниваются между подаваемым материалом и коническими отверстиями цанги при движении каретки вперед.

По сравнению с двумя предыдущими конструкциями, в роликовом механизме подачи контактная поверхность роликов с материалом имеет большую величину, что позволяет производить подачу материала без повреждения.

Рассмотрим более подробно схемы и конструкции вспомогательных механизмов [4, 5].

1. Вспомогательные механизмы, применяемые в машиностроении

Механизмы прижима. Устройства, предназначенные для прижатия заготовки к столу станка или пресса [4].

Известна схема рычажного двухползунного механизма прижима заготовки посредством пружины через ползуны, и рычаги.

Механизм зажима листового материала служит для зажима и поворота листов стекла или другого хрупкого материала при транспортировке. Этот механизм является кулачковым.

Здесь при вращении шестерни конической зубчатой передачи кулачок, поворачивается и поднимает ролик, установленный на коромысле. В результате этого нижнее упругое звено поднимает лист и прижимая его к верхнему упругому звену, поворачивается вместе с листом.

Механизм подачи прутка необходим для создания усилия, достаточного для передвижения прутка в осевом направлении в шпинделе станка. Здесь груз, подвешенный на барабане через гибкую связь, огибающую два блока действует на толкатель, обеспечивая тем самым постоянное усилие подачи прутка, который перемещается вдоль желоба.

Бункерное загрузочное приспособление (рисунок 1), используемое в автоматах и автоматических линиях, предназначено для поштучной выдачи заготовок из бункера.

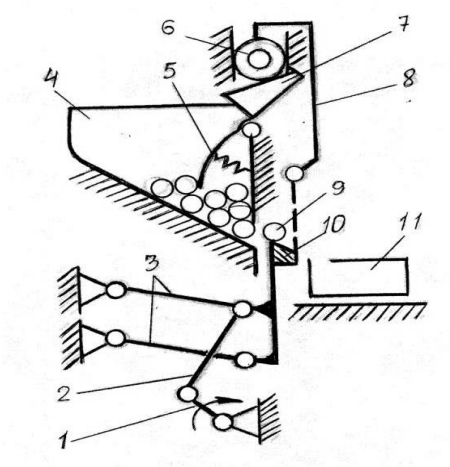


Рисунок 1– Схема загрузочного приспособления:

1 – кривошип, 2 – коромысло, 3-параллельные коромысла, 4 – бункер, 5 – ворошитель заготовок, 6 – ролик, 7 – кулачок, 8 – шатун, 9 - заготовки, 10 – нож, 11 - конвейер

Заготовки 9 подаются из бункера 4 на конвейер 11 посредством движущегося в вертикальном направлении ножа 10. Поступательное перемещение ножа обеспечивается движением двух параллельных коромысел 3, приводимых в движение кривошипом 1. Через шатун 8 и ролик 6 движение от ножа 10 передается кулачку 7 ворошителя 5 заготовок.

Механизм перегрузчика предназначен для поступательного перемещения предметов, расположенных на специальной площадке.

Площадка 2 с предметами, подлежащими перегрузке, соединяется со стойкой с помощью двух параллелограммов $ABCD$ и $DEFG$.

Указанная площадка закрепляется на звене BC и линия, соединяющая точки B и C во время движения остается параллельной самой себе

Привод в механизме осуществляется вращением кривошипа 3 (рисунок 2).

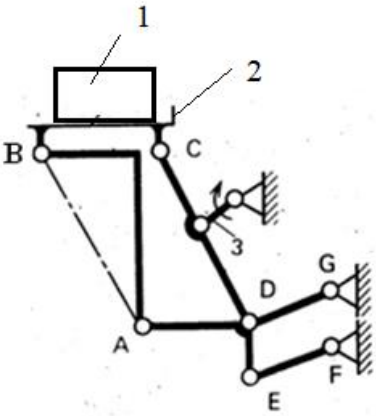


Рисунок 2 – Схема механизма перегрузчика: 1 – заготовки, 2 – площадка с заготовками, 3 – кривошип.

Механизм перегрузочного стола. Это устройство предназначено для приведения в движение поворотного стола, откуда производится перегрузка изделий на конвейер.

Этот механизм является двухкоромысловым. В нем коромысла имеют разную длину. Вращение стола осуществляется от двигателя посредством конической зубчатой пары, а вертикальное перемещение – с помощью гидроцилиндра, который связан с коромыслом. Параметры механизма подобраны так, чтобы наклон стола приводил к соскальзыванию перегружаемых предметов на конвейер.

Вспомогательные механизмы сельскохозяйственных машин

Подборщик - это устройство, служащее для подбора валка кормовой массы и передачи ее к упаковщикам или шнеку.

Механизм является кулачковым с неподвижной кулачковой дорожкой, по которой перекатываются ролики. Исполнительными звеньями в этом механизме являются подпружиненные зубья (пальцы), которые шарнирно соединены с шатунами.

Механизм упаковщиков (рисунок 3) - предназначен для подачи сена от подборщика 1 в прессовальную камеру. Звенья образуют кривошипно-коромысловый механизм с ведомым шатуном-лопастью 2. [3].

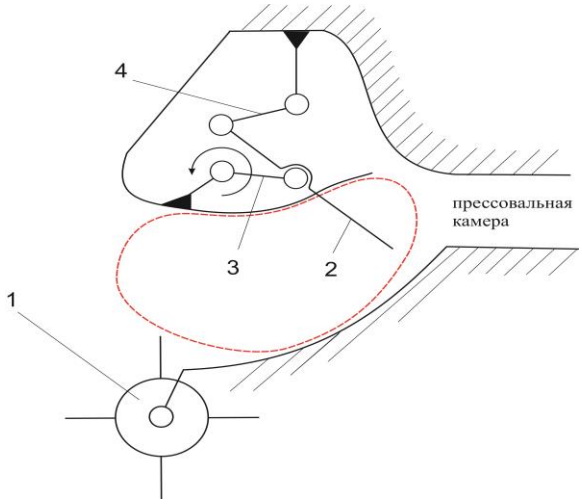


Рисунок 3 – Схема упаковщика

1 – подборщик, 2 – лопасть-шатун, 3 – ролики, 4 – подпружиненные зубья

Механизм картофелекопалки – кулачковый механизм, состоящий из неподвижного кулачка, кольца, несущего оси качающихся рычагов, которые соприкасаются с неподвижным кулачком посредством роликов. Кольцо вращается вокруг кулачка и лопаты, закрепленные на концах рычагов, поочередно производят копку.

Механизм наматывания в рулонном пресс-подборщике - устройство, которое предназначено для сматывания сена в рулон. В этом фрикционном механизме слой сена формируется между прижимаемыми друг к другу валиками. Сено подается в механизм первой из лент, которая вместе со второй, уплотняющей лентой сматывает уплотненный слой сена в рулон. Натяжение лент должно быть постоянным при изменении диаметра рулона, что достигается использованием пятизвенных шарнирных механизмов, которые между собой соединены пружиной.

Грабельный механизм сеноворошилки. Шарнирный четырехзвенный механизм, с граблями, закрепленными на конце шатуна, который приводится в движение кривошипом. Вращение кривошипа происходит посредством цепной передачи от колеса . За один оборот колеса граблина на шатуне совершает рабочее движение по траектории, близкой к окружности. Возвратное движение граблины происходит по линии, близкой к прямой, обеспечивается использованием приближенного прямила.

Вспомогательные механизмы, применяемые в текстильных машинах

Механизм натяжения нити предназначен для поддержания неизменного натяжения нити в текстильных машинах. Нить в механизме наматывается на барабан, а через шкив перекинута лента, с помощью которой регулируется скорость вращения шкива с барабаном. В случае увеличения натяжения нити, происходит воздействие на плечо двуплечего рычага,

что приводит к подъему его второго плеча (толкателя), который посредством пружины ослабляет натяжение ленты, происходит притормаживание шкива с барабаном.

Механизм намотки нитей сновальной машины предназначен для наматывания нитей 4 с нескольких сотен бобин на сновальный валик 3.

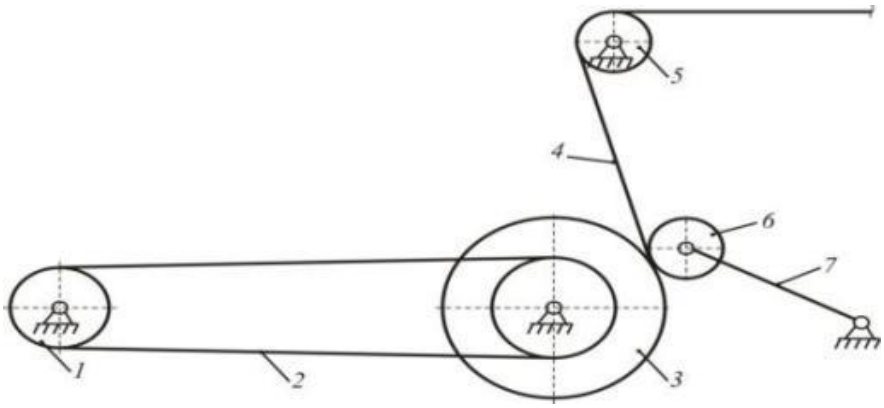


Рисунок 4 – Схема намоточного механизма сновальных машин
1 – электродвигатель, 2 – ременная передача, 3 – сновальный валик, 4 – нити, 5 – мерильный валик, 6 – укатывающий валик, 7 – коромысло

Вращение сновального валика 3 осуществляется от электродвигателя 1 посредством ременной передачи 2. Необходимую плотность намотки нитей, огибающих мерильный валик 5, обеспечивает укатывающий валик 6, прижимаемый коромыслом 7 к сновальному валику 3.

Батанный механизм– устройство, предназначенное для качания батана, назначение которого - направление челнока, вводящего уток в ткань. Механизм является двухкоромысловым с последовательным соединением двух кривошипно-коромысловых механизмов, каждый из которых состоит из трех звеньев, составляющих коромысла, в одном из которых батан – ведомое звено.

Боевой механизм– устройство, приводящее в движение челнок ткацких машин.

Механизм четырехзвенный двухкоромысловый. Привод механизма осуществляется от кулачка через коромысло и тягу. Траектория выходного звена в нижней ее части близка к прямой, что обеспечивается использованием приближенного прямила в виде четырехзвенного двухкоромыслового механизма. Силовое замыкание механизма осуществляется с помощью пружины.

Механизм ножевых рам–это устройство, задающее встречное возвратно-поступательное движение ножевым рамам жаккардовой машины.

Привод механизма осуществляется от кулачка, далее, через качающееся коромысло, тяги и ползун первая ножевая рама получает возвратно-поступательное движение. Аналогично, от кулачка вторая ножевая рама через два коромысла получает возвратно-поступательное движение, причем коромысло связано с кулачком через тягу и рычаг. Механизм является шарнирным шестизвенным.

Вспомогательные механизмы, применяемые в полиграфии

Подающий механизм, предназначен для подачи бумажного листа на конвейер.

Механизм является кулисным, движение в нем задается поршнем пневмоцилиндра. Бумажный лист 5, проходя между валиками 4, захватывается звеном 3 и подается на конвейер 2. При движении звено 3 поворачивается на 90°, оно является звеном кулисного механизма $3, 6, 1$ и приводится в движение поршнем гидроцилиндра 1.

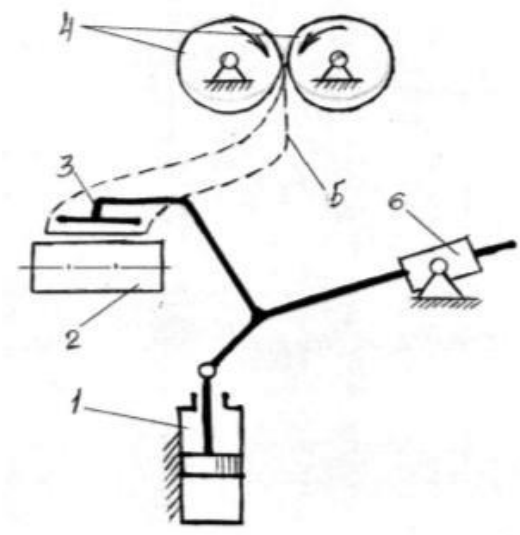


Рисунок 5 – Схема механизма, подающего лист бумаги

Листотранспортирующий механизм–устройство, перемещающее листы бумаги к выводным роликам.

Механизм приводится в движение цилиндрическим кулачком. Движение вакуумному захвату сообщает коромысло, а поворот захвата осуществляется шатуном посредством криволинейной направляющей, которая регулируется винтовым механизмом.

Захватное устройство печатного цилиндра служит для прижатия листа бумаги к поверхности печатного цилиндра.

Механизм является кулачковым двухкоромысловым, одно из коромысел которого выполнено в виде кулачка. Прижим листа осуществляется с помощью пружины, а освобождение листа от прижима – с помощью кулачка, являющегося коромыслом двухкоромыслового механизма, состоящего из трех звеньев. Поворот первого кулачка осуществляется при вращении второго кулачка, который взаимосвязан с коромыслом, через шатун с первым кулачком.

Механизмы, применяемые в горной промышленности

Механизм щековой дробилки, используемый в горной промышленности - это устройство, посредством которого придается качательное и сложное движение одной из щек дробилки.

Привод щеки 2 (рисунок 6), совершаемой качательное движение относительно неподвижной щеки 1, осуществляется от кривошипа 5 через шатун 4 и распорные звенья 3 и 6, позволяющие получать большие распорные усилия, необходимые при дроблении. В этой схеме к шарнирному четырехзвенному механизму (звенья 5,4,6) присоединена структурная группа II класса.

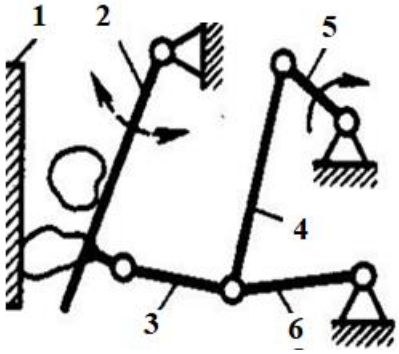


Рисунок 6 – Схема механизма щековой дробилки

Результаты и анализы исследования. В результате проведенного анализа представленных двадцати механизмов нами предложена следующая их классификация (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация вспомогательных механизмов

категории	Типы механизмов	Название механизма
По назначению	зажимные	мех-м зажима листового материала
	поворотные	механизм перегрузочного стола
	подающие	механизм упаковщика
	перегружающие	механизм перегрузчика
	разделяющие	разделитель порций
По структуре	кулачковые	подборщик
	фрикционные	мех-м намотки нитей
	кривошипно-коромысловые	механизм упаковщика
	кулисные	мех-м, подающий лист бумаги
	шестизвенные	механизм ножевых рам
	двухкоромысловые	батанный механизм
По способу приведения в движение	кривошипом	грабельный мех-м
	гидроприводом	мех-м, подающий лист бумаги
	пневмоприводом	мех-м зажима листового материала
	кулачком	листотранспортирующий мех-м
По движению выходного звена	прямолинейное	мех-м подачи прутка
	круговое	мех-м картофелекопалки
	возвратно-поступательное	мех-м ножевых рам
	качательное	мех-м щековой дробилки
	сложное	мех-м упаковщика

Как видно из таблицы, классификация вспомогательных механизмов проведена по четырем основным критериям:

1. По назначению
2. По структуре механизмов
3. По способу приведения механизма в движение
4. По движению выходного звена

Заключение

В результате проведенного анализа механизмов машин различного функционального назначения можно сделать следующие выводы:

1. В большинстве случаев вспомогательные механизмы выступают в роли дополнительных обслуживающих устройств, зачастую на них просто не обращают такого внимания, как на исполнительные механизмы. Поэтому с целью обобщения конструкций вспомогательных механизмов, впервые предложена их новая классификация.

2. Обобщены и систематизированы конструкции вспомогательных механизмов: по виду движения, по назначению, по структуре механизмов, применяемых в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Элементы механизмов [Текст] / [С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин]. – М.: Оборонгиз, 1956. - С. 1075.
2. Алмаматов М.З., Асаналиева Э.У., Мухтарбекова Р.М. Разработка методики расчета
кинематических параметров механизмов с использованием нового свойства механизмов [Текст] / М.З. Алмаматов, Э.У. Асаналиева, Р.М. Мухтарбекова // Известия КГТУ. – Б:2024. - 3(71). – стр. 861-867.
3. Зыкова Е.П. Модернизация вспомогательных механизмов на примере сельскохозяйственных и текстильных машин [Текст] / – Дис. …канд. техн. наук: 05.02.18 / Е.П. Зыкова - Бишкек, 2015. – 134 с.
4. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам [Текст] / А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 1987. - 560 с.
5. Кожевников, С.Н. Теория механизмов и машин [Текст]: учеб. пособие для студ. вуза. - М.: Машиностроение, 1978. - 268 с.

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 338.486.6:004.9

Омурзакова У.М., Конокова А.С.
И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек, Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

U. M. Omurzakova, A.S. Konokova
I. Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
aiperi021023@gmail.com

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ

КУРУЛУШ КОМПАНИЯЛАРЫНЫН ФИНАНСЫЛЫК ТУРУКТУУЛУГУН БААЛОО ЖАНА БАШКАРУУ ҮЧҮН САНАРИПТИК ТЕХНОЛОГИЯЛАР

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR ASSESSING AND MANAGING THE FINANCIAL STABILITY OF CONSTRUCTION COMPANIES

Бул макалада курулуш компанияларынын каржылык туруктуулугун баалоо жана башкаруу үчүн санариптик технологиялардын потенциалы каралат. Бул тема курулуш тармагындагы санариптештирүүнүн төмөн деңгээлин жана каржылык туруксуздуктун жогорку тобокелдиктерин эске алганда актуалдуу: өнүктүрүү долбоорлорунун болжол менен 80%ы бюджеттен ашып түшөт. Негизги санариптик куралдар — BIM моделдөө, ERP системалары, жасалма интеллект технологиялары, чоң маалыматтар, блокчейн жана санариптик эгиздер — курулуш уюмдарынын каржылык көрсөткүчтөрүнө тийгизген таасири жагынан каралат. Каржылык туруктуулукту талдоо үчүн салттуу жана санариптик ыкмаларды салыштырмалуу баалоо жүргүзүлөт. Курулуш компанияларынын каржылык башкаруу системасына санариптик технологияларды интеграциялоо модели сунушталат. Жыйынтыктар санариптик трансформация инвестициялардын кирешелүүлүгүн 25–30% га жогорулатууга жана каржылык тобокелдиктерди азайтууга салым кошоорун тастыктайт.

Ачкыч сөздөр: *каржылык туруктуулук, курулуш компаниялары, санариптик технологиялар, BIM-моделдөө, жасалма интеллект, каржылык башкаруу.*

В статье исследуются возможности применения цифровых технологий для оценки и управления финансовой устойчивостью строительных компаний. Актуальность обусловлена низким уровнем цифровизации строительной отрасли при одновременно высоких рисках финансовой нестабильности: около 80 % девелоперских проектов выходят за рамки бюджета. Рассмотрены ключевые цифровые инструменты — BIM-моделирование,

ERP-системы, технологии искусственного интеллекта, Big Data, блокчейн и цифровые двойники — с позиции их влияния на финансовые показатели строительных организаций. Проведена сравнительная оценка традиционных и цифровых методов анализа финансовой устойчивости. Предложена модель интеграции цифровых технологий в систему финансового менеджмента строительных компаний. Результаты подтверждают, что цифровая трансформация способствует повышению рентабельности инвестиций на 25–30 % и снижению финансовых рисков.

Ключевые слова: *финансовая устойчивость, строительные компании, цифровые технологии, BIM-моделирование, искусственный интеллект, финансовый менеджмент.*

This article explores the potential of digital technologies for assessing and managing the financial sustainability of construction companies. This topic is relevant given the low level of digitalization in the construction industry, coupled with high risks of financial instability: approximately 80% of development projects go over budget. Key digital tools—BIM modeling, ERP systems, artificial intelligence technologies, Big Data, blockchain, and digital twins—are examined in terms of their impact on the financial performance of construction organizations. A comparative assessment of traditional and digital methods for financial sustainability analysis is conducted. A model for integrating digital technologies into the financial management system of construction companies is proposed. The results confirm that digital transformation contributes to a 25–30% increase in return on investment and a reduction in financial risks.

Key words: *financial stability, construction companies, digital technologies, BIM modeling, artificial intelligence, financial management.*

Для цитирования: Омурзакова У.М., Конокова А.С. Цифровые технологии оценки и управления финансовой устойчивостью строительных компаний / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3 (79). – стр. 241 - 253.

Введение

Строительная отрасль занимает одно из ведущих мест в структуре национальной экономики, выступая важным фактором инвестиционной активности и создания рабочих мест. Вместе с тем она характеризуется высоким уровнем финансовых рисков. Длительные производственные циклы, зависимость от внешнего финансирования, волатильность цен на строительные материалы и значительная капиталоёмкость проектов создают предпосылки для снижения финансовой устойчивости строительных компаний.

По данным McKinsey, около 80% девелоперских проектов выходят за рамки установленного бюджета, а каждый пятый проект превышает первоначальную смету более чем в два раза. Согласно прогнозам, к 2027 году глобальный объём инвестиций в цифровую трансформацию достигнет почти 4 трлн долларов США. Однако 70% организаций по-прежнему испытывают трудности с получением реальной отдачи от цифровых инвестиций. Одновременно с этим ожидается, что объём рынка цифровых решений для строительной отрасли в 2025–2028 годах увеличится в четыре раза [1, 2].

В сложившихся условиях традиционные методы оценки и управления финансовой устойчивостью, основанные преимущественно на ретроспективном анализе бухгалтерской и

финансовой отчётности, оказываются недостаточными для своевременного выявления потенциальных угроз и принятия эффективных управленческих решений. [3] Использование цифровых технологий открывает новые возможности для непрерывного мониторинга, прогнозирования и управления финансовым состоянием строительных компаний в режиме реального времени.

Для строительных компаний Кыргызстана и других стран Центральной Азии данная проблематика приобретает особую актуальность. [4] Это обусловлено активной урбанизацией, увеличением объёмов жилищного строительства и необходимостью развития механизмов проектного финансирования. Указанные процессы требуют внедрения более совершенных инструментов финансового контроля, анализа и прогнозирования [5].

Цель исследования.

Целью настоящего исследования является систематизация и оценка цифровых технологий, применяемых для анализа и управления финансовой устойчивостью строительных компаний, а также разработка рекомендаций по их интеграции в систему финансового менеджмента с учётом отраслевой специфики.

Материал и методы исследования

Исследование базируется на анализе научных публикаций отечественных и зарубежных авторов, материалах консалтинговых компаний (McKinsey, Deloitte), отраслевых отчётах Всемирного экономического форума и данных о практике внедрения цифровых решений строительными компаниями.

В работе применялись следующие методы:

– системный анализ — для исследования взаимосвязей между цифровыми технологиями и показателями финансовой устойчивости;

– сравнительный метод — для сопоставления традиционных и цифровых подходов к финансовому анализу;

– контент-анализ — для систематизации научных публикаций и выявления ключевых направлений цифровизации.

Финансовая устойчивость строительной компании определяется её способностью поддерживать нормальную хозяйственную деятельность в условиях внешних и внутренних экономических колебаний, покрывать текущие обязательства, обеспечивать долгосрочные инвестиции и сохранять желаемый уровень рентабельности [6, 7].

Специфика строительной отрасли формирует ряд особенностей, влияющих на финансовую устойчивость [1, 2, 8]:

– длительный производственный цикл (от нескольких месяцев до нескольких лет);
– высокая доля заёмных средств в структуре капитала;
– значительный объём незавершённого производства;
– зависимость от государственных закупок и ипотечного кредитования;
– сезонность строительных работ;
– высокая чувствительность к макроэкономическим факторам (инфляция, ставка ипотечного кредитования, индекс потребительских цен).

Таблица 1. - Система ключевых показателей оценки финансовой устойчивости строительных компаний

Группа показателей	**Показатель**	**Формула расчёта**	**Нормативное значение**	**Отраслевая специфика строительства**
Ликвидность	Коэффициент текущей ликвидности	Оборотные активы / Краткосрочные обязательства	1,2–2,0	Высокая доля дебиторской задолженности и запасов
Ликвидность	Коэффициент быстрой ликвидности	(Оборотные активы – Запасы) / Краткосрочные обязательства	0,7–1,0	Низкие значения из-за большого объёма НЗП
Финансовая независимость	Коэффициент автономии	Собственный капитал / Валюта баланса	≥ 0,5	Часто ниже нормы из-за проектного финансирования
Финансовая независимость	Коэффициент капитализации	Заёмный капитал / Собственный капитал	≤ 1,0	Повышенные значения характерны для отрасли
Рентабельность	Рентабельность активов (ROA)	Чистая прибыль / Средняя стоимость активов × 100 %	> 5 %	Узкие маржи из-за высокой конкуренции
Рентабельность	Рентабельность собственного капитала (ROE)	Чистая прибыль / Средний собственный капитал × 100 %	> 10 %	Зависит от структуры финансирования
Деловая активность	Коэффициент оборачиваемости активов	Выручка / Средняя стоимость активов	> 1,0	Низкая оборачиваемость из-за длительного цикла

Примечание: составлено автором на основе [6, 7, 8]

Исследование М. А. Власенко (2020) на выборке из 50 строительных компаний Сибирского федерального округа показало, что наибольшее влияние на финансовую устойчивость оказывают ставка ипотечного кредитования, индекс потребительских цен и номинальная средняя заработная плата [1].

Цифровые технологии, применяемые для оценки и управления финансовой устойчивостью строительных компаний, можно классифицировать по функциональному назначению и уровню воздействия на финансовые процессы [5, 9, 10].

Таблица 2. - Классификация цифровых технологий по функциональному назначению в управлении финансовой устойчивостью строительных компаний

Функциональная область	**Цифровая технология**	**Описание и механизм воздействия**	**Влияние на финансовую устойчивость**
Планирование и контроль затрат	BIM-моделирование (5D, 6D)	Интеграция 3D-модели с графиком работ (4D) и сметными данными (5D); обеспечивает динамический контроль стоимости	Снижение перерасхода бюджета на 10–20 %; повышение точности сметных расчётов
Управленческий и финансовый учёт	ERP-системы (1C:BIM 6D, SAP, Oracle)	Комплексная автоматизация учёта, бюджетирования, управления денежными потоками	Повышение прозрачности финансовых потоков; сокращение дебиторской задолженности
Прогнозирование рисков	Искусственный интеллект и машинное обучение	Алгоритмы предсказания финансовых затруднений, банкротства, анализ отклонений	Раннее выявление рисков; точность прогнозирования банкротства до 85–92 %
Аналитика и мониторинг	Big Data и бизнес-аналитика	Обработка больших массивов данных: рыночные цены, макропоказатели, данные проектов	Повышение качества управленческих решений; учёт макрофакторов
Финансовый контроль и аудит	Блокчейн и смарт-контракты	Неизменяемый реестр транзакций; автоматическое исполнение контрактных обязательств	Снижение рисков мошенничества; ускорение расчётов с контрагентами
Мониторинг	Цифровые	Динамическая модель	Снижение простоев на 15–

Функциональная область	**Цифровая технология**	**Описание и механизм воздействия**	**Влияние на финансовую устойчивость**
строительного процесса	двойники и IoT	объекта в реальном времени с данными датчиков	25 %; предотвращение перерасхода ресурсов
Документооборот	Облачные платформы	Совместная работа, электронный документооборот, цифровые журналы	Сокращение времени на согласование платежей; снижение административных расходов

Примечание: составлено автором на основе [3, 5, 9, 10, 11]

Традиционные методы анализа финансовой устойчивости (коэффициентный анализ, модели Альтмана, Ольсона) базируются на ретроспективных данных бухгалтерской отчётности и обладают рядом ограничений в условиях динамичной отраслевой среды [12, 13,18].

Таблица 3. - Сравнительная характеристика традиционных и цифровых методов оценки финансовой устойчивости

Критерий сравнения	**Традиционные методы**	**Цифровые методы**
Информационная база	Бухгалтерская отчётность (квартальная, годовая)	Данные в режиме реального времени: ERP, BIM, IoT-датчики, рыночные данные
Периодичность анализа	Ежеквартальная, ежегодная	Непрерывный мониторинг
Объём обрабатываемых данных	Ограниченный (финансовые показатели)	Большие данные (финансовые, операционные, рыночные, макроэкономические)
Методы анализа	Коэффициентный анализ, Z-модель Альтмана, логит-модели	Нейронные сети, случайные леса, метод опорных векторов, ансамбли алгоритмов
Точность прогнозирования банкротства	65–80 %	85–92 %
Учёт нефинансовых факторов	Ограниченный	Полный (репутация, рыночная конъюнктура, стадия проекта)
Адаптивность	Низкая (фиксированные модели)	Высокая (самообучающиеся алгоритмы)

Критерий сравнения	**Традиционные методы**	**Цифровые методы**
Стоимость внедрения	Низкая	Высокая на начальном этапе, с последующим снижением
Визуализация результатов	Табличная, графическая (статическая)	Интерактивные дашборды, 3D-визуализация
Горизонт прогнозирования	1–2 года	До 3–5 лет с регулярным обновлением

Примечание: составлено автором на основе [12, 13, 14]

Результаты исследования и их обсуждение

BIM-технологии (Building Information Modeling) представляют собой один из наиболее мощных инструментов цифровизации строительной отрасли. В контексте управления финансовой устойчивостью особое значение имеют уровни 5D (стоимость) и 6D (эксплуатация) BIM-моделирования [9, 10, 15].

Таблица 4. - Уровни BIM-моделирования и их связь с управлением финансовой устойчивостью

Уровень BIM	**Содержание**	**Финансовая функция**	**Экономический эффект**
3D	Трёхмерная модель объекта с информацией о конструкциях и материалах	Точный расчёт объёмов материалов; исключение ошибок проектирования	Снижение затрат на исправление ошибок на 10–15 %
4D	Интеграция с календарным графиком строительства	Контроль сроков; планирование денежных потоков по периодам	Сокращение сроков строительства на 5–10 %
5D	Интеграция стоимостных данных: автоматическая калькуляция, сметные расчёты	Динамический контроль бюджета; мониторинг отклонений от сметы	Снижение перерасхода бюджета на 10–20 %
6D	Управление эксплуатацией, энергоэффективностью, обслуживанием	Оптимизация расходов на эксплуатацию; прогнозирование затрат жизненного цикла	Снижение эксплуатационных расходов на 15–20 %
7D	Устойчивое развитие, экологические параметры	Управление экологическими затратами; ESG-отчётность	Соответствие требованиям зелёного финансирования

Примечание: составлено автором на основе [9, 10, 15, 16]

Исследование влияния BIM на конкурентоспособность крупных строительных компаний (2025) подтверждает, что в управленческом измерении BIM-технологии способствуют совместному проектированию, динамическому контролю затрат и оценке рисков [15].

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) и анализа больших данных (Big Data) открывают принципиально новые возможности для оценки финансовой устойчивости строительных компаний [3, 12, 13, 14].

Основные направления применения включают:

1. Прогнозирование банкротства. Модели на основе нейронных сетей, случайных лесов и метода опорных векторов обеспечивают точность прогнозирования банкротства строительных компаний на уровне 85–92 %, что значительно превышает точность традиционной Z-модели Альтмана (65–75 %) [12, 13].

2. Предиктивная аналитика затрат. Алгоритмы машинного обучения анализируют исторические данные проектов, выявляют закономерности перерасхода и прогнозируют отклонения бюджета на ранних стадиях реализации проекта [3].

3. Анализ макроэкономических факторов. Методы Big Data позволяют учитывать влияние внешних факторов (ставки кредитования, ценовые индексы, курсы валют) на финансовое состояние компании в режиме реального времени [1, 14].

4. Оценка кредитного риска контрагентов. ИИ-системы анализируют финансовую отчётность, деловую репутацию и платёжную дисциплину контрагентов для минимизации дебиторской задолженности [14].

Таблица 5. - Точность различных методов прогнозирования финансовой несостоятельности строительных компаний

Метод прогнозирования	**Тип метода**	**Кол-во вход. параметров**	**Точность (AUC/Gini)**	**Преимущества**	**Ограничения**
Z-модель Альтмана	Дискриминантный анализ	5	0,65–0,75	Простота расчёта; общеизвестность	Не учитывает отраслевую специфику; устаревшая калибровка
Логистическая регрессия (Ольсон)	Параметрическая модель	9	0,75–0,82	Вероятностная интерпретация; устойчивость	Линейные зависимости; ограниченный набор факторов
Случайный лес (Random Forest)	Ансамблевый метод МО	15–30	0,82–0,88	Устойчивость к переобучению; учёт нелинейных зависимостей	Сложность интерпретации; потребность в больших данных

Метод прогнозирования	**Тип метода**	**Кол-во вход. параметров**	**Точность (AUC/Gini)**	**Преимущества**	**Ограничения**
Нейронные сети	Глубокое обучение	20–50	0,85–0,92	Высокая точность; самообучение; учёт сложных зависимостей	Высокая вычислительная нагрузка; «чёрный ящик»
Метод опорных векторов (SVM)	Непараметрический метод МО	10–25	0,80–0,87	Эффективность при малых выборках; работа с нелинейными данными	Чувствительность к масштабу данных; сложность настройки
Ансамбли алгоритмов (Gradient Boosting)	Ансамблевый метод МО	20–40	0,86–0,92	Высокая точность; устойчивость; гибкость	Требует тщательной настройки гиперпараметров

Примечание: составлено автором на основе [12, 13, 14]

На основании проведённого исследования предлагается трёхуровневая модель интеграции цифровых технологий в систему управления финансовой устойчивостью строительной компании.

Таблица 6. - Трёхуровневая модель интеграции цифровых технологий в систему управления финансовой устойчивостью строительной компании

Уровень	**Название**	**Цифровые технологии**	**Функции**	**Ожидаемый экономический эффект**
I	Операционный (сбор и учёт данных)	ERP-системы, облачные платформы, IoT-датчики, электронный документооборот	Автоматизация учёта; сбор первичных данных о затратах, сроках, материалах; формирование управленческой отчётности	Снижение трудоёмкости учёта на 30–40 %; сокращение ошибок на 50 %
II	Аналитический (мониторинг и анализ)	BIM 5D/6D, Big Data аналитика, BI-платформы,	Динамический контроль бюджета; мониторинг KPI	Повышение точности бюджетирования

Уровень	**Название**	**Цифровые технологии**	**Функции**	**Ожидаемый экономический эффект**
		блокчейн	финансовой устойчивости; аудит транзакций	на 15–25 %; рост рентабельности инвестиций на 25–30 %
III	Стратегический (прогнозирование и управление)	ИИ и машинное обучение, цифровые двойники, предиктивная аналитика	Прогнозирование финансовых рисков; моделирование сценариев; оптимизация структуры капитала	Снижение вероятности финансовых затруднений; повышение инвестиционной привлекательности

Примечание: составлено авторами

Данная модель предполагает последовательное внедрение цифровых технологий «снизу вверх»: от автоматизации базовых учётных операций к интеллектуальному прогнозированию и стратегическому управлению. Каждый последующий уровень опирается на данные, генерируемые на предыдущем, что обеспечивает целостность и непрерывность информационного обеспечения управленческих решений.

Выводы

Несмотря на значительный потенциал цифровых технологий, их внедрение в строительной отрасли сопряжено с рядом барьеров [4, 9, 16, 17]:

1. Высокая стоимость первоначальных инвестиций. Внедрение комплексных цифровых решений требует значительных капитальных затрат, что является особенно критичным для малых и средних строительных компаний.

2. Дефицит квалифицированных кадров. Цифровые технологии требуют специальных навыков и компетенций, которыми не обладает большинство сотрудников строительных организаций.

3. Консерватизм отрасли. Строительная индустрия традиционно отличается инерционностью во внедрении инноваций.

4. Проблемы кибербезопасности. С ростом объёма цифровых данных возрастают риски утечки конфиденциальной финансовой информации [4].

5. Проблемы интеграции систем. Совместимость различных цифровых платформ и обеспечение сквозного обмена данными остаются нерешёнными задачами.

К перспективным направлениям дальнейших исследований относятся расширение практики применения учёта затрат материальных потоков (Material Flow Cost Accounting, MFCA) в цифровой среде; внедрение систем ESG-мониторинга, основанных на технологиях искусственного интеллекта; развитие цифровых платформ инклюзивного финансирования (Digital Inclusive Finance) для строительных предприятий; а также интеграция блокчейн-технологий в систему финансовых расчётов по строительным контрактам.

Таким образом, на финансовую устойчивость строительных компаний существенное влияние оказывают отраслевые особенности, в том числе длительные производственные циклы, высокая доля заёмных средств и зависимость от макроэкономической конъюнктуры. Традиционные методы оценки финансового состояния, включая коэффициентный анализ и Z-модель Альтмана, не всегда обеспечивают необходимую оперативность и точность прогнозирования в современных экономических условиях.

Цифровые технологии, такие как BIM-моделирование уровней 5D и 6D, ERP-системы, искусственный интеллект, технологии больших данных, блокчейн и цифровые двойники, формируют комплексную экосистему управления финансовой устойчивостью. Их применение обеспечивает непрерывный мониторинг финансового состояния, динамический контроль затрат и прогнозирование финансовых рисков.

Результаты рассмотренных исследований свидетельствуют о том, что методы машинного обучения, включая нейронные сети и ансамблевые алгоритмы, позволяют прогнозировать вероятность банкротства строительных компаний с точностью 85–92%, превосходя по ряду параметров традиционные статистические модели. Вместе с тем точность прогнозирования зависит от характеристик выборки, качества исходных данных, набора финансовых показателей и используемого алгоритма. В научных исследованиях действительно наблюдается значительный разброс результатов: общая точность моделей может составлять около 82–85%, а отдельные ансамблевые модели при использовании расширенного набора финансовых данных демонстрируют более высокие показатели.

Цифровизация системы финансового контроля может способствовать повышению эффективности инвестиций строительных компаний на 25–30% за счёт оптимизации затрат, сокращения сроков реализации проектов и повышения обоснованности управленческих решений. В частности, цифровые двойники потенциально способны повысить капитальную и операционную эффективность крупных инфраструктурных проектов на 20–30%.

Предлагаемая трёхуровневая модель интеграции цифровых технологий, включающая операционный, аналитический и стратегический уровни, предусматривает последовательное внедрение цифровых инструментов по принципу «снизу вверх». Такой подход способствует формированию единого информационного пространства, необходимого для комплексного управления финансовой устойчивостью строительной компании.

Основными препятствиями на пути цифровизации строительной отрасли остаются высокая стоимость внедрения технологий, дефицит квалифицированных специалистов и организационный консерватизм компаний. Преодоление указанных барьеров требует государственной поддержки цифровой трансформации отрасли, развития профильных образовательных программ, повышения цифровых компетенций специалистов и поэтапного внедрения технологических решений.

Список литературы

1. Власенко, М. А. Assessment of influence of external factors on financial stability of construction companies / М. А. Власенко // Корпоративные финансы. — 2020. — Т. 14, № 3. — С. 51–62. — DOI: 10.17323/j.jcfr.2073-0438.14.3.2020.51-62.

2. Кретова, Н. Н. Specificity assessment and management of financial stability of construction companies / Н. Н. Кретова, Г. П. Хохлова, А. А. Кретова, А. Ю. Хохлова // IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — Vol. 880, № 1. — P. 012096. — DOI: 10.1088/1757-899X/880/1/012096.

3. Искусственный интеллект на стройке: между хайпом и реальной пользой // Digital Developer. — 2025. — URL: https://digitaldeveloper.ru/articles/tsifrovizatsiya/i31pis0hl1-iskusstvennii-intellekt-na-stroike-mezhd

4. 3 key insights on the digital transformation of construction // World Economic Forum. — 2025. — URL: https://www.weforum.org/stories/2025/07/construction-sector-digital-transformation/

5. Овчинникова, И. И. Цифровые решения, способствующие укреплению финансового состояния строительных компаний в условиях цифровизации современной экономики / И. И. Овчинникова // Финансовый менеджмент. — 2025. — URL: https://finance-man.ru/index.php/journal/article/view/1838

6. Нормативы финансовой устойчивости в строительстве // ФИНОКО: Управленческий учёт. — 2025. — URL: https://www.finoko.ru/normativy-finansovoj-ustojchivosti-v-stroitelstve/

7. Анализ финансовой устойчивости строительной организации : учеб.-метод. пособие / БНТУ. — Минск : Изд-во БНТУ, 2016. — 96 с.

8. Рыжакова, Г. М. Analytical and functional evaluation of financial parameters of strategic innovation cycles in construction companies / Г. М. Рыжакова [и др.] // Шляхи підвищення ефективності будівництва. — 2024. — № 53 (3). — С. 171–188. — DOI: 10.32347/2707-501x.2024.53(3).171-188.

9. Ващенко, Т. В. Challenges and opportunities of assessing efficiency of digital technology introduction in construction projects / Т. В. Ващенко // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. — 2025. — № 3. — С. 177–185. — DOI: 10.21686/2413-2829-2025-3-177-185.

10. Li, J. Mechanisms of corporate digital transformation on asymmetric capital structure adjustment — the mediating role of information asymmetry and financial stability / J. Li, Z. Li // Heliyon. — 2025. — Vol. 11, № 2. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2025.e41745.

11. Мурзалиева, Э. И. Кыргыз Республикасында турак жайды камсыздандыруунун учурдагы абалы жана өнүгүү келечеги / Э. И. Мурзалиева, У. М. Омурзакова, Н. К. Айтбаева // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2024. – No. 7. – P. 140-145. – DOI 10.26104/NNTIK.2024.28.23.030. – EDN CBXTTK.

12. Tang, W. Assessment of the impact of the introduction of BIM on the core competitiveness of large building construction companies / W. Tang, Q. Wang // Proceedings of ACE. — 2025. — DOI: 10.54254/2755-2721/2025.mh25391.

13. Fischerkeller, F. Development of a maturity model for the digital transformation of companies in the context of Construction Industry 4.0 / F. Fischerkeller [et al.] // Journal of Information Technology in Construction. — 2024. — Vol. 29. — P. 34. — DOI: 10.36680/j.itcon.2024.034.

14. Jünger, H. C. Implementation of digital technologies in construction companies: Establishing a holistic process which addresses current barriers / H. C. Jünger, P. Schnell, P. Haag // Businesses. — 2022. — Vol. 3, № 1. — P. 1. — DOI: 10.3390/businesses3010001.

15. Huang, H. Enhancing construction enterprise financial performance through digital inclusive finance: An insight into supply chain finance / H. Huang, K. Zhu, W. Yu // Sustainability. — 2023. — Vol. 15, № 13. — P. 10360. — DOI: 10.3390/su151310360.

16. Пщиченко, Д. В. Assessment of the impact of digital monitoring technologies on reducing production risks and increasing financial stability of enterprises / Д. В. Пщиченко // World Journal of Advanced Research and Reviews. — 2025. — Vol. 28, № 2. — DOI: 10.30574/wjarr.2025.28.2.3816.

17. Айтбаева Н К., Болотова М.А., Сасыкулов Б.Б. Мировой опыт управления финансами в строительной сфере / Известия КГТУ им. И. Раззакова2025. – 2(74). - С.547-554 DOI:10.56634/16948335.2025.2.547-553

18. Чонкоева А.А., Асанова Г.Ш. Курулуш уюмдарынын финансылык жана экономикалык коопсуздук системаларын калыптандыруунун методологиялык негиздери Известия КГТУ им. И. Раззакова. –2026. – Том 2. – №1 (77).- – с.386 DOI:10.56634/16948335.2026.1.386-392

УДК 656.2:37

С. Чэнь[2], Болотбеков Ы. Ж.*[1]

И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова Бишкек, Кыргызская Республика

[2]Taishan Polytechnic, Шаньдун, Китай

*yrysbolotbekov99@gmail.com

X. Chen[2], Y. Z. Bolotbekov*[1]

[1]Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
[2]Taishan Polytechnic, Shandong, China

*yrysbolotbekov99@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В СФЕРЕ МНОГОЯЗЫЧНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ЛОГИСТИКИ В КОНТЕКСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ КИТАЙ–КЫРГЫЗСТАН–УЗБЕКИСТАН

КЫТАЙ–КЫРГЫЗСТАН–ӨЗБЕКСТАН ТЕМИР ЖОЛУН ПАЙДАЛАНУУ КОНТЕКСТИНДЕ КӨП ТИЛДҮҮ КОМПЛЕКСТҮҮ ЛОГИСТИКА БОЮНЧА КАДРЛАРДЫ ДАЯРДООНУ ИЗИЛДӨӨ

A STUDY ON THE TRAINING OF MULTILINGUAL COMPOSITE LOGISTICS TALENTS IN THE CONTEXT OF THE OPERATION OF THE CHINA–KYRGYZSTAN–UZBEKISTAN RAILWAY

«Бир алкак — бир жол» демилгесин ырааттуу ишке ашыруунун шарттарында Кытай–Кыргызстан–Өзбекстан темир жолу Борбордук Азиядагы регионалдык логистикалык тутумдун өнүгүшүнө олуттуу таасирин тийгизген негизги трансчекаралык транспорттук коридорлордун бирине айланууда. Тажрыйба көрсөткөндөй, трансчекаралык темир жол ташууларынын иштөө эффективдүүлүгү инфраструктуранын өнүгүү деңгээли жана кыймылдуу курамдын техникалык мүнөздөмөлөрү менен гана эмес, көбүнчө кадрдык камсыздоодон, эң оболу, тилдерди билүү, логистика тармагындагы кесиптик билимдерди жана мамлекеттер аралык координациялык өз ара аракеттенүү жөндөмүн айкалыштырган комплекстүү профилдеги адистердин болушуна көз каранды.Учурда тил жана логистика жаатындагы кадрларды даярдоонун системи бир катар түзүмдүк чектөөлөр менен мүнөздөлөт, анын ичинде тилдик жана кесиптик даярдыктын жетишсиз интеграциясы, билим берүү процессинин трансчекаралык ташуулардын реалдуу шарттары менен байланышынын начардыгы, ошондой эле трансчекаралык өз ара аракеттенүү көндүмдөрүн калыптандырууга жетишсиз көңүл бурулушу кирет. Макалада Кытай–Кыргызстан–Өзбекстан темир жолунун мисалында тилдик компетенттүүлүктүн, логистиканы башкаруу технологияларынын жана трансчекаралык өз ара аракеттенүү механизмдеринин интеграциясына негизделген аналитикалык модель сунушталат. Бул моделдин негизинде трансчекаралык темир жол ташууларынын кадрдык камсыздоого болгон объективдүү талаптары талданат жана комплекстүү профилдеги адистерди даярдоо системин калыптандыруу жолдору негизделет.

Ачкыч сөздөр: *Кытай–Кыргызстан–Өзбекстан темир жолу; трансчекаралык логистика; тил билген кадрларды даярдоо; логистиканы башкаруу; трансчекаралык өз ара аракеттенүү механизмдери.*

В условиях последовательной реализации инициативы «Один пояс — один путь» железная дорога Китай–Кыргызстан–Узбекистан становится одним из ключевых трансграничных транспортных коридоров, оказывающих существенное влияние на развитие региональной логистической системы в Центральной Азии. Практика показывает, что эффективность функционирования трансграничных железнодорожных перевозок определяется не только уровнем развития инфраструктуры и техническими характеристиками подвижного состава, но в значительной степени зависит от кадрового обеспечения, прежде всего от наличия специалистов комплексного профиля, сочетающих владение языками, профессиональные знания в области логистики и способность к межгосударственному координационному взаимодействию.

В настоящее время существующая система подготовки кадров в области русского языка и логистики характеризуется рядом структурных ограничений, включая недостаточную интеграцию языковой и профессиональной подготовки, слабую связь образовательного процесса с реальными условиями трансграничных перевозок, а также недостаточное внимание к формированию навыков трансграничного взаимодействия. В статье на примере железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан предлагается аналитическая модель, основанная на интеграции языковой компетенции, технологий управления логистикой и механизмов трансграничного взаимодействия. На основе данной модели анализируются объективные требования трансграничных железнодорожных перевозок к кадровому обеспечению и обосновываются пути формирования системы подготовки специалистов комплексного профиля.

Ключевые слова: *железная дорога Китай–Кыргызстан–Узбекистан; трансграничная логистика; подготовка кадров со знанием языков; управление логистикой; механизмы трансграничного взаимодействия*

In the context of the strategic implementation of the "Belt and Road" Initiative, the China–Kyrgyzstan–Uzbekistan (CKU) railway is emerging as a critical cross-border multimodal transport corridor, significantly reshaping the regional logistics architecture of Central Asia. Operational data indicates that the throughput and efficiency of cross-border rail freight are not merely functions of hard infrastructure (such as track capacity and rolling stock specifications) but are heavily contingent upon human capital performance. Specifically, there is an urgent demand for interdisciplinary specialists capable of synchronizing multilingual communication with technical logistics operations and complex interstate regulatory coordination.

The current pedagogical framework for logistics and linguistic training faces several structural bottlenecks. These include a decoupling of language acquisition from technical application, a lack of alignment between academic curricula and the operational realities of transshipment and border-crossing procedures, and insufficient focus on the mechanisms of inter-agency synergy. This article presents an analytical model for the CKU railway that integrates linguistic interoperability, advanced supply chain management (SCM) technologies, and cross-border operational protocols. By applying this model, the study identifies the objective labor requirements for international rail corridors and defines the parameters for a robust, integrated vocational training system designed to optimize cross-border logistics flows.

Key words: *China–Kyrgyzstan–Uzbekistan railway; cross-border logistics; vocational language training; supply chain management; cross-border operational interoperability.*

Для цитирования: С. Чэнь, Болотбеков Ы. Ж. Исследование подготовки кадров в сфере многоязычной комплексной логистики в контексте эксплуатации железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан / Известия КГТУ имени И.Раззакова. 2026. – №3(79). – стр. 254 - 263.

Введение

Железная дорога Китай–Кыргызстан–Узбекистан является важным инфраструктурным проектом, реализуемым в рамках инициативы «Пояс и путь», и играет значительную роль в углублении транспортной связности и торгово-экономического сотрудничества между Китаем и государствами Центральной Азии[1].

27 декабря 2024 года состоялась торжественная церемония запуска проекта Железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан в городе Джалал-Абад в Кыргызстане, что ознаменовало практический прогресс в проекте транспортной взаимосвязанности Центральной Азии, который разрабатывался с 1990-х годов. Общая протяжённость железной дороги составляет около 950 километров, из которых около 280 км приходится на китайский участок, около 410 км — на кыргызский, и около 160 км — на узбекский. Открытие данной железной дороги придаст новый импульс экономическому развитию и логистическим перевозкам не только для трёх стран, но и для всего центральноазиатского региона.

Железная дорога Китай–Кыргызстан–Узбекистан в Китае от станции Кашгар — важного узла на Южно-Синьцзянской железной дороге и линии Кашгар — Хотан. Далее она проходит через пограничные переходы Иркештам (по южному варианту) или Торугарт (по северному варианту) на китайско-кыргызской границе, затем через небольшой приграничный город Кара-Суу в Ошской области Кыргызстана и доходит до Андижана — крупного города на востоке Узбекистана.

Основные узловые пункты включают: Урумчи, Иркештам, Бишкек, Ош, Андижан и Ташкент. Эти города являются не только важными транспортными узлами, но и центрами региональной экономики и торговли. Можно прогнозировать, что завершение строительства и открытие движения по Китайско-кыргызско-узбекской железной дороге окажет глубокое влияние на логистическую отрасль вдоль маршрута, принеся с собой как возможности, так и вызовы.

Рисунок 1-Карта маршрута транзитного участка дороги Кашгар-Андижан[2]

Общая протяжённость железных дорог Кыргызстана составляет 424,6 км, протяжённость железных дорог на тысячу квадратных километров — всего 2,1 км, что является самым низким показателем среди всех стран СНГ. Железнодорожная сеть географически разделена на два независимых участка: северный участок протяжённостью 323,4 км и южный участок протяжённостью 101,2 км. Как показано в таблице 1, автомобильный транспорт по-прежнему остаётся основным видом транспорта в стране, железнодорожный транспорт занимает второе место по распространённости.

Таблица 1.– Грузооборот по видам транспорта[3]

Грузооборот по видам транспорта	**Freight turnover by types of transport**					
(млн. тонно-километров)	*(mln. ton-kilometers)*					
Наименование показателей	**Items**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Всего	**Total**	**2,428.7**	**2,620.2**	**2,756.0**	**3,004.3**	**3,180.0**
Железнодорожный	Railroad	937.5	1,003.1	1,013.8	1,085.6	1,075.5
Автомобильный [1]	Motor vehicles [1]	1,275.4	1,348.4	1,451.1	1,422.6	1,531.2
Трубопроводный транспорт	Pipelined transport	208.6	248.2	273.4	265.0	320.7
Водный транспорт	Water transport	-	-	-	-	-
Воздушный транспорт	Air transport	7.2	20.7	17.7	231.1	252.5

В отличие от китайских железнодорожных линий, трансграничные железнодорожные перевозки характеризуются высокой степенью сложности, обусловленной различиями в технических стандартах, организационных моделях перевозочного процесса, а также институциональных механизмах взаимодействия между государствами[4,5].

Практика функционирования трансграничных транспортных коридоров показывает, что наличие современной инфраструктуры и технически оснащённого подвижного состава само по себе не гарантирует высокой эффективности перевозок. Существенную роль играет кадровый фактор — наличие специалистов, способных осуществлять профессиональную деятельность в условиях многоязычной коммуникационной среды, сложных логистических цепочек и межгосударственного взаимодействия. В условиях функционирования русскоязычного коммуникационного пространства, характерного для стран Центральной Азии, данная проблема приобретает особую актуальность.

В этой связи возрастает необходимость научного осмысления вопросов подготовки кадров, способных интегрировать владение русским языком, профессиональные компетенции в сфере логистики и навыки трансграничной координации. Настоящая статья направлена на системный анализ данных проблем и разработку концептуальных подходов к формированию системы подготовки кадров для обеспечения устойчивого функционирования железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования использовались следующие методы:

метод анализа научной литературы, позволивший обобщить результаты исследований 2020–2025 гг. в области трансграничной логистики, подготовки специалистов по русскому языку и профессионального образования в сфере логистики;

сравнительный анализ, применённый для сопоставления подходов к подготовке кадров в различных странах и образовательных системах;

кейс-анализ, в рамках которого железная дорога Китай–Кыргызстан–Узбекистан рассматривалась как типичный пример сложного трансграничного логистического проекта.

В статье предлагается трёхкомпонентная аналитическая модель, включающая языковую компетенцию, технологии управления логистикой и механизмы трансграничного взаимодействия. Языковая компетенция выступает базовым условием профессиональной коммуникации, логистические технологии обеспечивают эффективность перевозочного процесса, а механизмы трансграничного взаимодействия позволяют координировать действия различных субъектов в условиях институциональных различий.

Результаты

Вдоль маршрута железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан существуют существенные различия в ширине колеи, технических параметрах подвижного состава, системах сигнализации и нормативных требованиях к организации движения. Отсутствие единых стандартов приводит к необходимости выполнения операций по перегрузке или смене тележек, что увеличивает продолжительность перевозок и эксплуатационные издержки.

При этом указанные технические различия на практике трансформируются в задачи организационного и управленческого характера, требующие от специалистов глубокого понимания технических регламентов, точной передачи информации и эффективного взаимодействия между участниками перевозочного процесса[6,7].

Практика эксплуатации трансграничных железнодорожных маршрутов показывает наличие разрыва между техническими возможностями инфраструктуры и фактической эффективностью перевозок. Одной из ключевых причин данного явления является несоответствие структуры профессиональных компетенций персонала реальным требованиям трансграничной логистики.

Для глубокого выявления структурных проблем подготовки кадров в сфере многоязычной комплексной логистики в контексте эксплуатации железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан в данном исследовании используется сравнительный анализ. Проводится системное сопоставление образовательных систем подготовки логистических кадров Китая, Кыргызстана и Узбекистана. Результаты сравнительного анализа показывают: Китай обладает достаточно совершенной системой логистического инженерного образования и техническими стандартами, однако уделяет недостаточное внимание русскому языку и языковой культуре стран Центральной Азии. Преподавание русского языка ведётся в основном как общеобразовательная дисциплина, в него не включены профессиональные термины в области железнодорожных перевозок, таможенного оформления, мультимодальных перевозок, что приводит к тому, что выпускники сталкиваются с трудностями в трансграничной коммуникации — «техникой владеют, но выразить мысли не могут». Кыргызстан и Узбекистан обладают естественным преимуществом русскоязычной среды, однако их логистическое профессиональное образование имеет слабую базу, учебные программы устарели, практические ресурсы ограничены, что не позволяет подготовить высококвалифицированных специалистов, владеющих современными логистическими технологиями и навыками трансграничной координации. Кроме того, в трёх странах языковое и профессиональное образование, как правило, существуют раздельно, комплексная система подготовки по модели «русский язык + логистика» или «китайский

язык + логистика» пока не создана. Что касается формирования навыков трансграничной координации, то преподавание таких дисциплин, как международные правила (ШОС, ЕАЭС), межкультурная коммуникация, стратегии межгосударственных переговоров, в каждой из стран находится на начальной стадии.

С одной стороны, специалисты, владеющие иностранными языками, нередко не обладают достаточными знаниями в области логистических процессов и железнодорожных технологий. С другой стороны, технические специалисты зачастую испытывают трудности в профессиональной коммуникации и межкультурном взаимодействии, что снижает общую эффективность координации.

Существующие образовательные программы по иностранным языкам в большинстве случаев ориентированы на формирование общелингвистических навыков и недостаточно учитывают специфику профессиональной деятельности в сфере трансграничной логистики. В результате выпускники нуждаются в дополнительной адаптации при трудоустройстве.

Практическая составляющая подготовки специалистов по логистике и иностранным языкам зачастую носит формальный характер и не отражает реальных условий трансграничных железнодорожных перевозок. Отсутствие устойчивых механизмов взаимодействия с отраслевыми организациями снижает эффективность формирования профессиональных навыков.

В образовательных программах недостаточно представлены дисциплины, направленные на формирование навыков межгосударственной координации, понимания международных правил и межкультурной коммуникации, что ограничивает готовность выпускников к работе в условиях сложных трансграничных проектов[8].

Пути формирования системы подготовки специалистов комплексного профиля. Формирование кадрового потенциала для обеспечения функционирования железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан требует отхода от узкоспециализированных образовательных стандартов. Необходимо внедрение интегрированной образовательной экосистемы, объединяющей многоязычную компетенцию, высокотехнологичную логистическую подготовку и навыки кросс-культурного менеджмента.

Модуль многоязычной профессиональной подготовки В условиях международного проекта язык перестает быть просто средством общения и становится функциональным инструментом технической безопасности[8]. Формирование многоязычной матрицы: Обучение должно базироваться на сочетании нескольких языковых векторов: китайского (как языка страны-технологического лидера), русского (как языка межгосударственного общения в регионе), английского (языка международных правовых актов) и национальных языков (узбекского и кыргызского) для локального взаимодействия. Профессионально-ориентированное обучение: переход от общего изучения языков к узкоспециальной терминологии: технические регламенты железнодорожного транспорта, таможенная документация, стандарты мультимодальных перевозок и контракты ВЭД.

Обучение работе с системами автоматизированного перевода и ИИ-платформами для оперативной обработки технической документации на разных языках в режиме реального времени.

Данный блок направлен на устранение разрыва между инженерными знаниями и управленческими компетенциями. Изучение специфики стыковки «колеи 1435 мм» и «колеи 1520 мм», технологий автоматической смены тележек и современных систем перегрузки

контейнеров [9]. Включение в программу курсов по использованию систем навигации (BeiDou), внедрению электронных накладных (e-CIM/SMGS), управлению «умными» портами и блокчейн-технологий в цепях поставок. Глубокое изучение нормативных актов ШОС, ЕАЭС и международных конвенций, регулирующих транзитный потенциал Центральной Азии.

Модуль трансграничного взаимодействия и «мягких навыков» Этот модуль является критически важным для минимизации операционных рисков на стыке национальных границ. Обучение стратегиям ведения переговоров в многонациональной среде, пониманию делового этикета Китая и стран Центральной Азии, методам разрешения конфликтов в международных проектных командах. Использование кейс-методов и VR-симуляторов для отработки нештатных ситуаций на пограничных переходах (задержки грузов, технические сбои, несоответствие документации). Формирование навыков взаимодействия с государственными органами (таможня, пограничные службы) и международными логистическими операторами.

Модель «Университет – Государство – Бизнес» Программы «целевого обучения» Создание консорциумов между ведущими вузами (Кыргызстана, Китая, Узбекистана) и профильными ведомствами (например, «Кыргыз Темир Жолу», КЖД) для подготовки кадров под конкретные рабочие места. Организация производственных практик на крупнейших логистических узлах (Кашгар, Ош, логистические центры Узбекистана) для погружения студентов в реальную операционную среду. Разработка совместных образовательных программ, признаваемых всеми участниками проекта, что обеспечит мобильность кадров вдоль всего маршрута.

Обзор результатов

Проведённое исследование позволило получить ряд обобщённых результатов, имеющих существенное теоретическое и практическое значение для совершенствования системы подготовки кадров в условиях функционирования железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан.

Во-первых, установлено, что кадровый фактор выступает одним из ключевых ограничителей эффективности трансграничных железнодорожных перевозок наряду с техническими и инфраструктурными условиями. Различия в ширине колеи, технических стандартах, нормативных требованиях и организационных моделях перевозочного процесса трансформируются в комплекс управленческих и координационных задач, решение которых напрямую зависит от уровня профессиональной подготовки персонала.

Во-вторых, выявлено структурное несоответствие между содержанием действующих образовательных программ по русскому языку и логистике и реальными требованиями трансграничной логистической деятельности. Подготовка специалистов в недостаточной степени ориентирована на профессионально-контекстное использование языка, практико-ориентированное обучение и формирование навыков межгосударственного взаимодействия, что снижает готовность выпускников к работе в условиях международных транспортных коридоров [10,11].

В-третьих, результаты исследования подтверждают наличие разрыва между техническими возможностями существующей инфраструктуры и фактическими показателями эффективности перевозок. Одной из основных причин данного разрыва

является фрагментарный характер профессиональных компетенций персонала: владение русским языком нередко не сопровождается достаточными знаниями в области логистики и железнодорожных технологий, тогда как технические специалисты испытывают трудности в профессиональной коммуникации и межкультурном взаимодействии.

В-четвёртых, в рамках исследования обоснована трёхкомпонентная аналитическая модель подготовки специалистов комплексного профиля, включающая языковую компетенцию, профессиональные знания в сфере логистики и механизмы трансграничного взаимодействия. Данная модель позволяет системно описать требования трансграничных железнодорожных проектов к кадровому обеспечению и может служить методологической основой для проектирования образовательных программ нового поколения.

В целом полученные результаты свидетельствуют о целесообразности перехода от узкоспециализированных и разрозненных моделей подготовки кадров к интегрированной системе формирования специалистов комплексного профиля, способной обеспечить устойчивое и эффективное функционирование железной дороги Китай–Киргизия–Узбекистан в долгосрочной перспективе.

Обсуждение

Результаты проведённого исследования позволяют рассмотреть проблему кадрового обеспечения трансграничной железной дороги Китай–Киргизия–Узбекистан в более широком научно-практическом контексте. В отличие от инфраструктурно-технического подхода, доминирующего в ряде прикладных исследований, полученные данные подтверждают определяющую роль человеческого капитала в обеспечении устойчивого функционирования трансграничных логистических систем.

Прежде всего выявленные в ходе исследования различия в технических стандартах, нормативно-правовых требованиях и организационных моделях перевозочного процесса не сводятся исключительно к инженерным или технологическим задачам. На практике они формируют комплекс управленческих и координационных проблем, решение которых напрямую зависит от качества профессиональной коммуникации. В этом контексте владение русским языком выступает не как дополнительная компетенция, а как функциональный инструмент обеспечения согласованности действий участников перевозочного процесса. Однако анализ существующих образовательных программ показывает, что языковая подготовка, как правило, ориентирована на общие коммуникативные навыки и в недостаточной степени учитывает профессиональную специфику трансграничной логистики.

Дальнейшее обсуждение результатов позволяет отметить, что несоответствие между потенциальными возможностями инфраструктуры и фактическими показателями эффективности перевозок во многом обусловлено кадровыми ограничениями. Даже при наличии современных логистических технологий и регламентированных процедур недостаток специалистов, обладающих комплексным пониманием логистических процессов и способных обеспечивать межгосударственную координацию, снижает эффективность функционирования транспортного коридора. Это подтверждает необходимость рассматривать профессиональные логистические знания в тесной взаимосвязи с языковой и коммуникативной подготовкой.

Особого внимания заслуживает проблема формирования навыков трансграничного взаимодействия. Полученные результаты показывают, что в действующих образовательных

программах данным аспектам уделяется недостаточное внимание, что ограничивает готовность выпускников к работе в условиях международных инфраструктурных проектов. В условиях функционирования железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан данные компетенции приобретают ключевое значение, поскольку деятельность специалистов осуществляется в многоуровневом институциональном пространстве, включающем различные национальные нормативные системы и управленческие практики.

Сопоставление результатов исследования с выводами современных научных работ позволяет констатировать, что выявленные проблемы носят системный характер и соответствуют общим тенденциям развития трансграничной логистики. В частности, усиливается значение интегрированных моделей подготовки кадров, ориентированных на формирование специалистов комплексного профиля, способных сочетать языковую компетенцию, профессиональные логистические знания и навыки межкультурной и межгосударственной координации.

Таким образом, обуждение полученных результатов подтверждает целесообразность предложенной в статье аналитической модели подготовки кадров, основанной на интеграции языковой подготовки, логистических технологий и механизмов трансграничного взаимодействия. Данная модель может рассматриваться как методологическая основа для модернизации образовательных программ в высших учебных заведениях Кыргызской Республики и в рамках международных образовательных инициатив, ориентированных на обеспечение устойчивого функционирования трансграничных транспортных коридоров.

Заключение

В статье на примере железной дороги Китай–Кыргызстан–Узбекистан показано, что эффективность трансграничных железнодорожных перевозок в значительной степени определяется качеством кадрового обеспечения. Обоснована необходимость формирования системы подготовки специалистов комплексного профиля, интегрирующей языковую компетенцию, профессиональные логистические знания и навыки трансграничного взаимодействия.

Реализация предложенной модели подготовки кадров позволит повысить эффективность функционирования трансграничных транспортных коридоров и может быть использована при разработке образовательных программ в высших учебных заведениях Кыргызской Республики, а также в рамках международных образовательных и логистических проектов.

Список литературы

1. Research on the Economic Effects of Infrastructure Investment under the ‘Belt and Road’ Framework——Economic mechanism analysis and policy simulation of the China-Kyrgyzstan-Uzbekistan railway, J. Price: Theory & Practice. 11, (162-168)2024.
2. Данияр Каримов. Для железной дороги "Китай-Кыргызстан-Узбекистан" пробьют 48тоннелей. https://rg.ru/2024/07/03/doroga-cherez-tian-shan.html?ysclid=mozp1h7txq409477025&utm_referrer=https://yandex.com/
3. https://stat.gov.kg/ru/opendata/category/229/.
4. Balbaa M E, Dadabaev U, Akhmedova D, Iskandarova M.Fostering economic growth and

global trade through digitalized international transport corridors:Examining the role of the eTIR convention in the proposed China-Kyrgyzstan-Uzbekistan railways for Uzbekistan's development, J. Journal of American Journal of Business and Operations Research. 11(1), (31-42)2024.

5. Verhoef E. External Effects and Social Costs of Road Transport, J. Transportation Externalities. 28(4), (273-287)1994.

6. Begimai A. Challenges Facing the China-Kyrgyzstan-Uzbekistan Railway Project under the Belt and Road Initiative, J. China Business Review.09, (69-71)2019.

7. Pu, S. (2025). Improved Column Generation Algorithm for Passenger Service-Like Railway Container Transportation Optimization. In: Wu, TY., Ni, S., Pan, JS., Chu, SC. (eds) Advances in Smart Vehicular Technology, Transportation, Communication and Applications. VTCA 2024. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 429. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-1750-0_2.

8. Liao Minxia. Research and Practice on the Construction of an Applied Talent Cultivation Quality Evaluation System, J. Vocational Education Forum. 23, (55-59) 2016.

9. Li lin. Coordination and Advancement of Transportation and Logistics Systems: Based on the Silk Road Economic Belt, J. Science and Technology. 10, (242)2016.

10. He Meiping. Central China Normal University; Harbin Institute of Technology Weihai Exploring the Training of "2+2" Foreign Language Composite Talents, J. China Journal of Multimedia＆Network Teaching. 01, (212-215)2024.

11. Sun Zhuomin. Research on the Cultivation of Cross-cultural Interdisciplinary Talents under the "Foreign Language +Major" Teaching Model, J. Journal of Science and Education.23, (82-84)2023.

12. Наумкин Н.И. Особенности подготовки студентов к инновационной инженерной деятельности в национальном исследовательском Мордовском Государственном университете /Н.И. Наумкин, В.Ф. Купряшкин, А.В Безруков / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2024. – №3(71). – стр. 838-845.

13. Омуракунова А.А. Искусственный интеллект в политических коммуникациях: трансформация PR-технологий и вызовы цифровой этики /А.А. Омуракунова, Р.Б. Тентиев,А.У. Касыбеков / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2025. №3(75). – стр.748–761.

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1:621.355

Джуматаев М.С.
УИА Машина таануу, автоматика жана геомеханика институту,
И.Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек, Кыргыз Республикасы
Институт машиноведения, автоматики и геомеханики НАН КР, КГТУ им И.Раззакова,
Бишкек, Кыргызская Республика

M.S. Dzhumataev
Institute of Mechanical Engineering, Automation and Geomechanics NAS KR,
I.Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
Djumataev1@rambler.ru

ПРИОРИТЕТЫ ТЕХНОЛОГИИ НАКОПЛЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В КЫРГЫЗСТАНЕ

ЭНЕРГИЯНЫ ТОПТООНУН ЖАНА САКТООНУН КЫРГЫЗСТАН ҮЧҮН АРТЫКЧЫЛЫКТУУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

PRIORITIES FOR ENERGY STORAGE AND CONSERVATION TECHNOLOGIES IN KYRGYZSTAN

Бул макалада дүйнө жүзүндө колдонулуп жаткан перспективдүү энергияны топтоо жана сактоо технологияларынын Кыргыз Республикасынын улуттук электр системасынын өзгөчө мүнөздөмөлөрүн эске алуу менен жүргүзүлгөн кеңири анализ сунушталат. Эң кеңири тараган энергия топтоо жана сактоо технологиялары каралат: гидро-сактагыч электр станциялары, батареялык сактоо системалары жана водород технологиялары. Салыштырма талдоонун негизинде Кыргызстанда аларды ишке ашыруунун техникалык мүмкүнчүлүгү, экономикалык натыйжалуулугу жана системалуу маанилүүлүгү боюнча артыкчылыгы изилденет. Энергияны топтоо жана сактоо системаларын өнүктүрүүнүн мүмкүн болгон оптималдуу модели сунушталат. Мындай модел энергиянын туруктуулугун камсыз кылууга жана кайра жаралуучу энергия булактарын интеграциялоого багытталган.

Ачкыч сөздөр: *энергияны топтоо,энергияны сактоо, гидротоптогуч электр станциялары (ГТЭС), батареялык энергияны сактоо системалары (BESS), водород, кайра жаралуучу энергия булактары (КЖЭБ).*

В статье представлен комплексный анализ перспективных технологий накопления и хранения энергии уже используемых в мировой практике, с учетом специфики национальной энергосистемы Кыргызской Республики. Рассмотрены наиболее распространенные технологии накопления хранения: гидроаккумулирующие станции, батарейные системы накопления, водородные технологии. На основе сравнительного анализа обоснована

приоритетность их возможного внедрения в условиях Кыргызстана с точки зрения технической реализуемости, экономической эффективности и системной значимости. Предложена возможная оптимальная модель развития систем накопления и хранения энергии, ориентированная на обеспечение энергетической устойчивости и интеграцию возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: *накопление, хранение энергии, Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), батарейные системы накопления энергии (Battery Energy Storage Systems, BESS), водород, возобновляемые источники энергии (ВИЭ).*

This article presents a comprehensive analysis of promising energy storage and conservation technologies already in use worldwide, taking into account the specific characteristics of the Kyrgyz Republic's national power system. The most common energy storage and conservation technologies are examined: pumped-storage power plants, battery storage systems, and hydrogen technologies. Based on a comparative analysis, the priority of their potential implementation in Kyrgyzstan is justified in terms of technical feasibility, economic efficiency, and systemic significance. A possible optimal model for the development of energy storage and conservation systems is proposed, focused on ensuring energy sustainability and the integration of renewable energy sources.

Key words: *energy storage, energy conservation, pumped-storage power plants (PSPPs), battery energy storage systems (BESS), hydrogen, renewable energy sources (RES).*

Для цитирования: Джуматаев М.С. Приоритеты технологии накопления и хранения энергии в Кыргызстане / Известия КГТУ имени И.Раззакова. – 2026. – №3(79). – стр. 264 - 272.

Введение

Климатические изменения, происходящие особенно интенсивно в последние десятилетия, и связанные с ним негативные процессы, оказывают решающие влияние на развитие мировой энергетики, которая характеризуется переходом к низкоуглеродной модели, а также активной интеграцией возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1,2]. В этих условиях ключевую роль начинают играть технологии накопления хранения энергии, обеспечивающие баланс между генерацией и потреблением [3].

Кыргызстан обладает уникальной энергетической структурой, в которой более 90% электроэнергии производится гидроэлектростанциями. Однако такая модель сопровождается выраженной сезонной неравномерностью: избыток электроэнергии в летний период и дефицит — в зимний. Дополнительными проблемами являются рост потребления, изношенность инфраструктуры и зависимость от климатических факторов. Ранее воды хватало, гидроэлектростанции справлялись на возложенными на них требованиями. К тому же, все еще с советского периода, оставались планы строительства новых ГЭС. Но тотальная нехватка энергетических ресурсов меняет все планы по развитию энергетики страны.

В связи с этим мы видим, что в планах правительства нашей страны и наших соседей намечен ввод новых гидроэлектрических, солнечно- и ветроэлектрических мощностей [4]. Идет активная подготовка к строительству Камбаратинской ГЭС-1 мощностью 1800 МВт, недавно запущена первая фаза солнечной электростанции вблизи города Балыкчы, мощностью 1900 МВт, запущен первый ветроагрегат ветровой электростанции. Однако опыт

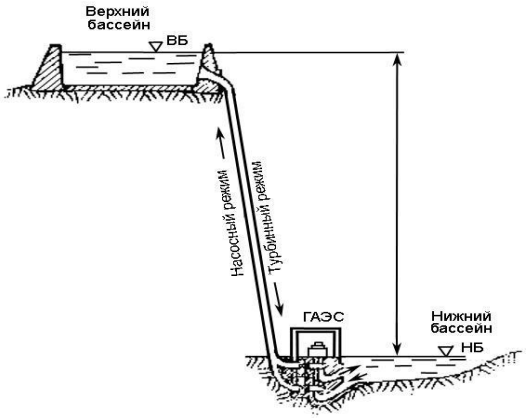
эксплутации возобновляемых источников энергии выявил их основной недостаток - нестабильность вырабатываемой на них электроэнергии. Отсутствие солнечного света и ветра существенно отражается на количестве и качестве вырабатываемой электроэнергии. Вызывает тревогу необходимость значительных затрат на интеграцию строящихся солнечных электростанций в энергосистему страны. Видимо большие затраты стали причиной смягчения первоначальных требований по обеспечению солнечными и ветряными электростанциями до 30 % вырабатываемой ими энергии. Как показывает мировая практика выработка электроэнергии с помощью возобновляемых источников нуждается в накопителях энергии, в которых она хранится от нескольких часов до сутки. В этой связи развитие систем хранения энергии становится стратегически важным направлением для повышения надежности и эффективности энергосистемы страны. Для Кыргызстана выбор технологии хранения энергии — это не просто инженерная задача, а вопрос энергетической безопасности, сезонного баланса воды и интеграции ВИЭ.

Методы

Рассмотрим технологии хранения энергии по критериям энергоемкость и длительность хранения, коэффициент полезного действия, капитальные и эксплуатационные затраты, технологическая зрелость и соответствие природно-географическим условиям Кыргызстана.

Результаты

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) представляют собой наиболее зрелую и масштабируемую технологию хранения энергии. Принцип их работы основан на перекачке воды между верхним и нижним резервуарами с последующей генерацией электроэнергии (рис.1). В качестве наглядного примера можно привести Загорскую ГАЭС, работающую в настоящее время в Московской области России [5]. Ночью она перекачивает воду из нижнего бассейна в верхний (потребляя дешевую энергию), а днем сбрасывает её, вырабатывая энергию в пиковые часы нагрузки. Преимуществом такой технологии накопления энергии является высокая мощность (до нескольких ГВт), относительно длительное хранение, высокий КПД (70–85%) и, что особенно важно для Кыргызстана, горный рельеф и наличие гидроресурсов создают идеальные условия для развития ГАЭС в рамках интеграции с существующими ГЭС Нарынского каскада. Рассмотрим мировой опыт по использованию гидроаккумулирующих электрических станций (ГАЭС).



а б

Рисунок 1 –Схема работы ГАЭС (а); Загорская ГАЭС в России (б).

В настоящее время суммарная установленная мощность ГАЭС в мире превышает 180 ГВт, а количество действующих объектов составляет нескольких сотен. Активное развитие началось в начале XXI века в связи с быстрым ростом энергопотребления и масштабным вводом ветровой и солнечной генерации. При этом лидером по строительству ГАЭС является Китай [1,2,6]. Отметим только одну из них - Fengning Pumped Storage Power Station, крупнейшую в мире ГАЭС мощностью 3600 МВт (рис.2а).

а) б)

Рисунок 2 - Fengning Pumped Storage Power Station (а) и Kannagawa Hydropower Plant (б)

Эта станция играет роль огромного «водяного аккумулятора»: в периоды избытка электроэнергии вода перекачивается в верхний бассейн, а в часы пикового потребления сбрасывается вниз через турбины, вырабатывая электроэнергию. Она интегрирована с крупными ветровыми и солнечными электростанциями северного Китая.

При этом следует отметить особенности, присущие китайскому опыту использования гидравлического накопления энергии, где развитие такого вида накопителей энергии планируется государственными органами и используется обычно совместно с солнечными и ветровыми электростанциями [6]. В ближайшее десятилетие Китай планирует довести установленную мощность ГАЭС до 120 ГВт.

Одной из первых стран, которые начали массовое строительство ГАЭС, была Япония из-за острого дефицита собственных энергоресурсов. Крупнейшая станция Японии - Kannagawa Hydropower Plant мощностью 2820 МВт (Рис.2б) [7]. При этом особенностями ГАЭС Японии являются использование подземных машинных залов и высокая автоматизация управления. Строительство станций сопряжено со сложными геологическими условиями в горных районах, а также требованиями соблюдения экологической безопасности. Опыт Японии особенно интересен для Кыргызстана из-за схожего горного рельефа.

В США ГАЭС начали активно строить в 1960–1980-х годах для покрытия пиковых нагрузок энергосистемы. Наиболее крупными станциями США являются Bath County Pumped Storage Station мощностью 3003 МВт и Ludington Pumped Storage Power Plant мощностью 1872 МВт. При этом станцию Bath County часто называют «энергетической батареей США». Для ГАЭС США присуще использование крупных водохранилищ и применение их для регулирования частоты и резервирования мощности [7].

В Европе наиболее интересен для нас опыт двух стран: Германии и Швейцарии, в которых уделяется важное значение строительству ГАЭС[9,10,11,12]. Как известно, после Фукусимской аварии (Япония) в Германии было принято решение о закрытии атомных электростанций и был дан приоритет возобновлямым источникам энергетики, особенно ветровой энергетике. После роста доли возобновляемой энергетики в Германии значительно

повысилась роль ГАЭС в балансировании энергосистемы [9]. Крупные станции: Goldisthal Pumped Storage Station (1060 МВт) и Markersbach Pumped Storage Power Plant (1050 МВт). При этом основными их функциями являются сглаживание колебаний ветровой генерации, регулирование частоты сети и создание аварийного резерва мощности.

Швейцария считается европейским центром гидроаккумулирования благодаря Альпам и развитой гидроэнергетике. Крупнейшими ГАЭС являются Nant de Drance— 900 МВт и Linth-Limmern Pumped Storage Plant — 1000 МВт. Особенностями гидроаккумулирования являются использование естественных высокогорных озер, а также строительство подземных комплексов [12].

В последнее время появились новые проекты ГАЭС, которые строятся вне русел рек с использованием двух искусственных водоемов. Наиболее активно такая концепция развивается в Австралии и Китае. Такие ГАЭС менее зависимы от речного стока, их можно разместить рядом с солнечными и ветровыми станциями, а также они оказывают меньше воздействие на окружающую среду [13].

Мировой опыт показывает, что ГАЭС остаются наиболее надежной и экономически эффективной технологией крупномасштабного хранения энергии. Развитие возобновляемой энергетики приводит к новому этапу строительства гидроаккумулирующих станций, особенно в Китае, Европе и Северной Америке. Для Кыргызстана, обладающего значительным гидроэнергетическим потенциалом и горным рельефом, создание ГАЭС может стать одним из ключевых направлений повышения надежности энергосистемы и интеграции возобновляемых источников энергии.

Батарейные системы накопления энергии (Battery Energy Storage Systems, BESS) представляют собой совокупность аккумуляторных модулей, силовой электроники и систем управления, обеспечивающих двунаправленный обмен электроэнергией с сетью. В отличие от традиционных генерирующих мощностей, BESS не производят энергию, а выполняют функцию ее временного перераспределения. Функционирование BESS основано на принципе преобразования электрической энергии в химическую с последующим обратным преобразованием. Известен ряд батарейных технологий хранения энергии, но наиболее распространённой являются литий-ионные аккумуляторы, характеризующиеся высокой удельной энергоёмкостью и быстрым откликом [14,15].

Одной из ключевых функций BESS является повышение управляемости генерации на основе ВИЭ. Использование накопителей позволяет минимизировать отклонения мощности, тем самым снижаются колебания мощности, повышается качества электроэнергии и уменьшается потребность в резервных мощностях. Энергосистема Кыргызстана, как было отмечено выше, характеризуется высокой долей гидроэнергетики, что определяет выраженную сезонность генерации. В летний период наблюдается избыток электроэнергии, тогда как зимой — дефицит. В этих условиях BESS могут выполнять следующие функции: краткосрочное балансирование нагрузки, повышение надежности энергоснабжения, поддержка распределённой генерации, интеграция солнечной и ветровой энергетики. В Бишкеке уже реализован пилотный проект с солнечной генерацией и аккумуляторами емкостью около 200 кВт·ч [16] .

Однако, несмотря на значительный потенциал, внедрение BESS в Кыргызстане сталкивается с рядом ограничений. Это все еще остающаяся высокая капиталоёмкость проектов и зависимость от импорта технологий. Следует отметить, что недостаточно

интенсивно развивается рынок вспомогательных услуг. Хотя в центральной части страны и в крупных городах появились сети заправочных станций, их все же недостаточно. Тем более время электрозарядки в настоящее время остается значительным. Видимо, ожидаемая в скором времени деградация аккумуляторов и необходимость их утилизации, поставит новые проблемы, поэтому эти вопросы должны стоять на повестке дня уже сегодня.

Водородные технологии (Power-to-Hydrogen) рассматриваются как средства долгосрочного и сезонного хранения энергии. При этом существует возможность хранения энергии в течение месяцев, и ее можно использовать в различных отраслях: в энергетике, транспорте и промышленности. При организации крупномасшабного производства возможен экспорт в другие страны.

Технологии получения водорода известны давно и в основном делятся на три основные группы: переработка ископаемого топлива, электролиз воды и пиролиз [17].

1. Переработка ископаемого топлива - самые дешевые и масштабные промышленные технологии. В зависимости от способа улавливания углерода получаемый водород часто классифицируют по цветам. Основной метод в мире - это паровая конверсия метана (SMR). Природный газ (метан) нагревают водяным паром при температуре около 800^0C - 1000^0C в присутствии катализатора. В результате образуется водород и углекислый газ. Такой водород называют «серым». Если при конверсии метана улавливать образующийся CO_2, технология становится углеродно-нейтральной, а получаемый газ называют «голубым» водородом. И наконец, «черный» или «коричневый» водород, получаемый при газификации угля. Уголь нагревают до высоких температур с паром и кислородом. Углерод вступает в реакцию с водой, образуя водород и монооксид углерода.

2. В последнее время стремительно увеличивается доля водорода, получаемого методом электролиза, основанного на прохождении постоянного электрического тока через электролит или воду, в результате чего они расщепляется на кислород и водород. Классический щелочной электролиз - доступная, хорошо изученная технология; используется жидкий щелочной электролит. Более современный метод - электролиз с протонообменной мембраной (PEM). В качестве электролита выступает твердая полимерная мембрана. Технология позволяет быстро менять объемы производства, что делает PEM-электролизеры идеальными для работы в паре с нестабильными источниками энергии (ветряными и солнечными электростанциями).

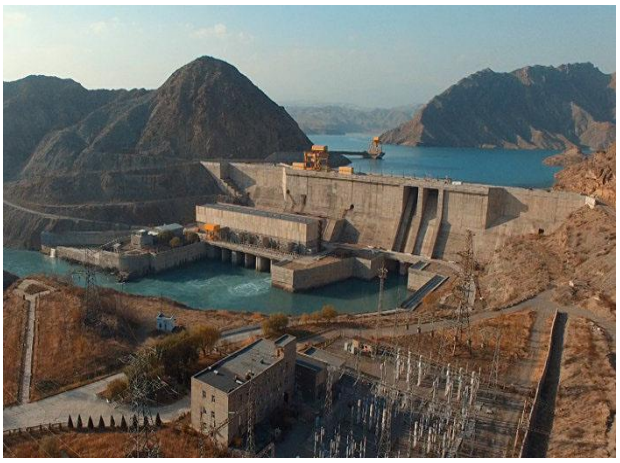
3. Будущее водородной энергетики часто связывают новыми методами пиролиза, одним из которых является термическое разложение метана при температурах свыше (1000^0C) без доступа кислорода. При этом на выходе получается чистый газообразный водород и твердый углерод (сажа/углеродные нанотрубки), который не выбрасывается в атмосферу, а может использоваться в промышленности. Также проводятся исследования по использование высокотемпературных ядерных реакторов (от (800^0C и выше) для запуска сложных химических реакций разложения воды без электричества.

Хотя использование водорода для энергетических целей пока не получило шировокого внедрения из-за низкого к.п.д., высокой стоимости инфраструктуры и сложной технологии, в передовых странах развитию этой технологии уделяется огромное внимание. При нынешних темпах развития материаловедческой науки вышеотмеченные недостатки могут быть достаточно скоро преодолены. Поэтому Кыргызстану необходимо начать уделять

внимание научным поискам по созданию производства водорода в промышленных масштабах.

Как известно, для производства водорода из воды путем электролиза необходима большое количество электроэнергии и определенная инфраструктура для его накопления и транспортировка к потребителям. Дело в том, что электроэнергетика Кыргызстана начала стремительно развиваться, строятся новые гидроэлектростанции, новые солнечные и ветровые электростанции и в скором времени может оказаться, что будут избыточные ресурсы электроэнергии. Причем и в настоящее время, в весенне-летнее время, из-за необходимости пропуска воды из водохранилищ гидроэлектростанций, мы вынуждены вырабатывать электроэнергию которую некуда девать. Эту энергию можно было-бы использовать в целях производства водорода путем электролиза. Если вступять в строй новые ГЭС, СЭС и ВЭС, то избыточной энергии будет еще больше. Мы уже предлагали на базе заброшенного бывшего завода “Кристалл” рядом с городом Таш-Кумыр (рис.3), начать создавать базу для производства водорода. Относительно чистая вода в протекающей рядом реке Нарын, специально построенная для этого завода “Кристалл” Таш-Кумырская ГЭС мощностью 450 МВт, которая может обеспечить необходимую для производства электроэнергию, являются необходимыми условиями производства. Имеется некоторая инфраструктура завода, часть которой можно использовать при производстве и хранении произведенного водорода. А современная технология электролиза и оборудование имеются в Китайской

а)



б)

Рисунок 3 – К производству водорода в Кыргызстане, завод Кристалл (а), река Нарын и Таш-Кумырская ГЭС (б)

Народной Республике. Нам представляется, что соответствующим структурам Правительства и Министерства энергетики необходимо начать научно-изыскательские работы по изучению вопроса возможного производства водорода на базе бывшего завода по проиводству поликристаллического кремния и полупроводниковых материалов. Это направление для страны может стать стратегическим для долгосрочного развития.

Таким образом, рассмотрев наиболее соответствующие условиям Кыргызстана технологии хранения энергии по отмеченным в начале анализа критериям, можно их свести в следующую таблицу 1.

Таблица 1- Сравнительный анализ технологий накопления и хранения энергии

Технология	Длительность	К.п.д.	Масштаб	Приоритет
ГАЭС	Часы-недели	высокий	Очень большой	высокий
BESS	часы	высокий	средний	высокий
Водород	месяцы	низкий	Очень большой	Средний (долгосрочный)

На основе проведенного анализа предлагается многоуровневая модель хранения энергии:

1 уровень (базовый): ГАЭС + существующие ГЭС → покрытие суточных и недельных колебаний.

2 уровень (оперативный): BESS → балансировка сети и интеграция ВИЭ.

3 уровень (стратегический): Водородные технологии → сезонное хранение и экспорт.

Выбор приоритетных технологий накопления и хранения энергии в Кыргызстане определяется сочетанием природных, экономических и технологических факторов. ГАЭС обладают наибольшим потенциалом благодаря географическим условиям. BESS обеспечивают гибкость системы, а водородные технологии, несмотря на их перспективность, требуют значительных инвестиций и времени для реализации.

Обсуждение

Для Кыргызстана наиболее полезен опыт Японии, Швейцарии и Китая, поскольку эти страны успешно реализуют проекты в горных районах. Исходя из проведенного анализа технологий накопления и хранения энергии, применение которых возможно в условиях Кыргызстана, можно отметить, что ГАЭС являются наиболее экономичным решением для длительного хранения больших объемов энергии. Строительство целесообразно вблизи существующих ГЭС и водохранилищ. Если есть возможность, нужно строить закрытые ГАЭС с двумя водоемами. ГАЭС могут использоваться для аккумулирования избыточной энергии будущих солнечных и ветровых электростанций Кыргызстана. Каскад Нарынских ГЭС создает благоприятные условия для формирования гидроаккумулирующих комплексов.

Накопление и хранение энергии является ключевым элементом устойчивого развития энергетики Кыргызстана. Наиболее эффективным является комбинированный подход, включающий развитие ГАЭС как базовой технологии и внедрение BESS для повышения гибкости энергосистемы. В долгосрочной перспективе необходимо постепенное развитие водородных технологий.

В заключении, приоритетные технологии накопления и хранения энергии в Кыргызстане должны формироваться с учетом системной интеграции технологий, что позволит обеспечить надежность энергоснабжения, повысить энергоэффективность и создать основу для перехода к низкоуглеродной энергетике.

Список литературы

1. Pang, M., Du, Y., Pei, W., Zhang, P., Yang, J., & Zhang, L. 2025г. Pumped Hydro Energy Storage Plants in China: Increasing Demand and Multidimensional Impacts Identification. Energies**,** 18(7), Article 1801. https://doi.org/10.3390/en18071801

2. 下面是基于MDPI期刊文章《A Review of the Development of the Energy Storage Industry in China: Challenges and Opportunities》Обзор развития отрасли систем накопления энергии в Китае: проблемы и возможности. （发表于*Energies*, 2025, 18(6), 1512,

3. Papadakis C. N., Fafalakis M., Katsaprakakis D**.**Pumped Hydro Energy Storage System: A Technological Review. Журнал**:***Energies* (MDPI), 2023

4. Национальная Программа Развития Кыргызской Республики 2030. Указ Президента Кыргызской Республики от 5 июня 2025 года № 178.

5. Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. — М.: ЭНАС, 2008. 352 с.

6. Blanco H., Faaij A. A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power-to-Gas and long-term storage. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018

7. Yang J., Zhang L., et al. Pumped Hydro Energy Storage Plants in China: Increasing Demand and Multidimensional Impacts Identification. Energies. 2025.

8. IRENA Оценка готовности к возобновляемой энергетике: Кыргызская Республика, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби. 2022 г.

9. Schill W.-P., Kemfert C. Prospects for Pumped-Hydro Storage in Germany. Energy Policy. 2012. Vol. 45. P. 420–429.

10. Rehman S., Al-Hadhrami L.M., Alam M.M. Pumped Hydro Energy Storage System: A Technological Review**.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 44. P. 586–598.

11. Quaranta E., Boes R., Hunt J.D., Szabó S., Tattini J., Pistocchi A. Considerations on the existing capacity and future potential for energy storage in the European Union's hydropower reservoirs and pumped-storage hydropower. Journal of Energy Storage. 2024. Vol. 104. Article 114431.

12. Bertholet F., Raderbauer B., Wyss A. (2023) Nant de Drance Pumped Storage Power Plant – Energy Storage to Prevent Energy Shortages. Geomechanics and Tunnelling, 16, 138–150.

13. Blakers A., Stocks M., Lu B., Cheng C. A Review of Pumped Hydro Energy Storage**.** Progress in Energy, 3(2), 2021 г.022003.

14. Jiang T. и др. Battery technologies for grid-scale energy storage. Nature Reviews Clean Technology. 2025.

15. Upadhyay A., Tröndle T., Ganter A. и др. The role of energy storage towards net-zero emissions in the European electricity. Energy Conversion and Management. 2025

16. Запущен пилотный проект солнечной генерации с системой накопления энергии», 24.kg, 19 января 2026 г.

17. Z. Zhang, X. Xu, и др. The Survey of Key Technologies in Hydrogen Energy Storage. International Journal of Hydrogen Energy. 2016 Том: 41(33) с. 14535–14552.

18. Казакова Д.В., Зацаринная Ю. Н. Развитие мировой энергетики на основевозобновляемых источников энергии 2024. –№3(71). – стр. 971–979.

И. РАЗЗАКОВ АТЫНДАГЫ КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК УНИВЕРСИТЕТИНИН ЖАРЧЫСЫ

Теориялык жана колдонмо илимий-техникалык журнал
№3 (79) 2026

ИЗВЕСТИЯ КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ И. РАЗЗАКОВА
Теоретический и прикладной научно-технический журнал
№3 (79) 2026

THE BULLETIN OF I. RAZZAKOV KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY
theoretical and applied scientific technical journal
N 3 (79) 2026

Редактор А.Б. Аманкулова
Тех. редактор М.М.Черикбаев

Подписано к печати 08.09.2026 г. Формат 60x84 1/8. Бумага офс. Печать цифр. Объем 34,0.
Электронный формат. Телефон технического редактора 0551-797-914, E-mail: 0551797914@mail.ru