

MINING MACHINES AND TECHNOLOGY

1 ISSN: 2181-3442
[15] 2026
YANVAR-MART



KONCHILIK MASHINALARI VA TEXNOLOGIYALARI

ILMIY-TEXNIK JURNALI

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ**

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

ISSN 2181-3442

**КОНЧИЛИК МАШИНАЛАРИ
ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ**

**Журнал 2022 йилда
ташкил этилган**

**Йилига 4 марта
чоп этилади**

2026, №1 (15) _____

Тошкент – 2026

ЖУРНАЛНИНГ ТАХРИРИЯТ КЕНГАШИ:

акад. С.М.Турабджанов (раис), С.Б. Донаев (раис ўринбосари), Қ.С.Санакулов, Б.Ф. Исламов, А.Х.Хурсанов, акад. Қ.Р.Аллаев, акад. Б.Р.Ракишев (Қозоғистон), М.Г.Рахутин (Россия), акад. Н.Р.Юсупбеков, Ф.Я.Умаров, А.В.Мясков (Россия), Б.Р.Раимжанов, А.С.Хасанов, В.А.Атрушкевич (Россия), Н.Ж.Муродов, Ш.Қ.Нематов, К.А.Каримов, В.В. Мельник (Россия), Е.Е.Шешко (Россия), Ю.А.Боровков (Россия), К.Дребенштедт (Германия), Ф.Тофик (Германия), К.К. Елемесов (Қозоғистон), С.В.Корнилков (Россия), Marcin Lutynski (Польша).

ТАХРИРИЯТ ҲАЙЪАТИ

Бош муҳаррир

Ж.Б.Тошов

Бош муҳаррир ўринбосари

Ш.М.Худойбердиев

С.С.Сайидкосимов

Масъул котиб

Т.Ж.Аннакулов

Кончилик машиналари ва жихозлари:

Н.А.Абдуазизов, Л.Н.Атакулов, И.П.Эгамбердиев, А.М.Махмудов, Б.Р.Тошов, М.А.Махмудов, Б.Н.Баратов

Геотехнология ва металлургия:

У.Ф.Носиров, А.У. Самадов, И.Т. Мислибаев, Ш.Ш.Заиров, Р.Ш.Наимова, Д.Р.Махмудов, Г.С. Нутфуллоев, Б.Т.Бердияров, С.Т.Маткаримов, Очилов Ш.А., В.Р.Кодиров

Геология-қидирув ва нефть-газ машиналари:

Р.У.Джураев, Н.Н.Махмудов, С.Б.Гаибназаров, С.К.Кахаров, Б.Ж.Боймирзаев, Ш.Ш.Аликулов, М.Н.Жураев

Энергия тежамкорлик ва автоматлаштириш:

О.Х.Ишназаров, О.З.Тоиров, М.Қ.Бобожонов, О.О.Зарипов, О.Х. Абдиев, А.И.Каршибоев, Б.Т.Мардонов, О.А.Жумаев, Н.Б.Пирматов, А.Л. Ҳақбердиев

Техник муҳаррир: А.С.Уроков

Журнал муассиси: Ислоҳ Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети. Журнал бир йилда 4 марта ўзбек, рус ва инглиз тилларида нашр этилади.

Журнал Ўзбекистон Республикаси Президенти Администрацияси ҳузурдаги Ахборот ва оммавий коммуникациялар агентлигида 2022 йил 17 мартда рўйхатдан ўтган.

Рўйхатдан ўтганлик тўғрисида гувоҳнома № 1563

Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2023 йил 3 июндаги № 338/5-сон ва 2024 йил 29 февралдаги № 351/4-сон қарорлари билан докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини эълон қилиш учун тавсия этиладиган илмий нашрлар рўйхатига киритилган.

©Материаллар кўчириб босилганда

«Кончилик машиналари ва технологиялари» журналдан олинди деб кўрсатилиши шарт

Журналда босилган материал ва рекламалардаги маълумотларнинг ишончлилигига муаллифлар маъсул. Тахририят фикри ҳар доим ҳам муаллифлар фикрига мос келавермайди. Тахририятга келиб тушган кўлэмалар қайтарилмайди.

Манзилимиз: 100095, Тошкент ш., Олмазор тумани, Университет кўчаси, 2.

тел.: (71)227-19-47, Факс:-----

e-mail: gormash.technology@yahoo.com

“ТДТУ” босмаҳонасида чоп этилди

Босмаҳона манзили: Тошкент ш., Олмазор тумани, Университет кўчаси, 2 уй.

Босишга 2026 йил 16 апрелда рухсат этилди.

“Кончилик машиналари ва технологиялари” № 1 (15) – 2026 й. Қоғоз бичими 60x84,1/8. **Хажми:** 11,75 босма табоқ. **Адади:** 20 нусха.

Главный редактор

Ж.Б.Тошов

Заместитель главного редактора

Ш.М.Худойбердиев

С.С.Сайидкосимов

Ответственный секретарь

Т.Ж.Аннакулов

Горные машины и оборудования:

Н.А.Абдуазизов, Л.Н.Атакулов, И.П.Эгамбердиев, А.М.Махмудов, Б.Р.Тошов, М.А.Махмудов, Б.Н.Баратов

Геотехнология и металлургия:

У.Ф.Носиров, А.У. Самадов, И.Т. Мислибаев, Ш.Ш.Заиров, Р.Ш.Наимова, Д.Р.Махмудов, Г.С. Нутфуллоев, Б.Т.Бердияров, С.Т.Маткаримов, Очилов Ш.А., В.Р.Кодиров

Геолого-разведочные и нефте газовые машины:

Р.У.Джураев, Н.Н.Махмудов, С.Б.Гаибназаров, С.К.Кахаров, Б.Ж.Боймирзаев, Ш.Ш.Аликулов, М.Н.Жураев

Энергосбережения и автоматизация:

О.Х.Ишназаров, О.З.Тоиров, М.Қ.Бобожонов, О.О.Зарипов, О.Х. Абдиев, А.И.Каршибоев, Б.Т.Мардонов, О.А.Жумаев, Н.Б.Пирматов, А.Л. Ҳақбердиев

Технический редактор: А.С.Уроков

Учредитель: Тошкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова. Журнал выходит 4 раза в год на узбекском, русском и английском языках.

Журнал зарегистрирован в агентстве информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан от 17 марта 2022 года.

Регистрационное свидетельство № 1563

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии № 338/5 от 3 июня 2023 г. и № 351/4 от 29 февраля 2024 г. журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных к публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

© При перепечатке материалов ссылка на журнал «Горные машины и технологии» обязательна.

Ответственность за достоверность фактов, изложенных в публикуемых материалах и рекламных, несут их авторы. Мнение редакции не всегда совпадают с мнением авторов. Рукописи авторам не возвращаются.

Наш адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, улица Университетская, 2.

тел.: (71)227-19-47, Факс:-----

e-mail: gormash.technology@yahoo.com

Печать журнала осуществила типография ТГТУ

Адрес типографии: г.Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2

Подписано в печать: 16 апреля 2026 г.

“Горные машины и технологии” № 1 (15) – 2026 г. Размер бумаги: 60x84,1/8. **Объем:** 11,75 п.л. **Тираж:** 20 экз.

© «Кончилик машиналари ва технологиялари»

Журналга исталган алоқа бўлимида обуна агентликлари ёки www.pochta.uz/subscribe/ web – саҳифаси орқали обуна бўлишингиз мумкин.

На журнал можно подписаться в любом почтовом отделении через представительства подписных агентств или оформить подписку онлайн по адресу: www.pochta.uz/subscribe/

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Аннакулов Т.Ж., Хакбердиев А.Л., Азизкулов М.А., Тогаев А.С.

*Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан;
АО „Шаргункумир“, Шаргун, Узбекистан; ЗАлмалыкский государственный технический институт,
Алмалык, Узбекистан;*

Doi: 10.5281/zenodo.20279710

АННОТАЦИЯ Разработка крутонаклонных угольных пластов относится к числу наиболее сложных и наукоёмких задач подземной угледобычи, что обусловлено значительным углом падения пластов, повышенным влиянием силы тяжести на горный массив и оборудование, а также усложнёнными условиями управления кровлей и обеспечения безопасности очистных работ. В статье выполнен комплексный аналитический обзор применения механизированных очистных комплексов при разработке крутонаклонных и крутопадающих угольных пластов. Рассмотрены конструктивные и технологические особенности очистных комбайнов, забойных конвейеров и механизированных крепей, адаптированных к углам падения свыше 35–45°. Особое внимание уделено эксплуатационным проблемам механизированных комплексов, таким как ускоренный износ оборудования, ограничения автоматизации, повышенные капитальные затраты и требования к квалификации персонала. Обобщён международный опыт применения механизированной добычи на крутонаклонных пластах, прежде всего в Китае и России, с анализом достигнутых технико-экономических и производственных эффектов. Определены перспективные направления развития, включающие автоматизацию и дистанционное управление, внедрение цифровых систем мониторинга горного массива, повышение энергоэффективности оборудования и разработку модульных механизированных комплексов, адаптированных к сложным горно-геологическим условиям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА крутонаклонные угольные пласты, механизированные комплексы, длинноствольбовая добыча, очистной забой, безопасность горных работ.

ВВЕДЕНИЕ

Крутонаклонные угольные пласты обычно определяются как пласты с углом падения, как правило, от 35–45° до 60–70° и более по отношению к горизонтальной плоскости и признаются горной отраслью как в нашей стране, так и за рубежом, сложными и трудноизвлекаемыми объектами добычи [1,2]. Для крутонаклонных угольных пластов характерны: повышенное влияние силы тяжести на перемещение угля, пород и очистного оборудования; склонность угля и пород к самопроизвольному скатыванию и обрушению; усложнённые условия управления кровлей и обеспечения устойчивости очистного забоя; необходимость применения специальных технологических схем и адаптированных механизированных комплексов.

Крутонаклонные угольные пласты широко распространены в угольных бассейнах, сформировавшихся в условиях интенсивных тектонических движений, сопровождавшихся складчатостью, разрывными нарушениями и значительными изменениями углов залегания угленосных толщ. Для таких геологических структур характерно развитие пластов с углами падения, превышающими 35–45°, что

существенно усложняет условия их промышленной обработки.

Особое место занимает Китай, где крутонаклонные и крутые угольные пласты получили широкое распространение в северо-западных и юго-западных провинциях страны. Геологическая сложность данных регионов обусловила формирование мощных угольных пластов с большими углами падения, что в свою очередь стало стимулом для активного развития специализированных технологий механизированной добычи [3].

На территории стран Евразии значительные площади с крутонаклонным залеганием угольных пластов приурочены к Донецкому и Карагандинскому угольным бассейнам, а также к отдельным районам Кузнецкого угольного бассейна [4,5].

В Европе крутонаклонные угольные пласты приурочены преимущественно к складчатым зонам Рурского и Верхнесилезского бассейнов, а также к отдельным месторождениям в горных районах Испании и Великобритании. В Северной Америке аналогичные условия характерны для Аппалачского угольного бассейна, где угленосные толщи нередко имеют значительные углы падения

вследствие региональной тектонической деформации.

В странах Центральной Азии крутонаклонные пласты характерны для месторождений, расположенных в зонах горно-складчатых сооружений, включая угольные бассейны Узбекистана и сопредельных регионов. Особенно в Шаргунском месторождении, приуроченном к Гиссарскому горно-складчатому поясу, крутонаклонное и крутопадающее залегание угольных пластов (с углами падения, как правило, 35–70° и более) обусловлено интенсивными тектоническими нарушениями, высокой дислоцированностью угленосной толщи и сложным строением массива, что существенно усложняет условия подземной разработки, повышает требования к выбору систем отработки, средств механизации и мероприятий по обеспечению устойчивости горных выработок и безопасности горных работ [6].

Таким образом, крутонаклонные угольные пласты преимущественно распространены в тектонически активных и складчатых регионах, что предопределяет необходимость применения специализированных технологических схем и механизированных комплексов, адаптированных к сложным условиям подземной разработки. Увеличение угла падения пласта выше 35–45° приводит к сложностям в обеспечении безопасности труда, стабильности кровли и транспортировки угля. Механизированные комплексы (МК) становятся ключевым инструментом повышения эффективности и безопасности разработки таких пластов.

Цель статьи – выполнить аналитический обзор применения МК в условиях крутонаклонного залегания, выявить проблемы эксплуатации, оценить международный опыт и предложить перспективные направления развития.

1. Механизированные комплексы, применяемые на крутонаклонных пластах

1.1. Основные принципы: комбайн для добычи угля на крутонаклонных пластах предназначен для механизированного отбойного и транспортного процесса на пластах с углом наклона, превышающим 45°. Основная задача – обеспечить безопасное и непрерывное сечение угля, предотвращая самопроизвольное обрушение и минимизируя влияние силы тяжести на устойчивость горного массива.

1.2. Конструктивные элементы:

Режущий орган (барабан или фреза): оснащён зубьями, способными отрезать уголь вдоль всего забоя. При крутом наклоне применяется двоярный или наклонный барабан, что обеспечивает эффективный срез угля с минимальной нагрузкой на привод.

Канатная или винтовая подача: срезанный уголь направляется к транспортному механизму через шнек или цепной конвейер. При крутых углах наклона транспортировка осуществляется

против силы тяжести, что требует усиленных цепей и пружинных систем натяжения.

Подкрепляющие и направляющие элементы: комбайн оборудован шахтной рамой, опорными колонками и гидроприводами, которые удерживают устройство на забое, предотвращая скатывание вниз по пласту. Применяются гидравлические телескопические опоры, обеспечивающие адаптацию под кривизну пласта.

Система безопасности и контроля: датчики положения забоя и натяжения конвейера. Ограждения для предотвращения падения горной массы и защиты персонала.

1.3. Механизм работы

Подготовка забоя: гидравлическая рамка комбайна фиксируется на рабочем участке пласта.

Срезание угля: режущий барабан вращается, отрезая угольный пласт. Уголь постепенно подается к транспортной системе.

Транспортировка: цепной конвейер или шнек перемещает уголь к приёмной выработке. На крутонаклонных пластах транспортировка часто сопровождается дополнительными тормозными и натяжными устройствами.

Поддержание устойчивости: гидравлические опоры корректируют положение комбайна при изменении угла пласта, а датчики контролируют зазор между забоем и оборудованием.

Выборка угля и обслуживание: процесс повторяется по мере продвижения комбайна, обеспечивая непрерывную добычу.

1.4. Виды и основные элементы механизированных комплексов

На рисунке 1 представлена типовая схема размещения оборудования в очистном забое при длинностолбовой разработке угольного пласта с применением механизированного очистного комплекса [7]. Вдоль всей линии очистного забоя установлены линейные секции механизированной крепи (2), предназначенные для управления кровлей, обеспечения устойчивости очистного пространства и защиты персонала от обрушений пород. Крепь сопряжения вентиляционного штрека с лавой (1) и секции сопряжения конвейерного штрека с лавой (5) обеспечивают безопасный и технологически устойчивый переход между очистным забоем и подготовительными выработками, а также создают условия для надежной вентиляции и транспортировки угля.

Забойный (лавный) конвейер (3) размещается по всей длине лавы и служит для приёма и транспортировки добытого угля. По конвейеру перемещается очистной комбайн (4), осуществляющий механизированную выемку угля и его погрузку на транспортное средство. Передвижка конвейера по мере продвижения забоя осуществляется с помощью гидродомкратов передвижки (8), которые обеспечивают его синхронное смещение вслед за выемкой угля.

Для повышения устойчивости оборудования и предотвращения его сползания, особенно в

условиях крутонаклонного залегания пласта, применяется лебёдка (6) и гидростойки (7), обеспечивающие дополнительную фиксацию элементов комплекса. Представленная схема обеспечивает согласованную работу всех элементов механизированного комплекса, повышение производительности очистных работ и уровня промышленной безопасности.

Приводная головка конвейера выводится в сторону конвейерного штрека, тогда как его концевая часть ориентирована на вентиляционный штрек. По забойному конвейеру перемещается очистной комбайн, выполняющий процесс выемки угля и его непосредственную погрузку на конвейер.

При управлении кровлей с применением механизированной крепи секции крепи устанавливаются последовательно по всей протяжённости очистного забоя. В современных горно-геологических условиях длина лавы, как правило, достигает 300 м и более. При шаге установки секций крепи, равном 1,5 м, для крепления всего забоя требуется порядка 200 секций механизированной крепи. Все секции соединяются с забойным конвейером посредством гидравлических домкратов передвижки.

По функциональному назначению механизированные крепи подразделяются на линейные секции, применяемые непосредственно в очистном забое, и секции сопряжения, устанавливаемые в зонах примыкания к конвейерному и вентиляционному штрекам.

Современные механизированные крепи отличаются между собой конструктивной схемой, количеством гидростоек в секции, рабочей высотой, величиной рабочего сопротивления, шагом установки и передвижки секций, а также применяемыми системами управления.

Передвижка секций механизированной крепи может осуществляться различными способами: последовательным, шахматным и групповым.

При последовательном способе секции передвигаются поочерёдно вслед за проходом очистного комбайна. Управление передвижкой очередной секции осуществляется с соседней распёртой секции при ручном управлении либо дистанционно - с пульта управления при автоматизированной системе.

Шахматный способ передвижки предусматривает первоначальное последовательное перемещение чётных или нечётных секций крепи, после чего передвигаются оставшиеся секции. Данный способ применяется при устойчивых кровельных породах. Его использование позволяет сократить время на передвижку крепи, что способствует увеличению скорости крепления и, соответственно, повышению производительности работы комбайна. В настоящее время высокие скорости передвижки современных механизированных крепей практически не ограничивают темпы выемки. В связи с этим шахматный способ в

основном применяется в комплексах с «шагающими» крепями 1-го и 2-го типов (КМ-81, КМ-130, КМ-145), а также при струговой выемке с использованием секций 1-4-го типов.

Групповой способ передвижки заключается в одновременном перемещении группы секций в определённой последовательности — последовательной либо шахматной. Такой способ применяется, как правило, при наличии дистанционного группового или полностью автоматизированного управления передвижкой секций.

Ниже приведены некоторые виды механизированных очистных комплексов и их основные технические характеристики, применяемые в шахтах различных стран мира при подземной разработке угольных пластов (рис.2-5). Представленные комплексы включают современные очистные комбайны, забойные конвейеры и механизированные крепи, адаптированные к различной мощности пластов и углам их падения. Особое внимание в данных комплексах уделено обеспечению устойчивости оборудования, управлению кровлей и предотвращению сползания элементов очистного комплекса, что имеет принципиальное значение при отработке наклонных и крутонаклонных пластов. Анализ технических характеристик позволяет оценить уровень механизации, энерговооружённость, степень автоматизации и области рационального применения указанных комплексов в сложных горно-геологических условиях

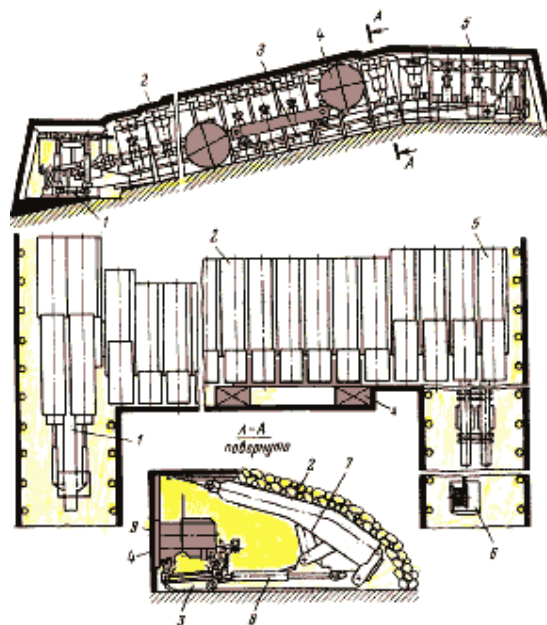
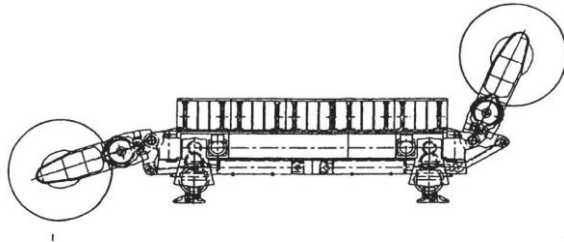


Рис-1. Расположение оборудования в очистном забое [7]:

- 1- крепь сопряжения вентиляционного штрека с лавой» 2- линейные секции мехкрепи; 3-лавный конвейер; 4-очистной комбайн; 5-секции сопряжения конвейерного штрека с лавой; 6- лебедка; 7-гидростойка; 8-гидродомкрат передвижки конвейера.

Очистной комбайн SL500/4. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 2,0...5,5 м [8].

Компоновка комбайна одинаковая с моделью SL500/1 (рис.2). Отличие заключается в том, что на комбайне SL500/4 увеличена установленная мощность электродвигателя привода насосной станции. Напряжение питания электродвигателей привода резания 5000 В. Механизмы подачи



оснащены электродвигателями переменного тока с установленной мощностью 60 кВт. Корпус комбайна состоит из рамы, на которой устанавливаются и закрепляются электроблок, насосная станция с электродвигателем и два механизма подачи с электроприводом.

Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны в раме



Рис-2. Очистной комбайн SL500/4

Техническая характеристика комбайна SL500/4

Исполнительный орган:

пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм....	1800...5500
тип.....	Шнековый
количество,шт.....	2
диаметр по резцам, мм.....	1600...3200
ширина захвата, мм.....	850... 1000
частота вращения, мин ¹	23; 29

Основные размеры комбайна, мм:

длина поворотной рукояти	285
длина по осям крепления поворотных рукоятей.....	7500
длина по осям шнеков.....	12070
Масса комбайна, кг.....	55000...75000

Комбайн оснащается вращающимися погрузочными щитами и дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные лыжи нерегулируемые. На корпусе устанавливается ограждение от падающих кусков. Перемещение комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное, дистанционное или автоматическое, осуществляемое системой MICOS-68. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме совместно с

механизированной крепью и скребковым конвейером.

Изготовитель — фирма Айкхофф, г. Бохум, Германия.

Очистной комбайн ПАНДА-Е. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 40°) пластов мощностью 1,3...6,0 м [9].

Комбайн (рис.3) сконструирован из двух шнековых исполнительных органов, разнесенных по концам корпуса, на регулируемых гидродомкратами поворотных рукоятях. В корпусе размещаются продольно расположенный электродвигатель, два механизма подачи с электроприводом, насосная станция, электроблок и два редуктора резания. Редуктор резания состоит из неподвижного редуктора, размещенного в корпусе комбайна, шарнирно соединенного с поворотным редуктором. Неподвижный редуктор имеет коническую пару. Узлы комбайна соединены болтовыми стыками, а для их усиления предусмотрены стяжки. Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны в раме. Комбайн комплектуется дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные лыжи нерегулируемые. Перемещение комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное

или дистанционное. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме

совместно с механизированной крепью и скребковым конвейером.

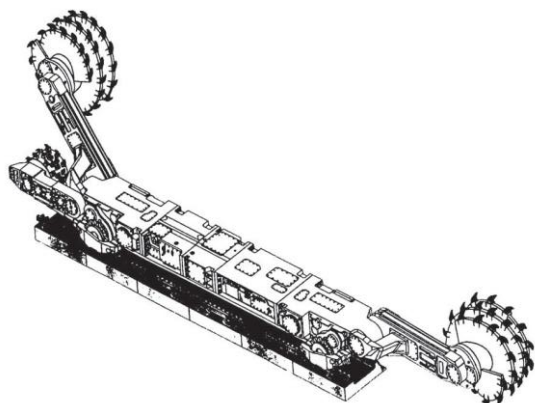


Рис-3. Очистной комбайн ПАНДА-Е

Техническая характеристика комбайна ПАНДА-Е

Исполнительный орган:
 пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм..... 1300...6000
 тип..... Шнековый
 количество, шт..... 2
 диаметр по режцам, мм..... 1200...2500
 Высота корпуса от почвы, мм..... 1100
Изготовитель — фирма Сажем, г. Монлюсон, Франция.

Очистной комбайн КСП. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 2,8...5,0 м.

Комбайн (рис.4) скомпонован из двух шнековых исполнительных органов, разнесенных по концам корпуса на регулируемых гидродомкратами поворотных рукоятях, которые состоят из редуктора и поперечно расположенного электродвигателя.

В корпусе комбайна на раме устанавливаются и закрепляются электроблок, насосная станция с электродвигателем, блок питания и два механизма подачи с электроприводом. Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны над корпусами поворотных рукоятей. Комбайн оснащен дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные катковые опоры регулируемые. На корпусе устанавливается ограждение от падающих кусков. Перемещение

комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное или дистанционное. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме совместно с механизированной крепью и скребковым конвейером.

Очистной комбайн КСП. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 2,8...5,0 м.

Комбайн (рис.4) скомпонован из двух шнековых исполнительных органов, разнесенных по концам корпуса на регулируемых гидродомкратами поворотных рукоятях, которые состоят из редуктора и поперечно расположенного электродвигателя.

В корпусе комбайна на раме устанавливаются и закрепляются электроблок, насосная станция с электродвигателем, блок питания и два механизма подачи с электроприводом. Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны над корпусами поворотных рукоятей. Комбайн оснащен дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные катковые опоры регулируемые. На корпусе устанавливается ограждение от падающих кусков. Перемещение комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное или дистанционное. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме совместно с механизированной крепью и скребковым конвейером.

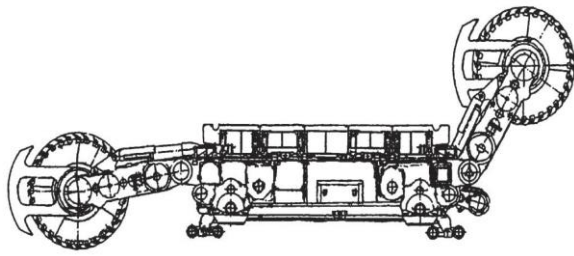


Рис-4. Очистной комбайн КСП

Техническая характеристика комбайна КСП

Исполнительный орган:

пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм..	2800...5100
тип.....	Шнековый
количество, шт.....	2
диаметр по резцам, мм.....	2400
ширина захвата, мм.....	630
тип резцов	1Р0100
скорость резания, м/с.....	3,5
Основные размеры комбайна, мм:	
длина по осям шнеков	11970
ширина.....	1935
высота корпуса от почвы.....	1750; 1950
Масса комбайна, кг	41000

Изготовитель — Северо-Задонский экспериментальный завод, г. Северо-Задонск, Тульская обл., Россия.

Очистной комбайн MG400/985-WD.

Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 1,9...4,72 м [10].

Комбайн (рис. 5) скомпонован из двух шнековых исполнительных органов, разнесенных по концам корпуса на регулируемых гидродомкратах поворотных рукоятях, которые состоят из редуктора и поперечно расположенного электродвигателя. В корпусе комбайна на раме устанавливаются и закрепляются электроблок, насосная станция с электродвигателем и два механизма подачи с электроприводом.

Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные катковые опоры нерегулируемые. Перемещение комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное или дистанционное по радиоканалу. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схемесовместно с механизированной крепью и скребковым конвейером.

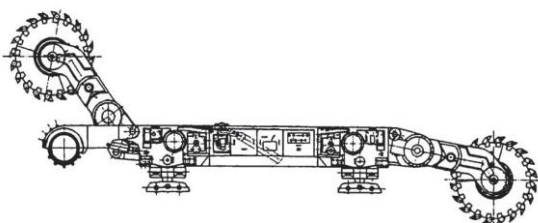


Рис-5. Очистной комбайн MG400/985-WD

**Техническая характеристика комбайна
MG400/985-WD**

Исполнительный орган:

- пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм..... 1600...4000
тип..... Шнековый
количество, шт..... 2
диаметр по резцам, мм1600; 1800; 2000; 2200; 2400
ширина захвата, мм..... 630; 800
частота вращения, мин⁻¹29; 35; 40
Основные размеры комбайна, мм:
длина поворотной рукояти..... 2109; 2508
длина по осям крепления поворотных рукоятей..... 6080
длина по осям шнеков..... 10298; 11088
высота корпуса от почвы1569
Масса комбайна, кг..... 55000; 57000

Изготовитель — JXI завод горно-шахтного оборудования, Китайская Народная Республика.

1.5. Особенности эксплуатации на крутонаклонных пластах
Необходима высокая устойчивость и балансировка комбайна.

Уголь скатывается быстрее из-за наклона, что требует ускоренной подачи и усиленных механизмов конвейера.

Часто используют комбинированные системы с крепями, чтобы стабилизировать пласт и забой.

2. Технологические схемы добычи

Длинностольбовая разработка – основной метод, адаптированный к крутонаклонным пластам.

Комбинированные схемы – частично управляемый выпуск угля с контролем массы.

Поэтапная выемка – деление пласта на подслои для стабильности кровли.

Преимущества и недостатки этих схем приведены в табл.-1.

Сравнение схем добычи

Схема добычи	Преимущества	Недостатки
Длинностольбовая	Высокая производительность, совместима с МКО	Требует усиленной крепи
Поэтапная	Снижает риск обрушения, повышает безопасность	Сложная организация забоя
Комбинированная	Баланс производительности и безопасности	Более дорогая и сложная эксплуатация

3. Проблемы и ограничения применения механизированных комплексов

Несмотря на высокую эффективность, механизированные комплексы при разработке крутонаклонных угольных пластов сталкиваются с рядом ограничений [11-13]:

Ускоренный износ оборудования: высокие нагрузки на режущие органы комбайнов, цепи

конвейеров и элементы крепи; частое техническое обслуживание и замена изношенных деталей.

Сложности автоматизации и дистанционного управления: канатные и цепные удерживающие системы затрудняют полную автоматизацию; высокие требования к безопасности персонала при управлении дистанционно.

Повышенные капитальные и эксплуатационные затраты: усиленная крепь, специальные комбайны и конвейеры увеличивают стоимость комплекса; сложность монтажа и демонтажа оборудования в ограниченном пространстве.

Необходимость высокой квалификации персонала: работа с современными МК требует навыков по управлению, обслуживанию и контролю безопасности; повышение требований к подготовке операторов и инженерного состава.

Основные проблемы применения механизированных очистных комплексов приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Основные проблемы применения МКО

Проблема	Причина	Последствия
Износ оборудования	Высокие нагрузки и абразивность угля	Частые ремонты, снижение производительности
Ограничения автоматизации	Канатные/цепные удерживающие системы	Сложность дистанционного управления
Высокие затраты	Укрепленная крепь, усиленные комбайны	Увеличение себестоимости добычи
Квалификация персонала	Сложные механизмы и системы управления	Требуются подготовка и обучение

4. Международный опыт и некоторые сведения

4.1 Китай

Китай является мировым лидером по применению механизированной добычи крутонаклонных пластов.

Используются длинностольбовые системы с частично дистанционным управлением.

Применяются механизированные крепи с противосползанием, адаптированные к углу 45–60°.

Опыт показывает снижение аварийности на 25–30 % при увеличении производительности на 15–20 %.

Крутонаклонные угольные пласты в Китае отличаются большим числом и широкой пространственной распространенностью, и в настоящее время страна является мировым лидером по объемам их разработки. В начале 1950-х годов был изобретен способ добычи крутонаклонных пластов методом обратных

уступов; в 1960-х годах в угольных районах Хуайнань и Кайлуань появились способы добычи с использованием псевдонаклонных гибких защитных крепей; в 1980-х годах в Сычуани были сформированы такие методы, как псевдонаклонная короткозабойная выемка, псевдолого-наклонная длинноочистная выемка по простиранию с секционированной плотной стоечной крепью, а также псевдонаклонная выемка с применением множества малых коротких забоев.

Одновременно в угольных районах Хуатин и Яоцзе (пров. Ганьсу), Суйчжоу (пров. Цзянсу), Синьцзянского производственно-строительного корпуса, Има (пров. Хэнань) проводились исследования и опытно-промышленные испытания таких технологий, как «высокопроизводительная обычная выемка», «двойная крупная выемка», а также немеханизированная добыча с выпуском кровли. В конце 1980-х годов в районах Хунлин (Шэньян), Айвэйэргоу (Синьцзян), Кайлуань (Таншань), Цзюндэ (Хэган) начали применять технологии комплексно-механизированной добычи на крутонаклонных пластах. Наряду с разработкой собственного оборудования для таких условий, в угольных районах Наньтун и Паньчжихуа (пров. Сычуань) также предпринимались попытки внедрения зарубежной техники и технологий, однако существенных результатов достигнуто не было.

В 1996–1998 гг. на шахте Люйшуйдун (пров. Сычуань) была осуществлена комплексно-механизированная добыча крутонаклонного угольного пласта, разработан комплект соответствующего оборудования, решены ключевые технические проблемы, такие как предотвращение опрокидывания и сползания оборудования, а также защита очистного забоя от «летающих» кусков породы. Была успешно отработана угольная толща мощностью 2,27 м при среднем угле падения 48°. Коэффициент извлечения составил 97,2%, месячная добыча достигла 21 тыс. т, что обеспечило безопасную комплексно-механизированную разработку крутонаклонных угольных пластов на уровне, соответствующем передовым мировым достижениям.

После 2000 г., под влиянием успешной демонстрации комплексно-механизированной добычи средне-мощных крутонаклонных пластов на шахте Люйшуйдун, во многих угольных районах провинций и автономных районов Сычуань, Чунцин, Гуйчжоу, Ганьсу, Синьцзян, Хэбэй, Хэйлунцзян, Пекин, Шаньдун, Аньхой, Внутренняя Монголия, Нинся и др. последовательно проводились технологические

инновации и испытания длинноочистной комплексно-механизированной добычи, добычи с выпуском угля и добычи с большим выемочным мощностным параметром на крутонаклонных угольных пластах в различных горно-геологических условиях.

В различной степени были решены проблемы разработки трудноизвлекаемых угольных пластов на шахтах, что позволило получить значительный технический, экономический и социальный эффект.

4.2 Россия

В России активно развиваются МК для угольных бассейнов Кузбасса и Восточной Сибири.

Широкое использование комбайнов серии КТ и АНТ, модифицированных под крутонаклонные пласты.

Применение автоматизированной системы контроля забоя повышает безопасность и снижает человеческий фактор.

4.3 Другие страны

Южная Африка, Австралия: в крутонаклонных пластах применяются длинностольбовые комбайны с дистанционным управлением и усиленной крепью.

Европа: акцент на энергоэффективность и мониторинг состояния массива с использованием датчиков и IoT-систем.

Сравнительный анализ международного опыта применения механизированных очистных комплексов приведены в табл.-3.

Таблица 3.
Сравнение международного опыта

Страна	Тип МКО	Особенности применения	Эффект
Китай	Длинностольбовые комбайны	Противосползающая крепь, дистанционное управление	Снижение аварийности, повышение производительности
Россия	Комбайны КТ, АНТ	Автоматизированный контроль, усиленная крепь	Повышение безопасности, снижение человеческого фактора
Южная Африка / Австралия	Длинностольбовые, дистанционное управление	Усиленная крепь, мониторинг забоя	Повышение эффективности и добычи
Европа	Длинностольбовые и роботизированные системы	Датчики, IoT-системы	Энергоэффективность, контроль состояния массива

5. Перспективные направления развития
Автоматизация и дистанционное управление: внедрение роботизированных комбайнов и крепей; минимизация участия человека в опасных зонах.

Модульные механизированные комплексы: универсальные модули, адаптируемые под разные углы падения и мощность пласта.

Энергоэффективность и снижение износа оборудования: использование частотно-регулируемых приводов; оптимизация режущих органов и смазочных систем.

Мониторинг и прогнозирование состояния массива: датчики напряжений, IoT-системы, автоматические системы предупреждения аварий.

Повышение безопасности персонала: развитие удаленного управления и автоматизированных систем контроля забоя; обучение персонала на виртуальных симуляторах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ современных технологий разработки крутонаклонных угольных пластов показывает, что механизированные очистные комплексы являются определяющим фактором повышения эффективности, безопасности и устойчивости горных работ в сложных горно-геологических условиях. Наибольшую результативность демонстрируют длинно столбовые системы, оснащённые усиленными противосползающими крепями и средствами дистанционного управления, что позволяет существенно снизить риски для персонала и повысить производительность очистных забоев.

Международный опыт эксплуатации, в частности в угольной промышленности Китая и России, подтверждает целесообразность внедрения автоматизированных систем управления, мониторинга состояния горного массива и интеллектуальных средств диагностики

оборудования. Применение датчиков напряжений, IoT-технологий и систем прогнозирования аварийных ситуаций обеспечивает переход от реактивного к превентивному управлению горными процессами.

В то же время установлено, что дальнейшее развитие механизированных комплексов сдерживается рядом факторов, включая интенсивный износ оборудования, высокую капиталоемкость автоматизированных решений, а также необходимость подготовки высококвалифицированного персонала для их эксплуатации и обслуживания. В этой связи особую актуальность приобретает разработка модульных механизированных комплексов, адаптируемых к различным углам падения и мощности пласта, а также повышение энергоэффективности за счёт применения частотно-регулируемых приводов и оптимизации рабочих органов.

Таким образом, стратегическим направлением развития технологий подземной добычи угля на крутонаклонных пластах является комплексная интеграция автоматизации, цифровых систем мониторинга, энергоэффективных решений и современных подходов к обеспечению безопасности труда. Реализация данных направлений позволит не только повысить технико-экономические показатели добычи, но и обеспечить устойчивое развитие угледобывающих предприятий в условиях возрастающих требований к промышленной безопасности и охране труда.

TIK QIYA KO‘MIR QATLAMLARINI QAZIB OLIISHDA MEXANIZATSIYALASHGAN KOMPLEKSLARNI QO‘LLASH TAHLILI

T.J. Annaqulov, A.L. Haqberdiyev, M.A. Azizqulov, A.S. Tog‘ayev

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O‘zbekiston;

“Sharg‘un ko‘mir” AJ, Sharg‘un, Uzbekistan;

Olmaliq davlat texnika instituti, Olmaliq, O‘zbekiston;

ANNOTATSIYA Tik qiya ko‘mir qatlamlarini qazib olish yer osti usulida qazib olish ishlarining eng murakkab vazifalaridan biri hisoblanadi. Bu, avvalo, qatlamlarning katta qiyalik burchagi, og‘irlik kuchining tog‘ jinslari massivi va kon uskunalariga kuchli ta‘siri, shuningdek, qoplama jinslarni boshqarish va tozalash zaboylarida mehnat xavfsizligini ta‘minlash sharoitlarining murakkabligi bilan izohlanadi. Maqolada tik qiya va keskin qiya yotgan ko‘mir qatlamlarini qazib olishda mexanizatsiyalashtirilgan qazib olish komplekslarini qo‘llash bo‘yicha atroflicha analitik sharh keltirilgan. Qiyalik burchagi 35–45° dan yuqori bo‘lgan qatlamlarga moslashtirilgan qazish kombaynlari, zaboy konveyerlari va mexanizatsiyalashtirilgan mustaxkamlagichlarining konstruktiv va texnologik xususiyatlari ko‘rib chiqilgan. Mexanizatsiyalashtirilgan komplekslarni ekspluatatsiya qilishdagi asosiy muammolar, jumladan, uskunalarining tezkor yeyilishi, avtomatlashtirish imkoniyatlarining cheklanganligi, yuqori kapital va ekspluatatsion xarajatlar hamda xizmat ko‘rsatuvchi personal malakasiga qo‘yiladigan yuqori talablar alohida ta‘kidlangan. Shuningdek, tik qiya ko‘mir qatlamlarida mexanizatsiyalashtirilgan qazib olish bo‘yicha xalqaro tajriba, ayniqsa Xitoy va Rossiya misolida, erishilgan texnik-iqtisodiy va ishlab

chiqarish samaralari tahlil qilingan. Avtomatlashtirish va masofaviy boshqaruvni joriy etish, tog' jinslari massivini raqamli monitoring qilish tizimlarini qo'llash, uskunalarining energiya samaradorligini oshirish hamda murakkab kon-geologik sharoitlarga moslashtirilgan modulli mexanizatsiyalashtirilgan komplekslarni ishlab chiqish kabi istiqbolli rivojlanish yo'nalishlari belgilangan.

**KALIT
SO'ZLAR**

tik qiya ko'mir qatlami, mexanizatsiyalashgan kompleks, uzun ustunli qazib olish, qazib olish zaboyi, kon ishlari xavfsizligi.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF MECHANIZED COMPLEXES IN THE DEVELOPMENT OF STEEPLY INCLINED COAL SEAMS

T.J. Annakulov, A.L. Haqberdiyev, M.A. Azizkulov, A.S. Togayev

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan;

"Shargunkumir" JSC, Shargun, Uzbekistan;

Almalik State Technical Institute, Almalik, Uzbekistan

ABSTRACT

The development of steeply inclined coal seams is among the most complex and knowledge-intensive tasks of underground coal mining, due to the significant dip angles of the seams, the increased influence of gravitational forces on the rock mass and mining equipment, as well as the complicated conditions of roof control and occupational safety in longwall operations. This paper presents a comprehensive analytical review of the application of mechanized longwall complexes in the mining of steeply inclined and steeply dipping coal seams. The design and technological features of shearer loaders, face conveyors, and powered roof supports adapted for seam dip angles exceeding 35–45° are examined. Special attention is paid to operational challenges of mechanized complexes, including accelerated equipment wear, limitations in automation, increased capital expenditures, and higher requirements for personnel qualifications. The international experience in mechanized mining of steeply inclined coal seams is summarized, with particular emphasis on China and Russia, along with an analysis of the achieved technical, economic, and production effects. перспективные направления развития, including automation and remote control, the implementation of digital rock mass monitoring systems, improvements in equipment energy efficiency, and the development of modular mechanized complexes adapted to complex geological and mining conditions.

KEYWORD

steeply inclined coal seams, mechanized complexes, longwall mining, coal face, mining safety.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. T. Zhao; Z. Zhang; Y. Yin; Y. Tan; X. Liu. Ground control in mining steeply dipping coal seams by backfilling with waste rock// J. S. Afr. Inst. Min. Metall. vol.118 n.1 Johannesburg Jan. 2018. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n1a3>
2. WU Yongping, LIU Kongzhi, YUN Dongfeng, et al. Research progress on the safe and efficient mining technology of steeply dipping seam [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39 (8): 1611-1618.
3. Yan, Y.; Zhang, Y.; Zhu, Y.; Cai, J.; Wang, J. Quantitative Study on the Law of Surface Subsidence Zoning in Steeply Inclined Extra-Thick Coal Seam Mining. Sustainability 2022, 14, 6758. <https://doi.org/10.3390/su14116758>
4. Satbergenova, A.; Talgarbayeva, D.; Vilayev, A.; Urazaliyev, A.; Yelisseyeva, A.; Kaldybayev, A.; Gavruk, S. InSAR-Based Assessment of Land Subsidence Induced by Coal Mining in Karaganda, Kazakhstan. Geomatics 2025, 5, 55. <https://doi.org/10.3390/geomatics5040055>
5. Готина А.Э., Лешуков Т.В. Сравнительный анализ тектонического строения Донецкого, Кузнецкого и Верхнесилезского угольных бассейнов. XVI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 010301.1 16-19 апреля 2024 г.
6. Махмудов Д.Р. и др. Обоснование механизации разработки крутопадающих мощных угольных пластов в условиях Шаргуньского месторождения каменного угля // Universum: технические науки 2022. 5(98). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13702>
7. https://ukk42.ru/learning/index.php?article=1915&utm_source=chatgpt.com
8. https://www.eickhoff-bochum.de/sites/default/files/field/upload/sl_500_0.pdf?utm_source=chatgpt.com

9. Морозов В.И., Чуденков В.И., Сурина Н.В. Очистные комбайны: Справочник / Под общей ред. В.И. Морозова. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — 650 с.

10. https://www.sanyglobal.com/ru/product/mining_%26_tunneling/coal_cutter/89/?utm_source=chatgpt.com

11. T. J. Annakulov, S. B. Gaibnazarov, O. A. Kuvandikov, F. O. Otajonov, B. O. Otajonov; Development of a methodology for determining the economic efficiency of cyclic-flow technology schemes for rock mining using mobile crushing and reloading-conveyor complexes. *AIP Conf. Proc.* 16 June 2022; 2432 (1): 030115. <https://doi.org/10.1063/5.0089668>

12. Haqberdiyev A.L., Azizkulov M.A., Ziyotov S.A. Ko'mir konlarida mexanizatsiyalashgan komplekslarni ishlatish imkoniyatlari. *Geologiya fanlari, innovatsion rivojlanish va mutaxassislar tayyorlashning dolzarb muammolari va istiqbollari xalqaro ilmiy-amaliy anjuman 7 may, 2025 yil, Toshkent.* 640-643 bb.

13. Азизкулом М.А., Муродов З.Т., Ҳақбердиев А.Л., Кучаров Ф.Ф. Мураккаб кон-геологик шароитли “Шарғункўмир” конида механизациялашган комплекснинг қўллаш истикболлари/ *Akademik V.R.Raximovning 90 yilligiga bag ishlangan ‘Yer osti boyliklaridan oqilona va bexatar foydalanishda raqamli texnologiyalarni qo‘llashning istiqbollari’ mavzuidagi xalqaro ilmiy-texnik anjumanining maqolalar to plami.* – Toshkent, ToshDTU, 2024 y. 8-9 oktabr. 187-190 b.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Annakulov Tulkin Jovbekovich — *PhD, Associate professor of the department of Mining Electromechanics; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan*
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3708-0848>

Haqberdiyev Alim Latipovich — *PhD, Associate professor of the department of Mining Electromechanics; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan*
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3708-0848>, alim.haqberdiyev2017@yandex.com

Azizkulov Maruf Abdulxofiz o‘g‘li — *Director of JSC “Shargunkumir”, Shargun, Uzbekistan*

Tog‘ayev Ahror Sa’dullo o‘g‘li — *Senior Lecturer, Almalik State Technical Institute, Almalik, Uzbekistan*
ORCID: [0009-0002-8835-418X](https://orcid.org/0009-0002-8835-418X) ahrortogayev@gmail.com

METHODOLOGY FOR DIAGNOSTIC ASSESSMENT OF THE CONDITION AND WEAR OF ENGINE PARTS USING AN INDICATOR OF METAL AND SOLID PARTICLES IN EXHAUST GASES

Makhmudov A., Makhmudov Sh.A., Axmedov S.T., Raximova N.A.

*Navoi State Mining and Technological University
Navoi, Uzbekistan*

Doi: [10.5281/zenodo.20279758](https://doi.org/10.5281/zenodo.20279758)

ABSTRACT

The paper discusses a method for diagnostic assessment of the technical condition and wear of internal combustion engine parts based on analysis of the content of metal particles and solid inclusions in exhaust gases. The study is based on the analysis of the component composition of solid particles identified in the exhaust gases of mining equipment, in particular HITACHI EX1200 hydraulic excavators. It has been established that solid particles in the exhaust gases of modern engines contain wear products from cylinder-piston group parts, elements of neutralization systems, fuel additives, and engine oil components. Neutron tomography methods were used to determine the composition of the mineral fraction of solid particles, which includes calcium (37%), zinc (19%), silicon (15%), phosphorus (8%), and copper (2%). Criteria have been developed for assessing the technical condition of the main engine components based on the presence of specific indicator metals: iron, chromium, aluminum, copper, lead, tin, and other elements. It has been shown that elevated concentrations of metal particles indicate a malfunction of the engine's friction pairs and allow the need for unscheduled maintenance to be predicted. Using the example of the HITACHI EX1200 excavator, the relationship between the intensity of engine part wear and the frequency of unscheduled equipment downtime, reaching 111.17 hours

per month, is demonstrated. The proposed diagnostic method helps prevent premature wear of the cylinder-piston group and reduce the operating costs of repairing mining equipment.

KEYWORDS

Engine diagnostics, exhaust gases, particulate matter, metal inclusions, component wear, cylinder-piston assembly, wear indicators, technical condition, spectral analysis, mining equipment.

INTRODUCTION

The modern development of mining and transport machines is characterized by the constant complication of internal combustion engine designs and stricter requirements for their reliability and durability. In conditions of intensive vehicle operation, the problem of timely detection of malfunctions and assessment of the technical condition of engines without dismantling them becomes particularly relevant. Traditional diagnostic methods based on periodic inspection and measurement of engine performance parameters do not always allow the early stages of component wear to be detected, which can lead to sudden failures and emergencies.

In recent decades, methods of non-destructive testing of the technical condition of engines have undergone significant development, among which diagnostics based on the analysis of wear products in working environments occupies a special place. One of the most promising areas is the control of the content of metal particles and other solid inclusions in engine exhaust gases. This method is based on the fact that the processes of friction and wear of parts of the cylinder-piston group, gas distribution mechanism, and other engine components are accompanied by the formation of metal microparticles and wear products, which are partially carried away with the exhaust gas flow [1-5].

The use of metal and solid particle indicators in exhaust gases opens up new possibilities for early diagnosis of engine malfunctions. This method not only allows you to determine the fact of wear, but also to assess its intensity, locate worn parts by the nature and composition of particles, and predict the remaining service life of the engine. An important advantage of the method is the ability to monitor in real time without stopping the engine and without interfering with its design.

Despite its obvious advantages, the method of diagnostic assessment of engine condition based on metal indicators in exhaust gases has not yet found widespread practical application. This is due to a number of methodological and technical problems, including the need to take into account the influence of engine operating modes on particle concentration, the complexity of interpreting measurement results, and the lack of unified standards and criteria for assessing the condition of parts [6-9].

The purpose of this work is to systematize existing approaches to diagnosing the technical condition of engines by analyzing metal particles and solid inclusions in exhaust gases, to consider the physical basis of the method, to describe modern measuring

equipment and methods for interpreting results, and to determine the prospects for the practical application of this diagnostic method in engine maintenance and repair systems [10-12].

MATERIALS AND METHODS

In the exhaust gases (EG) of modern engines, solid particles (SP) consist of engine wear products and neutralization systems, fuel and engine oil additive ingredients, as well as dust particles entering the cylinder with air. SP are a mixture of soot, unburned hydrocarbons, sulfates, and other inclusions. Studies of TPs using neutron tomography have shown that in most cases, the mineral fraction contains about 37% Ca, 19% Zn, 15% Si, 8% P, and 2% Cu [12,13,22].

The nature of wear on cylinder-piston group (CPG) parts (gearboxes, transmissions, bearings, friction pairs) depends on operating conditions. In most cases, the overhaul intervals for virtually all types of internal combustion engines (ICE) are determined by the intensity of wear on the CPG parts that are subject to the most severe operating conditions (the upper belt of the cylinder liner, piston rings, and ring grooves in the piston head). In general, the intensity of wear on ICE parts is determined by the influence of a large number of various factors: design and manufacturing features, materials and lubrication conditions of friction pairs, fuel and oil type, nature of application and power load values, relative speed and uniformity of movement of mating elements, temperature conditions of friction surfaces, air dustiness, etc. To determine the rate of wear of parts under certain operating conditions, it is necessary to obtain the dependence of the wear index (the mass of material removed from the friction surface, changes in geometric dimensions, mass of parts, etc.) on time [14,15].

An important diagnostic criterion for assessing the technical condition of internal combustion engines can be considered the qualitative and quantitative content of metal particles in the composition of the SP, indicating the malfunction of the engine's friction pairs, which could not be eliminated by using the most modern lubricants. This criterion is proposed to be used when studying the composition of the EG filtrate of mining equipment engines. The detection of excessive concentrations of metals (Fe, Ni, Cu, Al, Cr) in the oil, which are components of the engine and are identified in the form of organometallic chelate compounds with organic additives, may indicate the degree of wear of the engine components. Below are indicators of engine component wear based on metal impurities in the samples (Table 1) [14,17,18].

Additive indicators: calcium, magnesium, zinc, phosphorus, barium, boron.

Contamination indicators: silicon (dust), potassium, sodium, lubricant and coolant impurities (glycol) [14,19,21].

Thus, it can be estimated that the technical condition of mining equipment and vehicles can be diagnosed based on the concentrations of metals (iron, chromium, tin, aluminum, nickel, copper, lead, molybdenum), additives (calcium, magnesium, zinc,

phosphorus, barium, boron) and contaminants (silicon (dust), potassium, sodium, lubricant and coolant impurities (glycol)) in engine oil are consistent with the results of research by the MIC GSM, which proposed diagnosing equipment wear based on metal impurities using the classic method in engine oil samples.

Table 1.
Indicators of engine component wear based on metal impurities in samples

Engine components	Wear indicators	Cause of wear
Bearings	Lead, Tin (Copper / Aluminum)	The surface of the bearings is coated with an alloy containing lead and tin. The presence of these two metals in the sample indicates the onset of bearing wear. If copper or aluminum is found together with lead and tin, this indicates increased bearing wear.
Inserts / Bushings	Lead, Iron	Wear and tear on these parts is usually accompanied by problems such as oil pressure loss, coking, and bearing wear.
Camshaft and valve block	Iron	If the sample contains iron levels exceeding normal wear and tear, this indicates wear on parts in the air supply system (camshaft, tappets, rocker arms, etc.).
Crankshaft	Iron, Lead, Tin, (Copper / Aluminum)	High concentrations of all these metals accompany crankshaft wear.
Cylinders	Iron, Chromium, and/or Aluminum	Chromium enters the oil from the piston rings, aluminum from the pistons, and iron from the cylinders. An accelerated increase in these concentrations indicates abnormal wear, engine overheating, oil contamination, and coking.
Pistons	Aluminum, fuel contamination, or dirt in the oil	Piston wear is caused by abrasive particles in oil contaminants. Another cause is engine overheating. In addition, fuel blow-by washes away the oil film and increases friction and, consequently, piston wear.
Piston rings	Chrome, fuel, or dirt	Ring wear is easily determined by the concentration of chromium and is caused by abrasive wear from dirt particles or fuel dilution of the oil.
Cylinder block / Intake manifold	Antifreeze impurity or Sodium / Potassium	Sodium, potassium, and sometimes silicon are components of antifreeze combustion products. They pass through the combustion chamber into the oil and serve as indicators of leaks in the cooling system.

Table 2.
Hydraulic excavator maintenance data

Field		Excavator	Garage No.	
Central-Northern Amantai Tau Quarry		HITACHI EX-1200	6	
No	Type of downtime	Type of downtime	Description of downtime code	Duration (in hours)
1	Unplanned	Regarding the mechanical part	damage to the hydraulic system	2.75
3	Unplanned	Regarding the mechanical part	filter contamination (filter replacement)	1.00

7	Unplanned	Regarding the mechanical part	engine malfunction	2.00
8	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	12.00
9	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	12.00
10	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	12.00
11	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	12.00
12	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	6.25
13	Unplanned	Regarding the mechanical part	damage to the hydraulic system	2.17
14	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	4.33
15	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	7.50
16	Unplanned	Regarding the mechanical part	malfunction of the hydraulic system cooling system	8.83
17	Unplanned	Regarding the mechanical part	malfunction of the internal combustion engine cooling system	0.67
18	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	0.67
19	Unplanned	Regarding the mechanical part	damage to the hydraulic system	1.67
21	Unplanned	Regarding the mechanical part	damage to the hydraulic system	2.92
22	Unplanned	Regarding the mechanical part	engine malfunction	6.67
23	Unplanned	Regarding the mechanical part	engine malfunction	8.33
25	Scheduled	technical maintenance	scheduled maintenance (TM)	1.00
26	Unplanned	Regarding the mechanical part	filter contamination (filter replacement)	0.92
27	Unplanned	Electrical components	Electrical malfunction Up to 12V (electrical wiring malfunction, battery malfunction, lighting system malfunction, other electrical malfunctions)	2.58
				108,26

The study showed that the technical condition of internal combustion engines can be assessed based on the component composition and concentrations of solid and aerosol particles in exhaust gas condensate. To prevent premature wear of the cylinder head gaskets, it is recommended that engines with elevated concentrations of solid particles in the exhaust gas be sent for unscheduled maintenance.

Elevated concentrations of metal particles indicate a malfunction of the engine's friction pairs, which could not be eliminated by using the most modern lubricants.

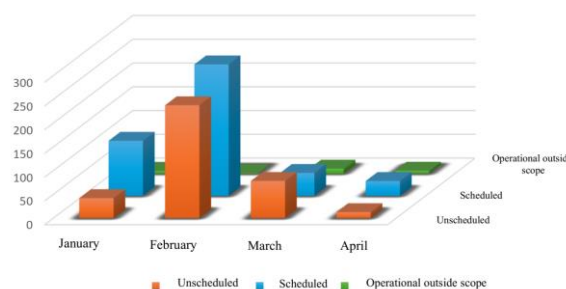
Table 2 below shows the summary data from time studies and analysis of production reports on scheduled and unscheduled maintenance and downtime of the HITACHI EX1200 hydraulic excavator over one month of operation.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Studies conducted using neutron tomography have shown that solid particles in the exhaust gases of modern engines have a complex multicomponent composition. The mineral fraction contains significant

concentrations of calcium (about 37%), zinc (19%), silicon (15%), phosphorus (8%), and copper (2%).

07 EX - 1200



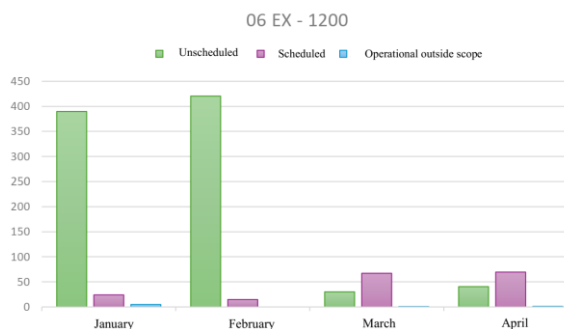


Fig. 1. Dependencies of downtime for the HITACHI EX1200 excavator

This distribution of elements is explained by the complex origin of solid particles: they are formed as products of engine wear, components of fuel and engine oil additives, particles from exhaust gas neutralization systems, as well as abrasive dust particles entering the cylinders with the air.

High calcium and zinc content is associated with the presence of detergent and anti-wear additives in engine oil, phosphorus is a component of anti-wear additives, and silicon indicates air pollution with abrasive dust, which is especially relevant for mining equipment operated in quarries.

Diagnostic criteria for assessing engine component wear

Based on an analysis of literature data and practical research, a system of indicators for wear of the main components of an internal combustion engine has been developed based on the content of specific metals in solid particles of exhaust gases:

Bearings. Lead and tin, which are components of anti-friction alloys in plain bearings, serve as wear indicators. The simultaneous detection of these metals indicates the initial stage of wear. The presence of additional copper or aluminum indicates increased bearing wear and approaching critical condition.

Cylinder-piston group. Key indicators are iron (cylinder wear), chromium (piston ring wear), and aluminum (piston wear). An accelerated increase in the concentrations of these metals indicates abnormal wear, which may be caused by engine overheating, oil contamination with abrasive particles, or coking of parts.

Gas distribution mechanism. Elevated iron content exceeding normal wear levels indicates intensive wear of air supply system components: camshaft, valve tappets, rocker arms, and other elements.

Crankshaft. High concentrations of a complex of metals—iron, lead, tin, copper, and aluminum—are a sign of wear on the crankshaft and its bearings, which poses a critical threat to engine performance.

Cooling system. The detection of sodium and potassium, sometimes in combination with silicon, indicates antifreeze leaks into the combustion chamber through the cooling system.

An important advantage of the proposed method is the ability not only to establish the fact of wear, but also to locate the specific worn component based on the characteristic spectrum of indicator metals.

Correlation of diagnostic results with operational data

Analysis of time-based maintenance data for the HITACHI EX1200 hydraulic excavator over a one-month period of operation at the Central-North Amantaitao quarry revealed a significant number of unscheduled downtimes related to internal combustion engine malfunctions.

The total downtime was 108.26 hours per month, of which:

Internal combustion engine malfunctions — 16.67 hours (3 cases)

Internal combustion engine cooling system malfunctions — 0.67 hours

Filter contamination — 1.92 hours (2 cases)

Hydraulic system damage — 9.5 hours (4 cases)

Hydraulic system cooling system malfunctions — 8.83 hours

Scheduled maintenance required 54.08 hours, which is almost half of the total downtime.

The frequency of unscheduled engine repairs (on average once every 10 days) correlates with the results of diagnostics based on the analysis of solid particles in exhaust gases, where increased concentrations of metals indicating wear of the cylinder-piston group were recorded.

Practical application of diagnostic methods

The study showed that the diagnosis of the technical condition of engines based on the analysis of the component composition and concentrations of solid particles in the condensate of exhaust gases is consistent with the results of the classical method of diagnosing equipment wear based on metal impurities in engine oil samples used by the International Research Center for Fuels and Lubricants.

However, the exhaust gas analysis method has a number of significant advantages:

The ability to perform diagnostics without stopping the engine

No need to take oil samples

Faster detection of wear products that immediately enter the exhaust gases.

Continuous monitoring of technical condition

This method is particularly relevant for mining equipment operated in conditions of high air dust content, as it allows the impact of abrasive wear to be assessed based on the silicon content in solid particles.

Recommendations for preventing premature wear

Based on the studies conducted, it has been established that engines with elevated concentrations of solid particles in exhaust gases should be sent for unscheduled maintenance to prevent catastrophic failures of the cylinder-piston group. The criteria for scheduling unscheduled maintenance are:

Exceeding the base levels of iron, chromium, and aluminum concentrations by more than 50%.

Detection of the simultaneous presence of lead, tin, and copper, indicating bearing wear.

A sharp increase in silicon content, indicating a malfunction of the air filters.

Presence of sodium and potassium, indicating leaks in the cooling system

The introduction of a continuous exhaust gas composition monitoring system will enable a transition from a scheduled preventive maintenance system to condition-based maintenance, which will significantly reduce operating costs and increase equipment availability.

CONCLUSION

The study of methods for diagnostically assessing the condition and wear of engine parts based on metal and solid particle indicators in exhaust gases allows us to draw the following conclusions:

Solid particles in the exhaust gases of modern engines have a multicomponent composition, including engine part wear products, fuel and oil additive components, neutralization system elements, and abrasive particles from the external environment. Neutron tomography allows reliable determination of the elemental composition of the mineral fraction, with a predominance of calcium (37%), zinc (19%), silicon (15%), phosphorus (8%), and copper (2%).

A system of metal indicators has been developed to diagnose wear in the main engine components: iron, chromium, and aluminum for the cylinder-piston group; lead, tin, copper, and aluminum for bearings; iron for the gas distribution mechanism; sodium and potassium for the cooling system. This system not only allows the detection of wear, but also the localization of the damaged component.

The diagnostic method based on exhaust gas analysis is consistent with the classic method of engine oil analysis, but has a number of advantages: it does not require the engine to be stopped, provides a faster response to the appearance of wear products, and

allows for continuous monitoring of technical condition.

Practical application of the method using the HITACHI EX1200 hydraulic excavator as an example showed a high correlation between elevated concentrations of indicator metals in exhaust gases and the frequency of unscheduled engine repairs. During one month of operation, 108.26 hours of downtime were recorded, a significant part of which was due to engine and cooling system malfunctions.

To prevent premature wear of the cylinder-piston group, it is recommended to implement a system for continuous monitoring of the composition of solid particles in exhaust gases, with the equipment being sent for unscheduled maintenance when critical concentrations of indicator metals are exceeded.

The method is particularly relevant for mining equipment operated in dusty conditions, where abrasive wear of cylinder-piston group components is the main factor determining the time between repairs.

The introduction of the proposed diagnostic method will allow a transition from a scheduled preventive maintenance system to maintenance based on actual technical condition, which will reduce operating costs, increase equipment availability, and prevent catastrophic engine failures. Further development of the methodology is linked to the development of automated systems for sampling and analyzing the composition of exhaust gases in real time, as well as the establishment of quantitative standards for maximum permissible concentrations of indicator metals for different types of engines and operating conditions.

ДВИГАТЕЛ ҚИСМЛАРИНИНГ ҲОЛАТИ ВА ЕСКИРИШНИ ДИАГНОСТИК БАҲОЛАШ МЕТОДОЛОГИЯСИ: ЧИҚИНДИ ГАЗЛАРДАГИ МЕТАЛЛ ВА ҚАТТИҚ ЗАРРАЧАЛАР ИНДИКАТОРИ ЙОРДАМИДА

Maxmudov A., Maxmudov Sh.A. Axmedov S.T., Raximova N.A.

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,

ANNOTATSIYA Maqolada ichki yonish dvigateling qismlarining texnik holati va eskirishini diagnostik baholash usuli muhokama qilinadi, bu usul chiqindi gazlardagi metall zarralar va qattiq inklyuziyalar tarkibini tahlil qilishga asoslangan. Tadqiqot tog'-kon uskunalarining, xususan HITACHI EX1200 gidravlik ekskavatorlarining chiqindi gazlarida aniqlangan qattiq zarrachalarning tarkibiy tuzilishini tahlil qilishga asoslangan. Ma'lum bo'ldiki, zamonaviy dvigatellar chiqindi gazlaridagi qattiq zarrachalar silindr-porshen guruhi qismlarining ishqalanish mahsulotlari, neytrallashtirish tizimlari elementlari, yoqilg'i qo'shimchalari va dvigatel moyi komponentlarini o'z ichiga oladi. Qattiq zarrachalarning minerallar fraksiyasining tarkibini aniqlash uchun neytron tomografiya usullari qo'llanildi; u kalsiy (37%), rux (19%), kremniy (15%), fosfor (8%) va mis (2%) ni o'z ichiga oladi. Asosiy dvigatel komponentlarining texnik holatini baholash mezonlari ma'lum ko'rsatkich metallar – temir, xrom, alyuminiy, mis, qo'rg'oshin va boshqa elementlarning mavjudligiga asoslanib ishlab chiqilgan. Metall zarrachalarning yuqori konsentratsiyalari dvigatelning ishqalanish juftliklarining nosozligini ko'rsatishi va rejalashtirilmagan texnik xizmat ko'rsatish zarurligini oldindan bashorat qilish imkonini berishi aniqlangan. HITACHI EX1200 ekskavatori misolida dvigatel qismlarining eskirish intensivligi bilan rejalashtirilmagan uskuna to'xtab qolish chastotasi o'rtasidagi bog'liqlik, oyiga 108,26 soatgacha yetishi namoyish etilgan. Taklif etilgan diagnostika usuli silindr-porshen guruhining muddatidan oldin eskirishini oldini olish va kon uskunalarini ta'mirlash xarajatlarini kamaytirish imkonini beradi.

KALIT SO‘ZLAR Dvigatel diagnostikasi, chiqindi gazlar, qattiq zarrachalar, metall aralashmalar, komponentlarning eskirishi, silindr-porshen guruhi, eskirish ko‘rsatkichlari, texnik holat, spektral tahlil, tog‘-kon uskunasi.

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ИНДИКАТОРОМ МЕТАЛЛА И ТВЁРДЫХ ЧАСТИЦ В ОТРАБОТАННЫХ ГАЗАХ

Махмудов А., Махмудов Ш.А., Ахмедов С.Т., Рахимова Н.А.

Навоийский государственный горно-технологический университет

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается метод диагностической оценки технического состояния и износа деталей двигателя внутреннего сгорания на основе анализа содержания металлических частиц и твердых включений в выхлопных газах. Исследование основано на анализе компонентного состава твердых частиц, выявленных в выхлопных газах горной техники, в частности гидравлических экскаваторов HITACHI EX1200. Установлено, что твердые частицы в выхлопных газах современных двигателей содержат продукты износа деталей цилиндрико-поршневой группы, элементов систем нейтрализации, присадок к топливу и компонентов моторного масла. Для определения состава минеральной фракции твердых частиц использовались методы нейтронной томографии, которые показали, что она включает кальций (37 %), цинк (19 %), кремний (15 %), фосфор (8 %) и медь (2 %). Разработаны критерии оценки технического состояния основных компонентов двигателя по наличию определенных индикаторных металлов: железа, хрома, алюминия, меди, свинца, олова и других элементов. Показано, что повышенная концентрация металлических частиц свидетельствует о неисправности фрикционных пар двигателя и позволяет прогнозировать необходимость внепланового ремонта. На примере экскаватора HITACHI EX1200 продемонстрирована взаимосвязь между интенсивностью износа деталей двигателя и частотой внеплановых простоев оборудования, достигающей 108,26 часов в месяц. Предложенный метод диагностики помогает предотвратить преждевременный износ цилиндрико-поршневой группы и снизить эксплуатационные расходы на ремонт горнодобывающего оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Диагностика двигателей, отработанные газы, твёрдые частицы, металлические включения, износ деталей, цилиндрико-поршневая группа, индикаторы износа, техническое состояние, спектральный анализ, горная техника.

REFERENCES

1. Bosch Automotive Handbook. 10th Edition. – Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 2018. – 1544 p.
2. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. – New York: McGraw-Hill Education, 2018. – 930 p.
3. Mang T., Dresel W. Lubricants and Lubrication. – Weinheim: Wiley-VCH, 2017. – 850 p.
4. Nakada M. Trends in engine technology and tribology // Tribology International. – 2020. – Vol. 27. – P. 3-12.
5. Rabinowicz E. Friction and Wear of Materials. – New York: John Wiley & Sons, 2018. – 315 p.
6. Wang Y., Zhang X., Zhu Y. Engine condition monitoring using oil debris analysis // Wear. – 2019. – Vol. 426-427. – P. 1305-1314.
7. Birger I.A. Technical Diagnostics. – Moscow: Mashinostroenie, 2016. – 240 p.
8. Wenzell E.S. Probability Theory and Its Engineering Applications. – Moscow: KnoRus, 2019. – 480 p.
9. Denisov A.S., Grekhov L.V. Diagnosis and maintenance of internal combustion engines. – Moscow: Higher School, 2020. – 376 p.
10. Kuznetsov A.V. Fuel and lubricants: textbook. – Moscow: KolosS, 2019. – 199 p.
11. Lukanin V.N., Morozov K.A., Khachiyan A.S. Internal combustion engines. In 3 volumes. Volume 2. Dynamics and design. – Moscow: Higher School, 2017. – 400 p.
12. 39. Klimenko A.P., Korolev V.I., Shevtsov V.I. Continuous dust concentration monitoring. Kiev: Tekhnika, 1980. 182 p.
13. 40. Franko R.T., Kaduk B.G., Kravchenko A.A. Gas analysis devices and systems. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 128 p.

14. 11. Tretyak L.N., Volnov A.S., Kosykh D.A. Composition and concentration of solid particles in exhaust gases as criteria for the technical condition of internal combustion engines // Fundamental Research. – 2015. – No. 2-21. – P.
15. Greuter, E., Zima, S. (2012). Engine failure analysis. SAE International. doi: <https://doi.org/10.4271/0768008859>
16. Isermann, R. (2017). Combustion Engine Diagnosis: Model-based Condition Monitoring of Gasoline and Diesel Engines and their Components. Springer, 303. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49467-7>
17. Engine Air Filtration for Light, Medium, & Heavy Dust Conditions. Air Cleaners, Pre-cleaners & Inlet Hoods, Rubber Adapters/Elbows, Filter Indicators, Mounting Bands. Donaldson Company, Inc., 307. URL: <https://www.donaldson.com>
18. Mislibayev I.T., Makhmudov A.M., Makhmudov Sh.A. Study of functioning conditions of single-bucket open-pit excavators of cyclic action in complex-structured deep open pits // Mining Bulletin of Uzbekistan. - Navoi, 2020. - №1 (80). - 80-84 p.
19. Makhmudov S. A. Systematization of functional elements of the structure of complex mechanization at careers // Australian Journal of Science and Technology. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 222.
20. Azamat M., Sherzod M., Lochin K. Research and assessment of the operational manufacturability of road transport equipment using modern on-board diagnostic and machine control systems // Universum: технические науки. – 2022. – №. 8-3 (101). – С. 33-36.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Makhmudov Azamat	—	Associate professor the department of mining electromechanics, PhD; Navoi State Mining and Technological University, 210100, Navoi, M.Torobiy Str., 72, Republic of Uzbekistan ORCID: 0000-0002-1260-9433 , e-mail: maxmudov-azamat@inbox.ru
Makhmudov Sherzod Azamatovich	—	Associate professor the department of mining electromechanics, PhD; Navoi State Mining and Technological University, 210100, Navoi, M.Torobiy Str., 72, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0057-2829 , e-mail: 1vy2@mail.ru
Akhmedov Soyibjon Tozhiboevich	—	Assistant Professor, Department of Mining Electromechanics, Navoi State Mining and Technological University, 210100, Navoi, M.Torobiy Str., 72, Republic of Uzbekistan
Rahimova Nozanin Allayar's daughter	—	Student majoring in Technological Machines and Equipment at Navoi State Mining and Technological University, 210100, Navoi, M.Torobiy Str., 72, Republic of Uzbekistan

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПОРШНЕЙ-УДАРНИКОВ ПОЛИКАТЕНОИДНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПЕРФОРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

Б.О.Отажонов, Т.Ж. Аннакулов, Ж.Ф.Юнусов

*Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан.*

Doi: [10.5281/zenodo.20279818](https://doi.org/10.5281/zenodo.20279818)

АННОТАЦИЯ В статье рассматривается метод математического моделирования перехода от цилиндрической формы поршня-ударника к полукатеноидной геометрической форме. Переход между геометрическими формами описывается как процесс параметрической трансформации, основанный на непрерывных и гладких математических зависимостях, обеспечивающих сохранение основных геометрических характеристик исходной формы и постепенное формирование параметров конечной геометрии. Особое внимание уделено обеспечению непрерывности и дифференцируемости геометрической модели, что позволяет исключить появление резких изломов и геометрических разрывов в зоне перехода. На основе разработанной математической модели с помощью компьютерных программ была создана полукатеноидная часть поршня-ударника. Предложенная модель может быть использована при проектировании ударных элементов горных машин для оптимизации их геометрии, снижения концентрации напряжений и улучшения распределения нагрузок в конструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА пневматический перфоратор, ударная система, поршень-ударник, цилиндр, катеноид.

ВВЕДЕНИЕ

Переход от одной геометрической формы к другой представляет собой процесс изменения геометрии тела или его отдельного элемента на основе непрерывных и гладких математических зависимостей, при котором основные геометрические характеристики исходной формы сохраняются, а параметры, соответствующие конечной форме, формируются поэтапно.

Указанный процесс рассматривается как геометрическая трансформация или параметрическая деформация формы и описывается с помощью функций, обеспечивающих непрерывность и дифференцируемость геометрической модели. В зоне перехода за счёт обеспечения непрерывности производных первого и второго порядков исключается появление резких изломов и геометрических разрывов поверхности или контура.

В инженерной практике переход от одной геометрической формы к другой применяется с целью оптимизации механических свойств конструктивных элементов, снижения концентрации напряжений и улучшения пространственного распределения нагрузок.

Метод формирования формы на основе условия равенства объёмов представляет собой математический подход к моделированию, при котором объёмы исходной и конечной геометрических форм принимаются равными и используются в качестве основного ограничения при определении нового геометрического профиля тела. В рамках данного подхода изменение геометрических параметров формы подчиняется закону сохранения объёма.

ИССЛЕДОВАНИЯ

Именно на основе данного метода была разработана математическая модель перехода от цилиндрического поршня-ударника к поршню-ударнику полукатеноидной формы.

Для того, чтобы сохранился масса заданная фигура при переходе с первого (левое) фигура к второму (правое) должно сохраняться объём. Чтобы, сохранил объём необходимо было справедливо следующая равенства:

$$V_{f(x)} + \pi r^2(L - x) + \pi R^2 y = \pi(r^2 L + R^2 H) \quad (1)$$

или

$$V_{f(x)} - \pi r^2 x = \pi R^2(H - y) \quad (2)$$

Поверхность фигура в котором искусственно образуется, (т.е. поверхность $V_{f(x)}$ в чертеже рисунок 1) называется катеноид, а его функция описывается следующим образом:

$$y = \operatorname{ach} \frac{x}{a} \quad (3)$$

Объём полного катеноида найдётся следующим образом:

$$V_{f(x)} = \pi \int_0^{x_0} y^2 dx \quad (4)$$

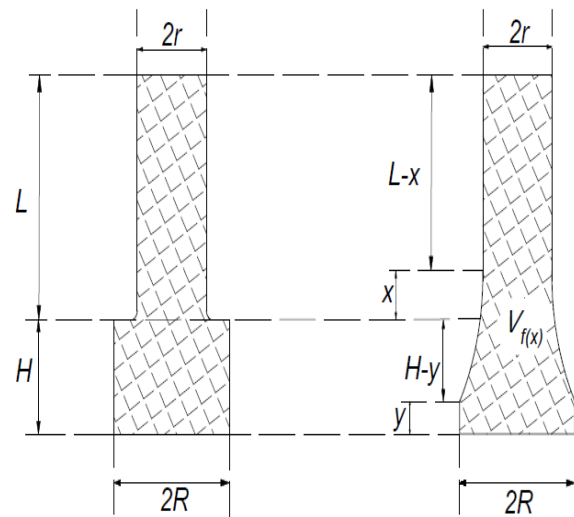


Рисунок 1. Геометрическая модель формирования полукатеноидной формы поршня-ударника

В нашем случае функция (3) в точка (0; H - y + x) имеет значение равным R поэтому,

$$\operatorname{rch} \frac{H - y + x}{r} = R \quad (5)$$

Отсюда составив уравнение можно выразить H - y через x:

$$\begin{aligned} \frac{r \left(e^{-\frac{H-y+x}{r}} + e^{\frac{H-y+x}{r}} \right)}{2} &= R \\ e^{\frac{H-y+x}{r}} = t &\Rightarrow t + \frac{1}{t} = \frac{2R}{r} \\ \Rightarrow t^2 - \frac{2R}{r}t + 1 &= 0 \\ t = \frac{\frac{2R}{r} \pm \sqrt{\frac{4R^2}{r^2} - 4}}{2} &= \frac{R}{r} \pm \sqrt{\frac{R^2 - r^2}{r^2}} \\ &= \frac{R \pm \sqrt{R^2 - r^2}}{r} \\ e^{\frac{H-y+x}{r}} = \frac{R \pm \sqrt{R^2 - r^2}}{r} &\Rightarrow \\ \frac{H - y + x}{r} = \ln \frac{R \pm \sqrt{R^2 - r^2}}{r} \end{aligned}$$

$$\frac{H-y+x}{r} > 0 \text{ и поэтому } \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} > 0.$$

Тогда,

$$\frac{R \pm \sqrt{R^2-r^2}}{r} > 1 \Rightarrow R \pm \sqrt{R^2-r^2} > r \\ \Rightarrow \sqrt{R^2-r^2} > r \mp R$$

Рассматривается две разные случаи данная неравенства:

$$1) \sqrt{R^2-r^2} > r+R \Rightarrow R^2-r^2 > R^2+2Rr+r^2 \Rightarrow r(R+r) < 0$$

это означает, что или $r < 0$ или $R < 0$. А такого не бывает. Потому, что радиус круг всегда принимает положительных значений т.е. всегда существует положительных значений R и r .

$$2) \sqrt{R^2-r^2} > r-R \Rightarrow R^2-r^2 > R^2-2Rr+r^2 \Rightarrow r(R-r) > 0$$

это полностью соответствует с условием существование круга. Потому, что в нашем случае $R > r$.

Тогда,

$$H-y = r \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} - x \quad (6)$$

Поставив (6) на (2) получим:

$$V_{f(x)} - \pi r^2 x = \pi R^2 \left(r \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} - x \right)$$

Отсюда можно выразить x через остальных параметров:

$$x = \frac{\pi R^2 r \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} - V_{f(x)}}{\pi(R^2-r^2)} \quad (7)$$

Теперь найдём объём катеноида $V_{f(x)}$ поставив (3) на (5) при $x_0 = H-y+x$ и $a = r$ при этом учитывается, что в нашем случае объём катеноид будет равно на половину целого катеноида:

$$V_{f(x)} = \frac{\pi}{2} \int_0^{H-y+x} r^2 \operatorname{ch}^2 \frac{x}{r} dx = \frac{\pi r^2}{2} \int_0^{H-y+x} \frac{\left(e^{-\frac{x}{r}} + e^{\frac{x}{r}} \right)^2}{4} dx = \frac{\pi r^2}{8} \int_0^{H-y+x} \left(e^{-\frac{2x}{r}} + 2 + e^{\frac{2x}{r}} \right) dx \\ = \frac{\pi r^2}{8} \left(r e^{-\frac{2x}{r}} - \frac{2x}{2} + r e^{\frac{2x}{r}} \right) \Big|_0^{H-y+x} = \frac{\pi r^2}{8} \left(\frac{r \left(e^{\frac{2(H-y+x)}{r}} - e^{-\frac{2(H-y+x)}{r}} \right)}{2} + 2(H-y+x) \right) \\ = \frac{\pi r^2}{8} \left(r \operatorname{sh} \frac{2(H-y+x)}{r} + 2(H-y+x) \right)$$

Объединив данный полученный результат с (6) получим объём необходимый образуемому катеноида,

$$V_{f(x)} = \frac{\pi r^3}{8} \left(\operatorname{sh} \left(2 \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} \right) + 2 \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} \right) \quad (8)$$

Поставив (8) на (9) имеем:

$$x = \frac{R^2 r \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} - \frac{\pi r^3}{8} \left(\operatorname{sh} \left(2 \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} \right) + 2 \ln \frac{R+\sqrt{R^2-r^2}}{r} \right)}{R^2-r^2} \quad (9)$$

Для приобретение второго фигура сначала исходя из значений радиусы цилиндров, используя формула (9) найдётся значения x затем используя формула (6) найдётся значения y и строится необходимая фигура.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе программирования с использованием программного пакета Mathcad Prime 4.0 была получена катеноидальная форма, в наибольшей степени соответствующая поршню-ударнику пневматического перфоратора ПП-63 (рисунок 2). При этом масса катеноидальной части поршня-ударника была принята равной $m = 1,5$ кг, плотность материала $\gamma = 7800$ кг/м³, параметр катены $a = 22$ мм, диаметр ударного рабочего торца $d = 44$ мм, а диаметр основной цилиндрической части со стороны неударного торца $D = 75$ мм.

На основе приведённых выше данных с использованием формул (8) и (9), в программной среде Mathcad Prime были выполнены аналитические расчёты. По результатам выполненных расчётов установлено, что при значении угла $\alpha = 61,5^\circ$ полукатеноидальная форма в наибольшей степени соответствует параметрам поршня-ударника данного перфоратора (рисунок 2). С целью наглядного и однозначного представления результатов, полученных на основе графического моделирования, а также для полного отображения криволинейных поверхностей, переходных зон и симметричных свойств формы, была разработана трёхмерная 3D модель объекта. Данная модель точно отражает его пространственную геометрию и служит основой для выполнения расчётных и моделирующих процедур.

При определении напряжённо-деформированного состояния, анализе ударных процессов, а также при расчёте массы, объёма и моментов инерции именно 3D-модель используется в качестве исходных данных. В

частности, в программных комплексах ANSYS и других средствах численного моделирования расчёты могут быть выполнены только при наличии пространственной модели объекта.

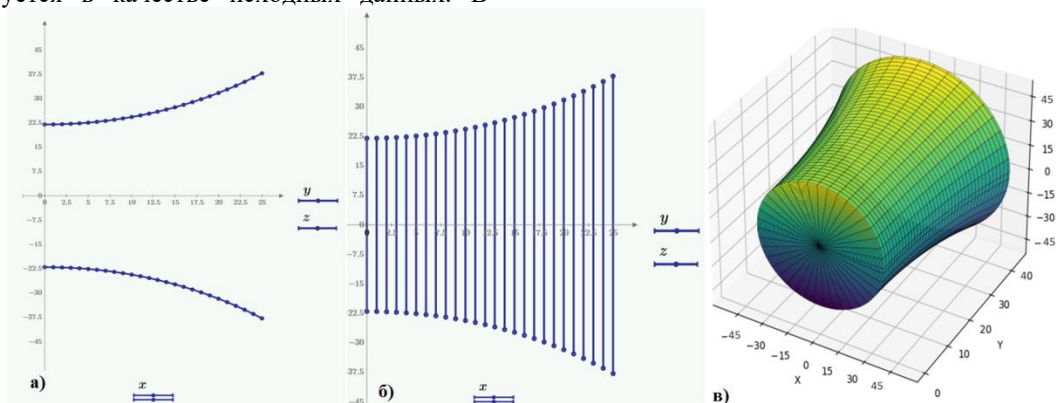


Рисунок 2. Метод формирования полукатеноидной формы цилиндрического поршня-ударника на основе математической модели и компьютерного программирования

Полученные результаты подтверждают геометрическую и конструктивную совместимость полукатеноидной формы с существующими параметрами серийного поршня-ударника.

В пневматических перфораторах конструкция поршней-ударников, как правило, предполагает наличие цилиндрической части. Основной причиной этого является необходимость обеспечения устойчивого и точного возвратно-поступательного движения поршня-ударника внутри цилиндрического корпуса. Именно цилиндрическая форма обеспечивает направленность движения, центровку поршня и корректное взаимодействие с внутренними поверхностями корпуса.

ВЫВОДЫ

В то же время применение поршней-ударников с криволинейной образующей боковой поверхности требует решения задачи их интеграции в существующие ударные механизмы. Для решения данной задачи в конструкцию выбранных ударников была введена поршневая часть цилиндро-полукатеноидальной формы (рисунок 3). Такое конструктивное решение позволяет, с одной стороны, сохранить преимущества криволинейной геометрии бойка в ударном процессе, а с другой – обеспечить возможность его применения в пневматических перфораторах с цилиндрическим корпусом.

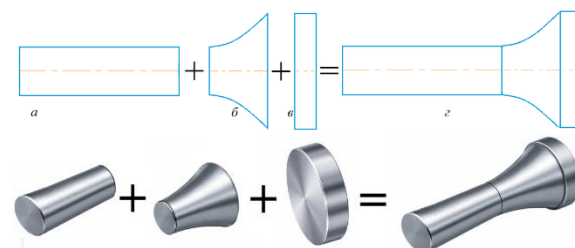


Рисунок 3. Способ установки в поршень-ударник части полукатеноидальной формы, где:

- а–цилиндрическая часть поршня-ударника, передающая удар на бур;
- б–цилиндро-полукатеноидальная часть бойка;
- в–цилиндрическая часть, выполняющая направляющую функцию;
- г–поршень-ударник полукатеноидальной формы

Основные геометрические и массовые параметры сформированного поршня-ударника цилиндро-полукатеноидальной формы были разработаны на основе параметров поршней-ударников пневматических перфораторов ПП-63 и УТ-29, широко применяемых в практике.

Данный подход обеспечивает соответствие новой конструкции существующим технологическим и эксплуатационным требованиям, а также возможность её адаптации к ударным механизмам серийных пневматических перфораторов.

PNEVMATIK PERFORATORLAR UCHUN POLIKATENOID SHAKLLI PORSHEN-ZARBA MEKANIZMINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA KOMPYUTER DASTURLARI YORDAMIDA ISHLAB CHIQUISH

B.O. Otajonov, T.J. Annaqulov, J.F.Yunusov

*Toshkent davlat texnika universiteti,
Toshkent, O'zbekiston.*

ANNOTATSIYA Maqolada porshen-zarba mexanizmining silindrik shaklidan yarim katenoid geometrik shakliga o'tishni matematik modellashtirish usuli ko'rib chiqilgan. Geometrik shakllar o'rtasidagi o'tish parametrik transformatsiya jarayoni sifatida tasvirlangan bo'lib, u uzluksiz va silliq matematik bog'lanishlarga asoslanadi. Bu esa boshlang'ich shaklning asosiy geometrik xususiyatlarini saqlab qolish va yakuniy geometriya parametrlarining bosqichma-bosqich shakllanishini ta'minlaydi.

Geometrik modelning uzluksizligi va differensiallanuvchanligini ta'minlash masalasiga alohida e'tibor qaratilgan. Bu o'tish zonasida keskin sinishlar va geometrik uzilishlar paydo bo'lishining oldini olish imkonini beradi. Ishlab chiqilgan matematik model asosida kompyuter dasturlari yordamida porshen-zarba mexanizmining yarim katenoid qismi yaratilgan. Taklif etilgan model kon mashinalarining zarb beruvchi elementlarini loyihalashda ularning geometriyasini optimallashtirish, kuchlanishlar konsentratsiyasini kamaytirish hamda konstruksiyada yuklamalar taqsimotini yaxshilash uchun qo'llanishi mumkin.

KALIT SO'ZLAR

pnevmatik perforator, zarba tizimi, porshen-zarba mexanizmi, silindr, katenoid.

MATHEMATICAL MODELING AND CAD-BASED DESIGN OF POLYCATENOID-SHAPED PISTON-STRIKERS FOR PNEUMATIC PERFORATORS

B.O. Otajonov, T.J. Annaqulov, J.F.Yunusov

*Tashkent State Technical University,
Tashkent, Uzbekistan.*

ABSTRACT

This paper considers a method of mathematical modeling for the transformation of a piston-striker geometry from a conventional cylindrical shape to a polycatenoid form. The transition between the geometric configurations is described as a parametric transformation process based on continuous and smooth mathematical relationships. Such an approach ensures the preservation of the main geometric characteristics of the initial shape while enabling the gradual formation of the parameters of the final geometry.

Special attention is paid to maintaining the continuity and differentiability of the geometric model, which makes it possible to eliminate sharp discontinuities and geometric breaks in the transition zone. Based on the developed mathematical model, the polycatenoid section of the piston-striker was designed using computer-aided design (CAD) software. The proposed approach can be applied in the design of impact elements of mining machines in order to optimize their geometry, reduce stress concentration, and improve load distribution within the structure.

KEYWORD

pneumatic perforator, impact system, piston-striker, cylinder, catenoid.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алимов О. Д., Дворников Л. Т. Бурильные машины. М., «Машиностроение», 1976 г.
2. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Изд. перераб. - М.: Наука, 1980.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. Изд. 10-е. М.: Наука, 1973.
4. Жуков И. А., Дворников Л. Т. Теоретические обоснования форм ударяющих тел для машин ударного действия. В кн.: Наука и молодежь: на рубеже тысячелетий: Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией СМ. Кулакова / СибГИУ. - Новокузнецк, 2000.
5. Жуков И. А. Применение ЭВМ в исследовании формирования ударного импульса в стержнях при ударе по ним бойками различных форм. В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией С. М. Кулакова / СибГИУ. -Новокузнецк, 2002.
6. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Анализ форм бойков ударных механизмов с точки зрения рациональности их применения. - В кн.: Научно-технические разработки и использование минеральных ресурсов: Материалы Международной научно-практической конференции. Сборник научных статей/. Под редакцией В. Н. Фрянова. Новокузнецк, 2003г.

7. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Использование катеноидальных бойков в ударных системах технологического назначения. - В кн.: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-9-2003): Доклады 9-й Международной научно-практической
8. *Technical Requirements and Test Methods for Pneumatic Perforators, State Standard of Russia*. Moscow, 1999.
9. Ivanov K.I., Latyshev V.A., Andreev V.D. (1987). *Drilling Technology in the Development of Mineral Deposits*, M.: Nedra., 272 p.
10. Gabov V.V., Lykov Yu.V. (2010). *Design of Drilling Machines for Underground Works.*, Saint Petersburg.
11. Mishchenko O.A., Tishchenko V.P. *Life Safety*, Pacific State University Publishing House, 2014. - 338 .
12. Krupenin V.L. (2009). *Impact and Vibro-Impact Machines and Devices. Bulletin of Scientific and Technical Development*, No. 4 (20).
13. Tulkin, Annakulov; Ziyadov, Nusratullo; Abdikarimov, Farhod. Analysis of overburden transportation by conveyor transport as part of a cyclic-flow technology. *E3S Web of Conferences*. Том 414. 25 August 2023. Номер статьи 06006. 6 September 2023. Код 191994. DOI 10.1051/e3sconf/202341706006.
14. Annakulov, T., Gaibnazarov, S., Askarov, A., Mamadiyeva, L. Prospects for the use of cyclic-flow technology for the transportation of rocks at the Yoshlik-1 quarry of JSC Almalyk mining and metallurgical combine. *E3S Web of Conferences*, Том 414. 25 August 2023. Номер статьи 06007. 6 September 2023. Код 191994. DOI 10.1051/e3sconf/202341706007.
15. Bulatov, G., Annakulov, T. Investigation of the width of the entry of an excavator when loading a mobile crushing plant in the conditions of the Angren coal mine of Uzbekistan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 937(4), 042088. DOI 10.1088/1755-1315/937/4/042088.
16. Annakulov, T. Development of technological schemes for open-pit mining of deposits using mobile crushing-reloading-conveyor complexes. *E3S Web of Conferences*, 2020, 201, 01010. DOI 10.1051/e3sconf/202020101010.
17. Annakulov T. J., Temirov K. M., Otajonov B.O., Yunusov J. F., Norimonov Sh.N. Justification of equipment parameters for mobile crushing-reloading-conveyor complexes in open-pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(12-3):5—22. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_5.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Annakulov	— <i>PhD, Associate professor of the department of Mining Electromechanics; Tashkent State</i>
Tulkin	<i>Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan</i>
Jovbekovich	ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3106-144X , e-mail: a.tulkin1275@yandex.ru
Otajonov	— <i>Senior lecturer of the department of Mining Electromechanics; Tashkent State Technical</i>
Bahrom	<i>University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan</i>
Otaboevich	ORCID: bahrom9097@yandex.com
Yunusov	— <i>Assistant of the department of Mining Electromechanics; Tashkent State Technical</i>
Jasurbek	<i>University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan</i>
Farhod o'g'li	ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5126-0059 e-mail: jasurbekyunusov@tdtu.uz

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМУ ОБЖИГУ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЫЛИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ЦИНК И ЖЕЛЕЗО**Муносибов Ш.М., Илхамов М.А., Маткаримов С.Т., Каримжонов Б.Р., Максудов Ш.А.***Государственное учреждение Научно-практический центр по развитию локализации и промышленной кооперации в горно-металлургической промышленности при Министерстве горно-добывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.*

Doi: 10.5281/zenodo.20279864

АННОТАЦИЯ Сталеплавильная пыль, образующаяся в электродуговых печах, представляет собой значительный техногенный ресурс, содержащий ценные металлы, такие как железо и цинк. В то же время, неправильная утилизация этой пыли представляет серьезную экологическую опасность. В данном исследовании рассматривается возможность переработки цинксодеждающей сталеплавильной пыли путем восстановительного обжига с использованием нефтяного кокса в качестве восстановителя. Проанализирован химический состав пыли, собранной из газоочистной системы электросталеплавильного цеха АО «Узметкомбинат.» Экспериментальные исследования проводились при температурах до 1200 °С с различным содержанием восстановителя (40-90 масс.% от массы пыли). Степень возгонки цинка и поведение восстановления оксидов железа оценивались с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии. Результаты показывают, что увеличение содержания кокса до 80-90 масс.% обеспечивает удаление цинка выше 50% и почти полное восстановление оксидов железа до металлического состояния. Полученный твердый продукт (клинкер) можно непосредственно использовать в сталелитейных процессах, в то время как цинк концентрируется в парах. Предлагаемая технология является экологически и экономически целесообразной и может быть реализована с использованием существующего оборудования типа Waelz для обработки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА пыль сталеплавильного производства, восстановительный обжиг, возгонка цинка, нефтяной кокс, восстановление оксида железа, процесс Вельца.

ВВЕДЕНИЕ

Исчерпание полезных ископаемых, рост объема промышленных отходов и ужесточение экологических стандартов — все это проблемы, с которыми сталкивается современная металлургическая промышленность. Таким образом, для устойчивого развития важно комплексное использование сырья, внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, а также извлечение ценных компонентов из промышленных отходов.

Стремительный рост металлургической промышленности в последние десятилетия сопровождался непрерывающимся ростом образования техногенных отходов, особенно возникающих в результате высокотемпературных процессов выплавки стали. Поскольку ее сложный химический состав и большое количество ценных металлов, таких как железо и цинк, пыль электродуговой печи (ЭДП) является одним из самых опасных отходов. Таким образом, для современной металлургии устойчивое управление пылью ЭДП стало важной научно-технической и экологической проблемой.

Металлургическая промышленность перешла на вторичное сырье и промышленные отходы из-за исчерпания минеральных ресурсов высшего качества и растущего спроса на металлы.

Принципы добывающей металлургии утверждают, что металлургические остатки являются техногенными полезными ископаемыми, которые могут быть переработаны и вновь включены в производственный цикл посредством соответствующих процедур [1]. Этот метод соответствует идеям устойчивого развития и циркулярной экономики, которые подчеркивают эффективное использование ресурсов, минимизацию отходов и защиту окружающей среды.

Благодаря своей гибкости, низким затратам на капитал и использованию металлолома в качестве основного сырья электродуговая сталелитейная промышленность играет ведущую роль в мировой сталелитейной отрасли. Тем не менее, при производстве стали в электродуговых печах (ЭДП) обычно образуется от 15 до 25 кг пыли на тонну производимой стали. Эта пыль, которую собирают системы газоочистки, называется пылью ЭДП. Хотя химический состав пыли ЭДП сильно зависит от природы металлолома, условий эксплуатации и конструкции печи, она обычно содержит высокие концентрации щелочных металлов, соединений свинца и оксидов железа [10].

Цинк попадает в ЭАФ преимущественно через оцинкованный стальной лом. В условиях высоких температур при выплавке стали цинк быстро

испаряется, а затем окисляется, образуя мелкие частицы ZnO, которые улавливаются системой пылеулавливания. В результате содержание цинка в пыли ЭАФ обычно варьируется от 10 до 25 мас.%, что делает её ценным вторичным источником цинка [11]. При этом железо остаётся основным компонентом пыли, преимущественно в форме Fe₂O₃, Fe₃O₄ и FeO.

Несмотря на высокое содержание металла, прямая утилизация пыли ЭАФ в сталеплавильных печах невозможна. Цинк имеет низкую температуру кипения (907 °C) и склонен к многократному испарению при переплавке, что приводит к усилению пылеобразования, постоянной деградации и нестабильности работы. Более того, присутствие цинка негативно влияет на качество стали и производительность печи [11]. По этим причинам пыль ЭАФ часто классифицируется как опасный отход, а её захоронение на полигонах во многих странах ограничено или запрещено из-за риска загрязнения почвы и грунтовых вод тяжёлыми металлами [16].

За последние десятилетия было предложено множество технологий для обработки цинксодержащей пыли ЭДП. Эти технологии можно условно разделить на гидрометаллургические и пирометаллургические подходы. Гидрометаллургические методы включают селективное выщелачивание цинка с использованием кислотных или щелочных растворов с последующей очисткой и извлечением металла. Хотя такие процессы могут обеспечивать высокое извлечение цинка, они часто страдают от высокого расхода реагентов, сложных требований к очистке сточных вод и трудностей с обращением с богатыми железом остатками [5].

В отличие от этого, пирометаллургические процессы основаны на высокотемпературной обработке пыли ЭДП, обычно включающей восстановительный обжиг и возгонку цинка. Эти процессы используют термодинамические свойства цинка, который легко испаряется после восстановления до металлического состояния. Среди пирометаллургических технологий процесс Вельца получил широкое промышленное признание и в настоящее время является одним из наиболее часто используемых методов переработки цинксодержащих металлургических отходов [6].

Процесс Вельца заключается в обработке пыли ЭАФ во вращающейся печи при температуре 1000-1200 °C в присутствии углеродистого восстановителя. В этих условиях оксид цинка восстанавливается и улетучивается, а железо остается в твердой фазе. Полученные продукты - это обогащенный цинком возгон и железосодержащий клинкер. Простота, надежность и промышленная зрелость процесса Вельца делают его особенно привлекательным для крупномасштабных применений [6,8].

Термодинамические основы испарения цинка при восстановительном обжиге были подробно изучены. Согласно термодинамическим анализам, восстановление ZnO угарным газом становится благоприятным при температурах выше примерно 950 °C, что подтверждается отрицательными значениями свободной энергии Гиббса [4,15]. После восстановления металлический цинк проявляет высокое давление паров, что способствует его быстрому переходу в газовую фазу. При 1200 °C давление паров цинка превышает 1000 мм рт.ст., что обеспечивает эффективное отделение от твердой матрицы [12].

Оксиды железа, присутствующие в пыли ЭДП, подвергаются ступенчатому восстановлению при восстановительном обжиге. Последовательность восстановления Fe₂O₃ → Fe₃O₄ → FeO → Fe хорошо изучена и подробно описана в литературе по высокотемпературным металлургическим процессам [2,3]. Избыток углерода и угарного газа смещает равновесие в сторону образования металлического железа. Кроме того, металлическое железо может выступать в качестве вторичного восстановителя оксида цинка посредством металлотермических реакций, что еще больше усиливает восстановление цинка [7].

Помимо термодинамических аспектов, кинетика восстановления оксидов цинка и железа играет решающую роль в определении эффективности восстановительного обжига. Восстановление оксида цинка зависит от таких факторов, как температура, содержание восстановителя, размер частиц и диффузия газа через пористую структуру обжигаемого материала. Кинетические исследования показали, что при более низких температурах или недостаточных условиях восстановления удаление цинка лимитируется скоростью химических реакций, в то время как при более высоких температурах преобладают ограничения массопереноса и диффузии [13].

Минералогическая форма цинка в пыли ЭАФ также существенно влияет на его восстанавливаемость. Цинк присутствует не только в виде ZnO, но и в виде феррита цинка (ZnFe₂O₄), который обладает более высокой термостойкостью и требует более высоких температур или более жестких условий восстановления для разложения. Было показано, что карботермическое восстановление феррита цинка протекает по сложным реакционным путям, включающим промежуточные фазы и твердофазные реакции [9].

Другим важным аспектом восстановительного обжига является образование низкоплавких фаз, особенно богатых щелочными оксидами и силикатами железа. Эти фазы могут частично плавиться при высоких температурах, блокируя пористые каналы и затрудняя диффузию паров цинка из внутренней части частиц в газовую фазу.

Такие явления могут ограничивать эффективность удаления цинка даже в термодинамически благоприятных условиях [7,12].

Обработка пыли ЭАФ методом восстановительного обжига имеет значительные преимущества для окружающей среды. В связи с высоким энергопотреблением и воздействием на окружающую среду восстановление цинка снижает потребность в его первоначальном производстве. В то же время преобразование вредных пылей в концентрированные пары цинка и перерабатываемые твердые продукты снижает количество отходов, необходимых для утилизации [16-20].

Несмотря на многочисленные промышленные опыты и исследования, оптимизация параметров восстановительного обжига остается актуальным вопросом. Тип восстанавливающего агента, дозировка и температура, продолжительность процесса и конструкция печи должны быть тщательно сбалансированы, чтобы максимизировать извлеченный цинк при сохранении металлургической ценности железосодержащего остатка. В частности, сталелитейные предприятия в регионе могут получить финансовые и логистические преимущества от использования местных углеродсодержащих материалов, таких как нефтяной кокс [8].

В металлургическом секторе Узбекистана накопление большого количества цинксодержащей пыли ЭДП представляет собой ценный ресурс, а также экологическую проблему. Таким образом, создание эффективных методов переработки, подходящих к конкретному составу местных пылей, имеет большое практическое значение. Предыдущие исследования показали, что восстановительное обжига может быть полезным для переработки металлургических отходов в региональных условиях; однако они подчеркнули необходимость проведения тщательных экспериментальных и термодинамических исследований [1,15].

Цель этого исследования состоит в том, чтобы изучить, как работает восстановление цинксодержащей сталеплавильной пыли при использовании нефтяного кокса в качестве восстановителя. Особое внимание уделяется тому, как содержание восстанавливающих агентов влияет на восстановление оксида железа и улетучивание цинка при повышенных температурах. Данная работа направлена на разработку эффективной и экологически чистой технологии переработки пыли ЭДП, сочетая результаты экспериментов с термодинамическими и кинетическими идеями.

В этом исследовании основное внимание уделяется процессу восстановления сталеплавильной пыли АО «Узметкомбинат» с

использованием нефтяного кокса. Особое внимание уделяется определению наилучших параметров процесса, чтобы максимизировать удаление цинка при одновременном обеспечении успешного восстановления оксидов железа.

АНАЛИЗ

Объектом исследования является сталеплавильная пыль, собираемая из газоочистной системы электродуговой печи АО «Узметкомбинат.» В настоящее время на предприятии накопилось более 60 000 тонн цинксодержащей пыли, а годовая скорость образования составляет около 12 000-13 000 тонн.

Химический состав исследуемой пыли определяли стандартными методами химического анализа. Основные компоненты обобщены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав сталеплавильной пыли

Компонент	Содержание, мас.%
Общее количество Fe	31,2
Fe ₂ O ₃	41,6
FeO	4,6
ZnO	16,2
PbO	1,36
SiO ₂	3,4
CaO	3,4
MnO	3,7
Na ₂ O	10,4
Другие	следы

В качестве восстановителя был использован нефтяной кокс, произведенный на Ферганском НПЗ. Среднее содержание углерода в коксе составило около 95 мас.%. Выбор нефтяного кокса основывался на его высоком содержании фиксированного углерода, низком выходе золы и доступности. Были приготовлены смеси сталеплавильной пыли и нефтяного кокса с различным содержанием кокса (40, 65, 80 и 90 мас.% от массы пыли). Каждая смесь тщательно гомогенизировалась и загружалась в шамотные тигли.

Тигли помещали в шахтную печь, предварительно нагретую до 1200 °С. Восстановительный обжиг, проводили в течение 90 минут в контролируемых условиях. После обжига тигли извлекали из печи и охлаждали до комнатной температуры.

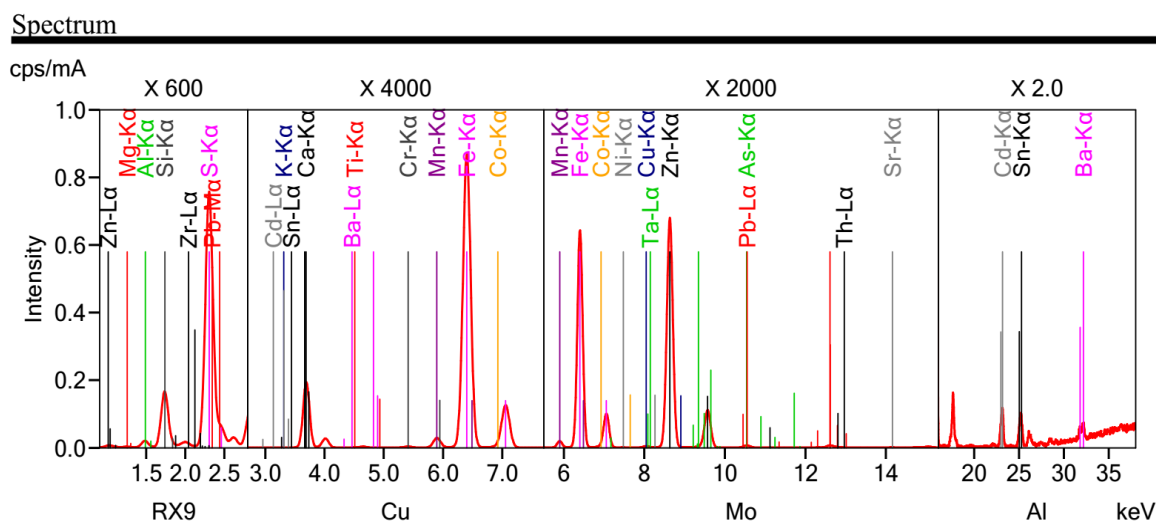


Рисунок 1. результаты спектрального анализа образцов

Остаточное содержание цинка в обожженном продукте (клинкере) и концентрацию цинка в дыме определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Степень восстановления оксида железа оценивали по изменению содержания Fe и FeO.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначальные эксперименты с 40 мас.% нефтяного кокса показали ограниченное удаление цинка. Остаточное содержание цинка в клинкере оставалось выше 14 мас.%, что свидетельствует о недостаточном восстановлении и улетучивании соединений цинка. Это поведение можно объяснить ограниченным доступом к восстанавливающему углероду и недостаточной генерацией газа CO, который играет решающую роль в восстановлении оксида цинка и феррита цинка.

Увеличение содержания кокса значительно улучшило удаление цинка за счет интенсификации как прямых твердофазных реакций, так и косвенных механизмов газофазного восстановления. Результаты экспериментов обобщены в таблице 2.

Таблица 2.

Влияние содержания кокса на остаточный цинк в клинкере

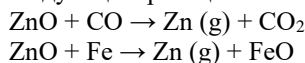
Содержание кокса, мас.%	Остаток Zn, мас.%
52	13,4
65	10,56
80	7,98
90	7,98

Данные показывают, что увеличение содержания кокса до 80-90 мас.% снижает содержание цинка в клинкере примерно до 8 мас.%. В этих условиях удаление цинка в газовую

фазу достигает около 52,4%. Дальнейшее увеличение содержания кокса не приводит к заметному улучшению, что указывает на то, что процесс становится ограниченным диффузией.

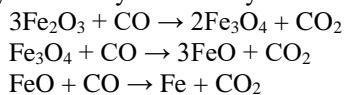
Для оценки возможности реакций восстановления оксидов цинка и железа при восстановительном обжиге был проведен термодинамический анализ. Согласно диаграммам Эллинггама, изменение свободной энергии Гиббса (ΔG°) для восстановления ZnO угарным газом становится отрицательным при температурах выше 950°C, что свидетельствует о термодинамической благоприятности процесса.

Восстановление оксида цинка может протекать по следующим реакциям:



При 1200°C давление паров металлического цинка превышает 1200 мм рт.ст., что обеспечивает его быстрое испарение после восстановления до металлического состояния. Это термодинамическое условие необходимо для предотвращения повторного окисления цинка в твердой матрице.

Восстановление оксида железа происходит по ступенчатому механизму:



Наличие избытка углерода смещает равновесие в сторону образования металлического железа. Восстановленное железо дополнительно способствует извлечению цинка посредством металлотермического восстановления, улучшая общее извлечение цинка.

Помимо термодинамической благоприятности, кинетика восстановления и массопереноса существенно влияют на эффективность удаления цинка. Восстановление оксида цинка контролируется как скоростью химической

реакции, так и диффузией паров цинка через пористую структуру клинкера.

При более низком содержании кокса недостаточная пористость и ограниченное газообразование ограничивают диффузию цинка. Увеличение содержания восстановителя усиливает образование пор за счет интенсификации выделения газа (CO), что облегчает удаление паров цинка. Однако при содержании кокса выше 80 мас.% образование

тугоплавких фаз, богатых щелочными оксидами и силикатами железа, может частично блокировать пористые каналы. Более того, явления спекания при повышенных температурах уменьшают эффективную поверхность, что приводит к диффузионно-контролируемой кинетике. Это объясняет наблюдаемое плато в эффективности удаления цинка при содержании кокса свыше 80 мас.%.

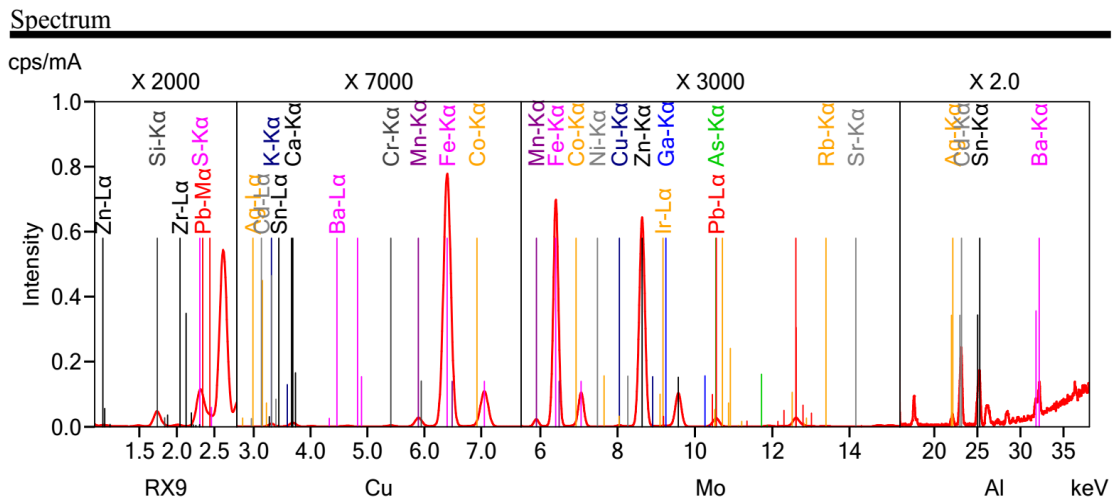
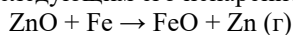


Рисунок 2. Спектральный анализ образцов, полученных в результате восстановления

Данные показывают, что увеличение содержания кокса до 80-90 мас.% снижает содержание цинка в клинкере примерно до 8 мас.%. В этих условиях удаление цинка в газовую фазу достигает около 52,4%.

Удаление цинка при восстановительном обжиге регулируется восстановлением ZnO и последующим его испарением:



При 1200 °C давление паров цинка превышает 1200 мм рт.ст., что обеспечивает благоприятные условия для испарения цинка. Однако дальнейшее повышение температуры может привести к частичному плавлению малоплавких фаз, блокируя поры и затрудняя диффузию цинка.

Экспериментальные результаты подтвердили почти полное восстановление FeO до металлического железа. Содержание FeO в клинкере после обжига было ниже 0,02 мас.%. Присутствие металлического железа дополнительно способствует восстановлению цинка из ZnO.

При температурах около 1150-1200 °C может происходить частичное науглероживание железа, что приводит к образованию фаз чугуна. Это повышает металлургическую ценность твердого продукта.

Обработка сталеплавильной пыли восстановительным обжигом значительно снижает экологическую нагрузку, связанную с ее утилизацией. Восстановление цинка и железа способствует ресурсосбережению и

экономической эффективности. Предлагаемый процесс может быть реализован с использованием существующих печей Вельца или аналогичного оборудования вращающейся печи, что позволяет минимизировать капитальные вложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что восстановительный обжиг является эффективным методом переработки цинкосодержащей сталеплавильной пыли АО “Узметкомбинат”. Нефтяной кокс является подходящим восстановителем, обеспечивающим как извлечение цинка, так и глубокое восстановление оксидов железа.

Оптимальные параметры процесса были определены следующим образом: - Температура: 1200 °C - Время обжига: 90 минут - Содержание кокса: 80-90 мас.% от массы пыли

В этих условиях более 50% цинка переходит в газовую фазу, а железо практически полностью восстанавливается до металлического состояния. Полученный клинкер может быть непосредственно повторно использован при выплавке стали, а богатые цинком пары представляют собой ценное вторичное сырье.

Предлагаемая технология является экологически чистой и промышленно осуществимой, что дает перспективное решение для устойчивого управления сталеплавильной пылью.

RUX VA TEMIRNI O'Z ICHIGA OLGAN PO'LAT ERITISH CHANGINI QAYTARUVCHI KUYDIRISH JARAYONI BO'YICHA TADQIQOTLAR

Munosibov Sh.M., Ilxamov M.A., Matkarimov S.T., Karimjonov B.R., Maksudov Sh.A.

O'zbekiston Respublikasi Tog'-kon sanoati va geologiya vazirligi huzuridagi Tog'-kon sanoatida mahalliy lashtirish va sanoat kooperatsiyasini rivojlantirish ilmiy-amaliy markazi davlat muassasasi, Toshkent, O'zbekiston.

ANNOTATSIYA Elektr yoyli pechlarda hosil bo'ladigan po'lat eritish changi temir va rux kabi qimmatbaho metallarni o'z ichiga olgan muhim texnogen resurs hisoblanadi. Shu bilan birga, ushbu changni noto'g'ri utilizatsiya qilish jiddiy ekologik xavf tug'diradi. Mazkur tadqiqotda rux saqlovchi po'lat eritish changini qaytaruvchi kuydirish usuli orqali, qaytaruvchi sifatida neft koksidan foydalangan holda qayta ishlash imkoniyati ko'rib chiqilgan. "Uzmetkombinat" AJ elektro-po'lat eritish sexining gaz tozalash tizimidan yig'ib olingan changning kimyoviy tarkibi tahlil qilindi. Tajribaviy tadqiqotlar 1200 °C gacha bo'lgan haroratlarda, qaytaruvchi moddaning chang massasiga nisbatan 40–90 massa foiz miqdorida olib borildi. Ruxning uchib chiqish darajasi hamda temir oksidlarining qaytarilish xatti-harakati atom-absorbtsion spektroskopiya usuli yordamida baholandi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, koks miqdorini 80–90 massa foizgacha oshirish ruxni 50 % dan ortiq miqdorda ajratib olishni hamda temir oksidlarini deyarli to'liq metall holatgacha qaytarishni ta'minlaydi. Hosil bo'lgan qattiq mahsulot (klinker) bevosita po'lat ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llanishi mumkin, rux esa bug' fazasida kontsentratsiyalanadi. Taklif etilayotgan texnologiya ekologik va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lib, Waelz turidagi mavjud uskunalardan foydalangan holda amaliyotga joriy etilishi mumkin.

KALIT SO'ZLAR po'lat eritish changi, kuyindini tiklash, ruxni uchirish, koksli neft, temir oksidini tiklash, Velslash jarayoni.

STUDIES ON THE REDUCTIVE ROASTING OF ZINC AND IRON CONTAINING STEELMAKING DUST

Munosibov Sh.M., Ilxamov M.A., Matkarimov S.T., Karimjonov B.R., Maksudov Sh.A.

State Inter-Enterprise Scientific and Practical Center for the Development of Localization and Industrial Cooperation in the Mining and Metallurgical Industry under the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan.

ABSTRACT Steelmaking dust generated in electric arc furnaces represents a significant technogenic resource containing valuable metals such as iron and zinc. At the same time, improper disposal of this dust poses a serious environmental hazard. This study examines the feasibility of processing zinc-containing steelmaking dust by means of reductive roasting using petroleum coke as a reducing agent. The chemical composition of the dust collected from the gas-cleaning system of the electric steelmaking shop of JSC «Uzmetkombinat» was analyzed. Experimental investigations were carried out at temperatures up to 1200 °C with varying contents of the reducing agent (40–90 wt.% relative to the dust mass). The degree of zinc volatilization and the behavior of iron oxide reduction were evaluated using atomic absorption spectroscopy. The results demonstrate that increasing the coke content to 80–90 wt.% ensures zinc removal exceeding 50% and almost complete reduction of iron oxides to the metallic state. The resulting solid product (clinker) can be directly utilized in steelmaking processes, while zinc is concentrated in the vapor phase. The proposed technology is environmentally and economically viable and can be implemented using existing Waelz-type equipment for processing.

KEYWORDS steelmaking dust, reductive roasting, zinc volatilization, petroleum coke, reduction of iron oxide, Waelz process

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Habashi F. Principles of Extractive Metallurgy. Volume 2: Hydrometallurgy. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1983.
2. Turkdogan E.T. Physical Chemistry of High-Temperature Processes. Academic Press, New York, 1980.

3. Frukhan R.J. Steel Production, Molding, and Processing: Steel Melting and Refining. AISE Steel Foundation, Pittsburgh, 1998.
4. Pickles K.A. Thermodynamic analysis of selective reduction of electric arc furnace dust. Journal of Hazardous Materials, 2010, 166, pp. 1030-1042.
5. Oustadakis P., Tsakiridis P.E., Katsiapi A., Agatzini-Leonardou S. The hydrometallurgical process of extracting zinc from the dust of an electric arc furnace. Journal of Hazardous Materials, 2010, 179, pp. 1-7.
6. Hagelstein C. The Wels process for processing zinc-containing residues. Lead-Zinc 2000, TMS, Warrendale, 2000, pp. 493-506.
7. Suetens T., Guo M., Blanpain B. Mechanisms of reactions in the carbothermic reduction of zinc oxide in metallurgical waste. Metallurgical and Materials Transactions B, 2015, 46, pp. 123-134.
8. Antrekovich J., Steinlechner S., Unger A. Extraction of zinc from metallurgical waste by high-temperature processes. Minerals Engineering, 2016, 89, pp. 27-36.
9. Zhang Y., Li H., Wang X. Carbothermal behavior ZnFe₂O₄ in electrodeox furnace dust. Thermochemica Acta, 2014, 579, pp. 1-7.
10. Gezennek A.G., Huber J.K., Patisson F. Dust formation in an electric arc furnace: the birth of particles. Technology of Powders, 2005, 157, pp. 2-11.
11. Brookard W.J., Davey C.J., Rodopoulos T. The behavior of zinc in the smelting of steel in an electric arc furnace. Enrichment of Mineral Resources, 2005, 18, pp. 205-214.
12. Piret N., Legu J.G. Zinc Evaporation in Carbothermal Processing of Steel Smelting Dust. Metallurgical Transactions B, 1992, 23, pp. 113-121.
13. Itō S., Asano K. Kinetics of reduction of zinc oxide by carbon monoxide gas. ISIJ International, 2001, 41, pp. 105-111.
14. Hwang J.J., Huang H., Zou Y.M. Reduction of zinc from electric arc furnace dust by heat treatment. Journal of Materials Science, 2008, 43, pp. 5935-5943.
15. Wang K., Sun T., Coo J. Thermodynamic analysis of zinc evaporation from electric arc furnace dust. Journal of Environmentally Clean Production, 2018, 172, pp. 151-160.
16. Li J., Zhuang X., Carol X. Ecological and resource aspects of electric arc furnace dust utilization. Resources, Preservation and Recycling, 2019, 143, pp. 75-88.
17. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Djuraev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Kinetics of carbon-thermal reduction of magnetite. Student Bulletin, 2021, 8 (153), pp. 60-62.
18. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Juraev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Reduction of volatile metal oxides. Student Bulletin, 2021, 8 (153), pp. 69-71.
19. Hojiyev S.T., Nuraliyev O.U., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T. Some thermodynamic aspects of magnetite reduction in the presence of carbon. Universum: Technical Sciences, 2021, 3 (84), pp. 60-64.
20. Karimjonov B.R., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T., Hojiyev Sh.T. Analysis of modern methods for processing zinc-containing steel dust. Proceedings of the International Scientific Conference, Bukhara, 2020, pp. 65-66.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Munosibov Shokhrub Mukhiddin ugli	– Chief Specialist of the Center of localization, PhD, State Interprise Scientific and practical center for the development of localization and industrial cooperation in the mining and metallurgical industry under the Ministry of Mining Industry and Geology the. Republic of Uzbekistan, 100164, Tashkent, Olimlar Str., 49, Republic of Uzbekistan. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-6413-8882 , Mail: shokhrukhmunosibov@gmail.com
Ilkhamov Murod Akhtamovich	– Director of the Center of localization, State Interprise Scientific and practical center for the development of localization and industrial cooperation in the mining and metallurgical industry under the Ministry of Mining Industry and Geology the. Republic of Uzbekistan, 100164, Tashkent, Olimlar Str., 49, Republic of Uzbekistan. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2087-0524 , e-mail: m_ilkhamov@mail.ru
Matkarimov Sokhibjon Turdalievich	– Head of the Career center, DSc, professor; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2393-6576 , e-mail: sohibtm@gmail.com
Karimjonov Begzod Rahmatjonovich	– Researcher; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0009-0003-3518-1745 , e-mail: b.karimjonov@tdtu.uz
Maksudov Shuhrat Aripjanovich	– Researcher; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3918-5240 , e-mail: shuhrat.m250aa@gmail.com

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ КАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**Ш.А. Очилов, И.С.Кушназоров, О.Х. Аббосхонова, М.М.Тухтаева***Университет геологических наук, Ташкент, Узбекистан*

Doi: 10.5281/zenodo.20279974

АННОТАЦИЯ В статье рассматриваются современные подходы к мониторингу деформационных процессов бортов карьеров, основанные на интеграции маркшейдерско-геодезических наблюдений и геоинформационного моделирования. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности и оперативности оценки устойчивости бортов карьеров в условиях интенсификации горных работ. Предложена методика комплексного мониторинга, включающая сбор, обработку и анализ пространственно-временных данных, полученных с использованием современных цифровых технологий (GNSS, электронная тахеометрия, БПЛА). Разработан алгоритм интеграции данных в геоинформационной среде с последующим построением цифровых моделей деформаций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА маркшейдерский мониторинг, деформации бортов карьеров, ГИС, геодезия, БПЛА, цифровые технологии, устойчивость бортов.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом сопровождается изменением напряжённо-деформированного состояния горного массива, что приводит к возникновению деформаций и возможным обрушениям бортов карьеров. Обеспечение устойчивости бортов является одной из ключевых задач маркшейдерского обеспечения горных работ. [1]

Традиционные методы наблюдений, основанные на периодических геодезических измерениях, не всегда обеспечивают необходимую оперативность и полноту информации. В современных условиях возрастает роль комплексных подходов, основанных на интеграции маркшейдерских, геодезических и геоинформационных технологий. [2]

В связи с этим актуальной задачей является разработка методики, позволяющей объединить различные источники пространственных данных и обеспечить их комплексный анализ для оценки деформационных процессов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предлагаемая методика комплексного мониторинга деформаций бортов карьеров основана на интеграции маркшейдерско-геодезических наблюдений, дистанционных методов съёмки и геоинформационного моделирования. Методика включает последовательные этапы: сбор, обработку, моделирование и анализ данных. [3].

Сбор данных осуществляется с применением комплекса современных геодезических и дистанционных методов, обеспечивающих получение высокоточной пространственно-

временной информации о состоянии бортов карьера.

Основными источниками данных являются:

1. GNSS-наблюдения

Используются для определения координат контрольных маркшейдерских пунктов с высокой точностью (до миллиметров при статических наблюдениях). GNSS позволяет фиксировать как горизонтальные, так и вертикальные смещения в динамике. [2]

2. Электронные тахеометры

Применяются для детальной съёмки поверхности бортов карьера, а также для мониторинга локальных деформаций (трещины, уступы, откосы). Обеспечивают высокую точность измерения углов и расстояний.

3. Геометрическое нивелирование

Используется для определения вертикальных перемещений (осадок и поднятий), особенно в зонах повышенного риска деформаций.

4. БПЛА (аэрофотосъёмка)

Позволяют оперативно получать ортофотопланы и облака точек высокой плотности. Использование фотограмметрических методов обеспечивает создание детализированных цифровых моделей рельефа.

Комплексное применение указанных методов позволяет повысить полноту и достоверность исходных данных.





Рис. 1. Приборы (Электронные тахеометры, БПЛА (аэрофотосъёмка) GNSS-наблюдения)

На этапе обработки выполняется приведение разнородных данных к единой системе координат и повышение их точности. Основные процедуры включают:

1. Уравнивание геодезических сетей выполняется с использованием метода наименьших квадратов для устранения случайных погрешностей измерений и обеспечения согласованности координат пунктов наблюдений.

2. Фильтрация и контроль ошибок
Проводится анализ измерений с целью выявления грубых ошибок и аномалий. Используются статистические методы (сигма-контроль, анализ выбросов).

3. Формирование базы данных наблюдений создаётся единая цифровая база, включающая:

- координаты пунктов;
- временные ряды наблюдений;
- результаты измерений.

База данных организуется с учётом последующей интеграции в геоинформационную систему.

Геоинформационное моделирование [3]

На данном этапе осуществляется пространственный анализ и визуализация деформационных процессов с использованием ГИС-технологий. Основные операции:

1. Построение цифровой модели рельефа (ЦМР) ЦМР формируется на основе данных GNSS, тахеометрии и фотограмметрии.

Используются методы триангуляции (TIN) и регулярных сеток (GRID).

2. Создание 3D-модели карьера. Формируется пространственная модель, отражающая геометрию бортов, уступов и откосов. Это позволяет анализировать изменения формы карьера во времени.

Этапы построения 3D-модели:

1. Формирование облака точек на основе фотограмметрической обработки аэрофотоснимков (Structure-from-Motion) и данных наземных измерений создаётся трёхмерное облако точек, описывающее поверхность бортов, уступов и откосов.

2. Геопривязка и трансформация координат. Облако точек приводится к единой системе координат с использованием опорных геодезических пунктов, полученных по GNSS-наблюдениям.

3. Построение цифровой модели рельефа

На основе облака точек формируется:
нерегулярная триангуляционная сеть (TIN);
либо регулярная цифровая модель (GRID).

Это позволяет получить непрерывное представление поверхности карьера.

4. Создание 3D-поверхности карьера

Выполняется генерация полигональной (mesh) модели, отражающей:

- геометрию бортов;
- конфигурацию уступов;
- углы откосов.

Для повышения наглядности модель может быть дополнена ортофотопланами, полученными с БПЛА.

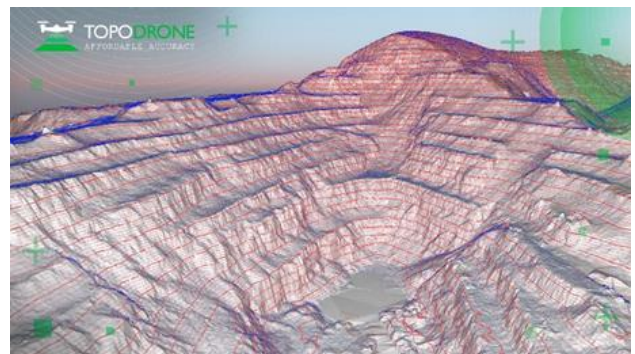


Рис.2 Геоинформационное моделирование

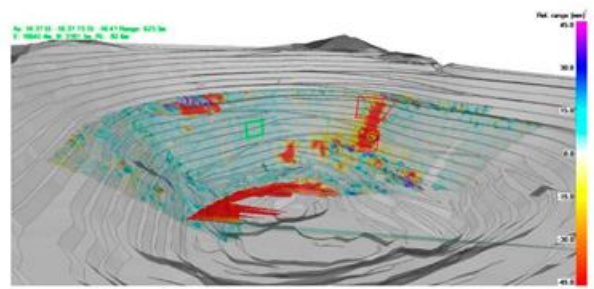


Рис.3 Анализ деформационных процессов

Анализ деформаций направлен на выявление закономерностей изменения состояния бортов карьера и оценку их устойчивости. Пространственно-временной (4D) анализ.

Ключевым элементом является анализ динамики деформаций во времени.

Формируется временной ряд наблюдений для каждого контрольного пункта, что позволяет:

- выявлять тенденции (стабилизация / ускорение деформаций);
- фиксировать критические изменения состояния массива;
- прогнозировать развитие деформационных процессов.

При этом особое внимание уделяется участкам с нелинейным характером деформаций, что может свидетельствовать о приближении предельного состояния устойчивости. Выявление опасных зон.

На основе рассчитанных параметров и интегрального показателя устойчивости выполняется классификация участков карьера по степени риска:

- устойчивые зоны (минимальные смещения);
- условно устойчивые зоны (умеренные деформации);
- неустойчивые зоны (интенсивные смещения и рост скорости).

Критерием выделения опасных зон является превышение допустимых значений смещений и скоростей деформаций.

Основные результаты анализа

В результате применения предложенной методики:

• получены детализированные пространственно-временные модели деформаций бортов карьера

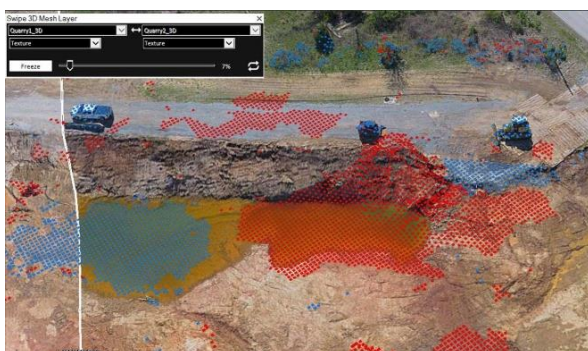
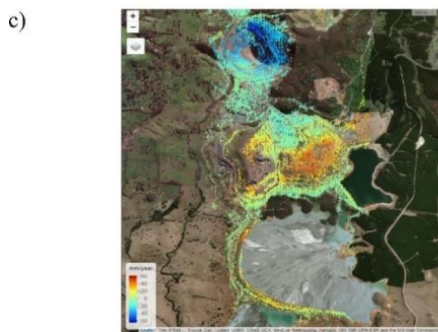
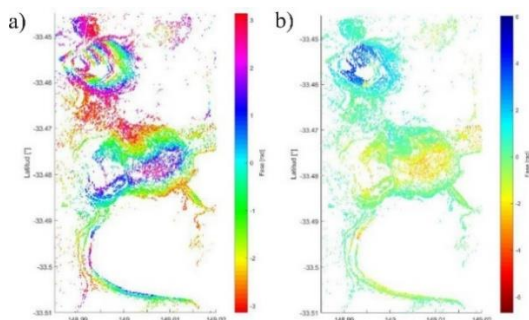
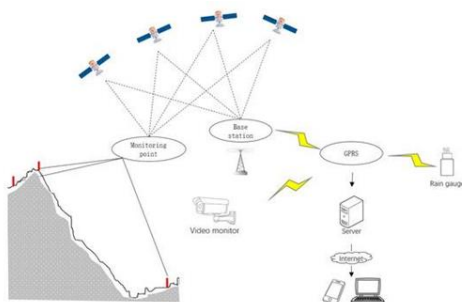
• выявлены зоны активных смещений, приуроченные к участкам с неблагоприятными геометрическими и геомеханическими условиями

• установлены закономерности развития деформационных процессов, включая увеличение скорости смещений с ростом высоты борта и угла откоса

• зафиксированы участки с ускоренным развитием деформаций, требующие повышенного контроля

В результате применения предложенной методики:

- получены пространственно-временные модели деформаций
- выявлены зоны активных смещений



• установлены закономерности развития деформационных процессов

Интеграция данных различных методов позволила повысить точность оценки деформаций по сравнению с традиционными подходами.

Особую эффективность показало использование БПЛА в сочетании с ГИС-технологиями, что обеспечило высокую детализацию моделей и оперативность обновления информации. [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика комплексного мониторинга деформаций бортов карьеров, основанная на интеграции маркшейдерско-

геодезических наблюдений, дистанционных методов и ГИС-технологий. Показано, что совместное применение GNSS, электронной тахеометрии, нивелирования и БПЛА значительно повышает точность и оперативность оценки деформационных процессов.

Предложенный подход обеспечивает эффективное выявление опасных зон и более достоверную оценку устойчивости бортов по сравнению с традиционными методами. Внедрение методики способствует повышению безопасности и эффективности горных работ.

KARYER BORTLARIDAGI DEFORMATSIYALARNI ZAMONAVIY RAQAMLI TEKNOLOGIYALAR VA GEOINFORMATSION MODELLASHTIRISH ASOSIDA KOMPLEKS MONITORING VA TAHLIL QILISH METODIKASINI ISHLAB CHIQUISH

Sh.A. Ochilov, I.S. Kushnazorov, O.X. Abbosxonova, M.M. Tuxtayeva

Geologiya fanlari universiteti, Toshkent sh., O'zbekiston

ANNOTATSIYA Maqolada karyer bortlarida yuz beradigan deformatsion jarayonlarni monitoring qilishning zamonaviy yondashuvlari ko'rib chiqilgan bo'lib, ular marksheyderlik-geodezik kuzatuvlar hamda geoinformatsion modellashtirishni integratsiyalashga asoslanadi. Tadqiqotning dolzarbligi kon ishlarining jadallashuvi sharoitida karyer bortlarining barqarorligini baholash aniqligi va tezkorligini oshirish zarurati bilan izohlanadi. Kompleks monitoring metodikasi taklif etilgan bo'lib, u zamonaviy raqamli texnologiyalar (GNSS, elektron taxometriya, uchuvchisiz uchish apparatlari – BPLA) yordamida olingan ma'lumotlarini yig'ish, qayta ishlash va tahlil qilishni o'z ichiga oladi. Shuningdek, ma'lumotlarni geoinformatsion muhitda integratsiyalash hamda keyinchalik deformatsiyalarning raqamli modellarini yaratishga mo'ljallangan algoritmi ishlab chiqilgan.

KALIT SO'ZLAR marksheyderlik monitoringi, karyer bortlari deformatsiyasi, GIS, geodeziya, BPLA, raqamli texnologiyalar, bort barqarorligi

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR COMPREHENSIVE MONITORING AND ANALYSIS OF QUARRY SLOPE DEFORMATIONS BASED ON MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES AND GEOINFORMATION MODELING

Sh.A. Ochilov, I.S. Kushnazorov, O.Kh. Abboskhonova, M.M. Tukhtayeva

University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT This article examines modern approaches to monitoring deformation processes of open-pit mine slopes, based on the integration of mine surveying and geodetic observations with geoinformation modeling. The relevance of the study is the need to improve the accuracy and efficiency of slope stability assessment under conditions of intensified mining operations. A comprehensive monitoring methodology is proposed, including the acquisition, processing, and analysis of spatiotemporal data obtained using advanced digital technologies such as GNSS, electronic total stations, and unmanned aerial vehicles (UAVs). An algorithm for data integration within a geoinformation environment has been developed, followed by the construction of digital deformation models. The results obtained enhance the reliability of geodynamic process assessment and enable the timely identification of potentially hazardous zones, thereby contributing to improved safety in mining operations.

KEYWORD mine surveying monitoring, open-pit slope deformation, GIS, geodesy, UAV, digital technologies, slope stability

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии. <https://www.uzgeolcom.uz>
2. Xiaoli Ding et al. GNSS-based deformation monitoring: A review. Engineering Geology, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.10.012>
3. В. В. Ржевский [2] Открытые горные работы. – Москва: Недра, 1985. <https://www.elibrary.ru>
4. Zhilin Li, Zhu Q., Gold C. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. – CRC Press, 2005. Paul R. Wolf, Bonnie A. Dewitt <https://doi.org/10.1201/9780203493188>

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Ochilov Shuhratilla	– Head of the Department of Geological Exploration Techniques and Technology, DSc, Associate Professor, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0000-0002-5611-482X E-mail: o.shuhrat@mail.ru
Khushnazarov Ibrohim	– Senior lecturer, Head of the Department of Mining and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0009-0008-2651-7645, E-mail: kushnazarov1109@gmail.com
Abboskhanova Orzugulxon	– Department of Mining and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0009-0000-1624-5369 , E-mail: abbasxonova97@mail.ru
Tukhtayeva Makhfuza Muminovna	– Department of Mining and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0009-0005-0834-3643, E-mail: maxfuzatuxtayevaO@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ

У.М. Халикулов, Ш.А. Мухаметджанова, С.Р. Худояров, М.З. Убайдуллаев, Е.И. Руклинская

*Алмалыкский государственный технический институт, Алмалык, Узбекистан
Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», Алмалык, Узбекистан*

Doi: 10.5281/zenodo.20280009

АННОТАЦИЯ В работе представлены результаты анализа влияния горячебрикетированного железа (ГБЖ) на формирование химического состава хромомолибденовой стали при выплавке в дуговой сталеплавильной печи. Целью исследования явилось установление закономерностей распределения вредных примесей таких как фосфор, сера и азот при изменении доли ГБЖ в металлической шихте. Экспериментальная база включала массивы данных промышленных плавок с содержанием ГБЖ от 0 до 35%. Проведены термодинамические расчёты равновесного коэффициента распределения фосфора и выполнена статистическая обработка полученных зависимостей. Показано, что увеличение доли ГБЖ способствует снижению концентрации фосфора в металлической фазе вследствие формирования более окислительных и основных шлаков, которые обеспечивают рост коэффициента распределения фосфора между шлаком и металлом. Установлено, что в процессе дефосфорации повышение температуры выпуска снижает эффективность удаления фосфора и требует контроля теплового режима, а также перемешивания. Дополнительно выявлено закономерное уменьшение содержания серы, азота, при увеличении доли ГБЖ, что объясняется низкой концентрацией этих элементов в самом горячебрикетированном железе и разбавляющим эффектом по отношению к лому. Полученные результаты подтверждают технологическую целесообразность использования ГБЖ для повышения чистоты и стабильности химического состава стали, оптимизации процессов дефосфорации и снижения риска превышения нормативного содержания вредных примесей в готовом полупродукте.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА горячебрикетированное железо, выплавка стали, дефосфорация, шихтовый материал, чистота металла, вредные примеси, металлошихта.

ВВЕДЕНИЕ

Современное сталеплавильное производство предъявляет всё более жёсткие требования к чистоте металла по вредным и цветным примесям, что связано с их влиянием на механические свойства конечной продукции [1]. Эффективным инструментом для получения стали высокой степени очистки и стабильным химическим составом, является применение горячебрикетированного железа (ГБЖ) при выплавке стали в качестве шихтового материала [2]. Работы последних десятилетий подтверждают технологические преимущества применения ГБЖ. Так, в исследованиях [3] изучены механизмы перехода фосфора в процессе плавки DRI/HBI в электродуговых печах и показано, что коэффициент распределения фосфора между металлом и шлаком зависит от основности шлака и температуры плавки. Установлено, что оптимальным условием эффективной дефосфоризации является использование шлака с содержанием 25–30% FeO, 4% MgO, основность которого равна 2,5 – 3, а температура плавки 1625–1635 °С. Аналогичные выводы приводятся в исследовании [4], где показано, что эффективность удаления фосфора и серы из металла при плавке с DRI/HBI зависит от их степени восстановления. Оптимальные результаты были получены при средней степени восстановления равной 50%. При этом показателе достигается комплексное удаление фосфора в пределах 33% и серы 50%.

Экспериментально доказано [5], что увеличение доли ГБЖ в металлошихте способствует снижению содержания фосфора и серы в готовом металле за счёт более эффективного шлакообразования. Отечественные специалисты [6] по результатам плавки стали в АО «Узметкомбинат» описали тенденцию уменьшения содержания фосфора и серы при доле ГБЖ свыше 30%. В работе [7] проанализировано влияние добавки горячебрикетированного железа в металлошихту электродуговой печи на качество стали и технико-экономические показатели плавки. Исследования показали, что увеличение доли ГБЖ способствует повышению чистоты получаемого металла по примесям, однако сопровождается ухудшением отдельных технологических показателей, включая рост удельного расхода энергоресурсов и вспомогательных материалов, что требует оптимизации режима плавки. Исследованиям влияния различных металлических шихтовых материалов, включая лом, DRI и HBI на показатели электросталеплавильного процесса, посвящены работы [8-10]. Установлено, что кроме снижения содержания вредных примесей, применение DRI/HBI способствует изменению шлакового режима. Так, процессы фильтрации и коалесценции в парогазовом пространстве оказывают влияние на условия массо- и

теплообмена. Особенно, такое влияние необходимо учитывать при плавке стали с повышенной долей ГБЖ.

Имеются результаты и по исследованиям влияния повторного окисления DRI/HBI на распределение цветных металлов. В работе [11] показано, что повторное окисление приводит к формированию оксидных фаз на поверхности частиц DRI/HBI. Это влияет на кинетику перехода элементов между металлической фазой, шлаком и оксидами. В связи с этим, распределение цветных металлов и примесей в процессе плавки может изменяться, что подчёркивает необходимость контроля степени окисления DRI/HBI при загрузке в электропечи для обеспечения стабильного химического состава стали и минимизации нежелательных примесей.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что в отличие от металлического лома, ГБЖ имеет стабильные и контролируемые параметры по содержанию фосфора, меди, олова, никеля и других примесей [12,13]. Такие преимущества, позволяют использовать его как инструмент для получения более «чистого» по составу металла.

Настоящая работа является продолжением экспериментальных исследований [6] и посвящена влиянию добавки ГБЖ на формирование химического состава выплавляемого полупродукта и распределение вредных примесей, в том числе и цветных металлов, между металлической и шлаковой фазами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований явились вредные примеси в хромомолибденовой стали при ее выплавке в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) с различной долей ГБЖ в металлошихте. Предметами исследований были термодинамические и кинетические закономерности дефосфорации, сопутствующие процессы удаления примесей, зависящие от состава шлака, его основности, содержания FeO и температуры при выплавке стали с добавкой ГБЖ.

Выплавка стали проводилась в печи ДСП-100УМК. В анализ были включены массивы от 55 до 209 плавков хромомолибденовой стали. Состав шихты варьировался от 0 до 40% ГБЖ, в зависимости от условий конкретного эксперимента. Для каждого параметра проведён количественный анализ, построены диаграммы и графики, отражающие зависимости между долей ГБЖ и концентрацией соответствующих примесей, а также выполнены термодинамические и статистические расчёты [14]. В ряде случаев оценивалась степень приближения к равновесному состоянию, что позволило судить о полноте протекания процессов, таких как дефосфорация.

Особое внимание уделено влиянию ГБЖ на распределение фосфора между металлом и

шлаком. Для этого проведён расчёт равновесного коэффициента распределения фосфора с использованием фундаментальных термодинамических соотношений [15], включая реакцию: $[P]1\% + 5/2FeO(ж) = PO_{2,5(ж)} + 5/2Fe(ж)$, и соответствующее выражение для константы равновесия (1), а также зависимость между массовой долей фосфора в шлаке и концентрацией в металле (2). Полученные расчёты были сопоставлены с фактическими данными, что позволило оценить степень достижения равновесия и выявить условия, при которых дефосфорация осуществляется наиболее эффективно.

$$K_p = \left(a_{PO_{2,5}} a_{FeO_2}^5 \right) / \left(a_{[P]} a_{FeO_2}^5 \right) = \left(x_{P^5} + \gamma_{P^5} a_{Fe_2}^5 \right) / \left([P] f_P a_{FeO_2}^5 \right), \quad (1)$$

где $a_{Fe_2}^5 \approx 1$.

Примем, что начальное содержание фосфора в шлаке равно нулю, тогда:

$$[P]_K = ([P]_H + \lambda(P)_H) / (1 + \lambda L_p) \quad (2)$$

Согласно фундаментальным положениям термодинамики гетерогенных систем, эффективность протекания процесса дефосфорации в системе металл–шлаковая фаза определяется совокупным воздействием температурного фактора, уровня окислительно-восстановительного потенциала шлака и его кислотно-основного состояния [16]. Каждый из указанных параметров оказывает прямое влияние на положение равновесия реакций типа (2) и величину соответствующей равновесной константы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ влияния указанных параметров на остаточную концентрацию фосфора в жидком металлическом расплаве показал, что с увеличением доли окислов железа в шлаковой фазе от 20 до 40 % наблюдается закономерное снижение как экспериментально фиксируемой концентрации фосфора в жидком металлическом расплаве с 0,010 до 0,008%, так и его равновесного содержания с 0,005 до 0,002%. Эти данные указывают на существенное усиление окислительно-модифицирующей способности шлакового расплава по отношению к фосфору. Такая динамика отражает возрастание потенциала кислородосодержателя в (2), способствующего смещению равновесия в сторону образования устойчивых фосфорсодержащих оксидных форм. Степень термодинамической реализуемости процесса дефосфорации, оценённая по критерию приближения к равновесию α , составляет $\alpha(20\%) = 2$ и $\alpha(40\%) = 4$, что демонстрирует выраженное усиление шлакофильной

направленности распределения фосфора с ростом окисленности.

Исследования по влиянию термодинамического потенциала системы на структурно уравновешенное и фактическое содержание фосфора в расплаве на стадии выпуска плавки показали, что с повышением температуры металлической ванны наблюдается увеличение как достигнутого уровня растворённого фосфора в жидкой фазе, так и его предсказанной равновесной концентрации. Это свидетельствует о температурной чувствительности окислительно-восстановительного процесса удаления фосфора сопровождающийся смещением равновесия (2) в сторону возвратного растворения фосфора. Расчётные значения степени приближения к термодинамическому равновесию α при температурах 1570°C и 1680°C составляют, соответственно, $\alpha(1570^\circ C) = 0,0070/0,0030 = 2,3$ и $\alpha(1680^\circ C) = 0,01/0,005 = 2,0$, демонстрируя снижение интенсивности дефосфорации с ростом теплового состояния расплава.

Изучая зависимость содержания фосфора в металлическом полупродукте от величины основности шлаковой фазы было установлено, что с увеличением базового модуля шлаковой фазы (основности) наблюдается закономерное снижение как фактической, так и термодинамически обоснованной (равновесной) концентрации фосфора в металлической фазе. Это указывает на интенсификацию массопереносных процессов, сопровождающих дефосфорацию. Интерпретация зависимости коэффициента распределения фосфора между фазами металл–шлаковый расплав от величины основности, показала увеличение основности шлака, что способствует удалению фосфора. Однако, реальный процесс в дуговой печи ограничен кинетикой и требует комплексного регулирования состава и перемешивания, чтобы приблизиться к равновесным значениям.

С увеличением содержания оксидов железа (FeO) в шлаковой фазе отмечается рост как фактического, так и равновесного коэффициента распределения фосфора между металлом и шлаком, что указывает на интенсификацию процесса дефосфорации. Анализ полученных данных показал, что характер изменения коэффициента распределения фосфора при варьировании концентрации FeO в шлаке согласуется с термодинамическими закономерностями равновесного фазового взаимодействия в системе «металл–шлаковая фаза».

Таким образом, результаты проведённых исследований показывают, что увеличение доли горячегбрикетированного железа в шихтовом составе существенно влияет на ход и эффективность электросталеплавильного процесса при выплавке стали. Наблюдается выраженное усиление дефосфорации за счёт роста окислительного потенциала шлаковой фазы и

увеличения её основности, т.е. при повышении содержания оксидов железа коэффициент распределения фосфора возрастает, а равновесная и фактическая концентрации фосфора в металле снижаются. Однако фактические значения остаются ниже термодинамически прогнозируемых вследствие диффузионно-кинетических ограничений и неустойчивости шлаковой матрицы на заключительных стадиях плавки. Повышение температуры металлической ванны, напротив, снижает эффективность дефосфорации, что отражает температурную чувствительность реакции и смещение равновесия в сторону возвратного растворения фосфора.

Анализ содержания вредных примесей в зависимости от доли ГБЖ, например, в случае с азотом, выявил тенденцию к снижению его концентрации в полупродукте, что объясняется повышением степени газообмена за счёт интенсификации обезуглероживания и образования оксида углерода. Что касается серы, то в отдельных сериях наблюдается её увеличение, обусловленное необходимостью повышения доз углеродсодержащих материалов при добавке ГБЖ. Однако в других массивах с увеличением доли ГБЖ содержание серы, напротив, уменьшалось, что подтверждает влияние состава дополнительных шихтовых компонентов. Рост доли ГБЖ в шихте прямо способствует уменьшению концентрации растворённого азота в

стали. Это подтверждает технологическую целесообразность использования ГБЖ как более «чистого» по азоту сырья при выплавке конструкционных и качественных сталей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Включение ГБЖ в состав шихтового материала оказывает комплексное положительное влияние на металлургические характеристики процесса выплавки стали и позволяет получать стальной полупродукт с более стабильным и прогнозируемым химическим составом, снижая риски превышения допустимого содержания вредных примесей и повышая общую технологическую управляемость процесса. Полученные результаты показывают снижение содержания растворённого азота, объясняемое более низким его уровнем в ГБЖ и интенсификацией газообмена, тогда как поведение серы определяется балансом между дозировкой углеродсодержащих добавок и составом шлакообразующих материалов. Увеличение доли ГБЖ приводит к устойчивому снижению концентрации фосфора в металлической фазе за счёт формирования более окислительной и основной шлаковой среды, что интенсифицирует процессы дефосфорации и обеспечивает более высокие коэффициенты распределения фосфора между металлом и шлаком.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Li Z., Ahman M., Algers J., Nilsson L.J. Decarbonizing the Asian steel industries through green Hot Briquetted Iron trade // *Resources, Conservation & Recycling*. 2025. Vol.219. P.11. DOI:10.1016/j.resconrec.2025.108275.
2. Никитченко Т.В., Поляков А.С., Тимофеева А.С. Увеличение прочности горячебрикетированного железа за счет изменения его формы // *Черная металлургия*. № 11. 2017. С. 52-56.
3. Hassan A.I., Kotelnikov G.I., Semin A.E., Megahed G.M. Phosphorous behavior in electric arc furnace steelmaking with the melting of high phosphorous content direct reduced iron // *Сборник трудов 24 -й Международной конференции по металлургии и материалам*. Брно, Чешская Республика. 12 января 2015. С. 73-79.
4. Dishwar R.K., Sinha O.P. Effect of partially reduced highly fluxed DRI pellets on impurities removal during steelmaking using a laboratory scale EAF // *Journal of Min. Metall. Sect. B-Metall.* 2022. 58 (1). P. 63 – 73. DOI:10.2298/jmmb210319050d.
5. Elkader M., Fathy A., Eissa M., Shama S. Effect of Direct Reduced Iron Proportion in Metallic Charge on Technological Parameters of EAF Steelmaking Process // *ISIJ International*. 2016. Vol.5. No.2. P. 2016-2024.
6. Khalikulov U.M., Khasanov A.S. Improvement of the mechanical properties of chromium-molybdenum steels using a modifier // *Композиционные материалы*. №1. 2025. С. 51-56.
7. Babenko A.A. Magnesia slags formation by the periods of smelting in EAF and their part in slag sponging efficiency // *Proceedings of the XII Congress of steel-makers*. - Moscow: Metallurgizdat. 2013. P. 106–109.
8. Luckhoff J., Apfel J., Buttler J. Application of different kinds of metal charge materials in EAF operation // *Chernye metally*. 2017. No.10. P. 28–33.
9. Khalikulov U.M., Saidova K A. Study of Filtration Processes with Coalescence in the Steam Space // *Proceedings of the Republican Scientific and Technical Conference "Mining and Metallurgical Complex: Achievements, Problems, and Prospects for Innovative Development"*. - Navoi. 2016. P. 115-116.
10. Korostelev A.A., Kotelnikov G.I., Semin A.E., Bozheskov A.N. Analysis of HBI effect in charge on technological parameters of EAF melting // *Chernye Metally*. 2017. №10. <https://www.rudmet.ru/journal/1711/article/29372/?language=en>.
11. Kieush L., Lesiak S., Rieger J., Leitner M., Schmidt L., Daghighaleh O. Reoxidation Behavior of the Direct Reduced Iron and Hot Briquetted Iron during Handling and Their Integration into Electric Arc Furnace Steelmaking: A Review // *Metals*. 2024. 14, 873. P. 27. DOI:10.3390/met14080873.

12. Sung J.B., Joo H.P. Sustainable hot metal production by solid and liquid carbon from H₂ direct reduced iron (H₂ DRI) in electric smelting furnace conditions // Journal of Cleaner Production. 2025. Vol.524:146490. DOI:10.1016/j.jclepro.
13. Bersenev I.S., Vokhmyakova I.S., Borodin A.V., Sivkov O.G., Stepanova A.A. & Kirienkov A.N. Prediction of the Quality of Hot Briquetted Iron (HBI) Based on Data on the Material Composition of Pellets // Steel in Translation 2022.Vol.52. P. 673–676.
14. Хасанов А.С., Халикулов У.М. Термомеханическая обработка изделий из хромомолибденовой стали // Композиционные материалы. №1. 2025. С. 59-66.
15. Соболев В.Ф., Чичко А.А., Андрианов Н.В., Муриков М.А. Термодинамика химических процессов распределения фосфора в процессе плавки в сталеплавильных печах // Литье и металлургия. №2. 2006.
16. Chen C., Zhang L. and Lehmann J. Thermodynamic Modelling of Phosphorus in Steelmaking Slags High Temp // Mater. Proc. 2013. 32(3): P. 237–246 DOI: 10.1515/htmp-2012-0129.
17. Andre N., Mohammed A., Seetharaman S., Richard J. Phosphorus Equilibrium Between liquid iron and CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-FeO-P₂O₅ slags: EAF slags, the effect of alumina and new correlation // Metals. 2019. 9(2), 116 <https://doi.org/10.3390/met9020116>.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Khudoyarov Suleyman Rashidovich	– Deputy Director, Almalyk Branch of NUST MISIS (National University of Science and Technology “MISIS”), 56 Amir Temur Avenue, Almalyk, Uzbekistan. ORCID: 0000-0002-1022-9947 e-mail: suleyman0677@yandex.ru
Khalikulov Utkir Mirzakamalovich	– Acting Rector of Almalyk State Technical Institute, 45 Mirzo Ulugbek Street, Almalyk, Uzbekistan. e-mail: utkirhm@mail.ru
Muxametjanova Shoira Abdusamatovna	– PhD, Associate professor of the department of Metallurgy; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: 0000-0002-6184-6443 e-mail: shoira.muhamet@gmail.com
Ubaydullaev Muzaffar Zaynullaevich	– Assistant, Department of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals Metallurgy, Almalyk Branch of NUST MISIS (National University of Science and Technology “MISIS”),56 Amir Temur Avenue, Almalyk, Uzbekistan. ORCID: 0009-0005-5575-5130 e-mail: muzaubaydullaev@gmail.com
Ruklinskaya Elena Igorevna	– Assistant, Department of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals Metallurgy, Almalyk Branch of NUST MISIS (National University of Science and Technology “MISIS”),56 Amir Temur Avenue, Almalyk, Uzbekistan. ORCID: 0009-0009-3309-975X e-mail: ruklinskayaelena97@yandex.ru

KONCHILIK ISHLARINI STRATEGIK REJALASHTIRISHNING MARKSHEYDERLIK TA’MINOTI

S.S. Sayyidqosimov, M.R. Xakberdiyev, R.O. Abduvxabov, Z.R. Ermanov, B.Z. Baxromov

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Doi: [10.5281/zenodo.20280037](https://doi.org/10.5281/zenodo.20280037)

ANNOTATSIYA Maqolada konchilik ishlarini strategik rejalashtirishda marksheyderlik ta’minotining o‘rni va innovatsion usullarni qo‘llash masalalari yoritilgan. Mualliflar 3D EXPERIENCE platformasi yordamida konchilik ishlarini loyihalashning 8 bosqichli algoritmini taklif etadilar. Tadqiqotda mineral resurslar modelini yaratish, blok-modellarni optimallashtirish va karyerning yakuniy konturlarini loyihalashda raqamli texnologiyalarning samaradorligi asoslab berilgan.

KALIT SO‘ZLAR Konchilik ishlari strategik rejalashtirish, marksheyderlik ta’minoti, 3D EXPERIENCE platformasi, mineral resurslar modeli, optimallashtirish, karyer loyihasi, raqamli texnologiyalar, blok-model, rentabellik va risklar.

KIRISH

Konchilik ishlarini loyihalash va rivojini rejalashtirish uchun birlamchi ma’lumotlar sifatida qazib olinadigan foydali qazilmaning strukturaviy,

sifat ko‘rsatkichlari va texnologik parametrlari tasvirlangan planlar qabul qilingan.

Mazkur kon-geometrik hujjatlarda konning geologik sharoitlari raqamli tarzda tasvirlangan bo‘lib,

ular loyihaviy yechimlar qabul qilish uchun asos vazifasini bajaradi.

Konning geologik sharoitini avvaldan bilish konchilik ishlarining rivoji yo‘nalishi qazib olinadigan ruda sifatiga qo‘yilgan talablardan kelib chiqib tanlash imkonini beradi [1,2]. Shuning uchun ham konchilik ishlarini rejalashtirishdan maqsad:

1. Foydali qazilma konini qazib olishni to‘g‘ri va oqilona loyihalashtirish;

2). Foydali qazilmadagi foydali komponentani minimal nobudgarchiligini ta‘minlaydigan ravon qazib olish texnologiyasini qo‘llash;

3. Foydali qazilmani qazib olish jarayonida uning fizik-kimyoviy xossalari bo‘yicha bir xilligiga va o‘zgarmasligiga erishish;

4. Foydali qazilmani qazib olish va qayta ishlash rejasini optimallashtirish.

Konchilik korxonasini loyihalashtirish bosqichida batafsil razvedka ma‘lumotlari asosiy hisoblanadi. Konni ekspluatatsiya qilish bosqichida ya‘ni konchilik ishlarini istiqbolli rejalashtirish davrida esa batafsil va ekspluatatsion razvedka ma‘lumotlariga tayaniladi, joriy rejalashtirishda mazkur ma‘lumotlar portlatiladigan burg‘iquduqlardan namunalarga oid qo‘shimcha ma‘lumotlar bilan to‘ldiriladi. Bundan tashqari rejalashtirishning har ikkala bosqichida texnologik namunalashdan olingan ma‘lumotlar keng qo‘llaniladi [3,4].

TAHLIL

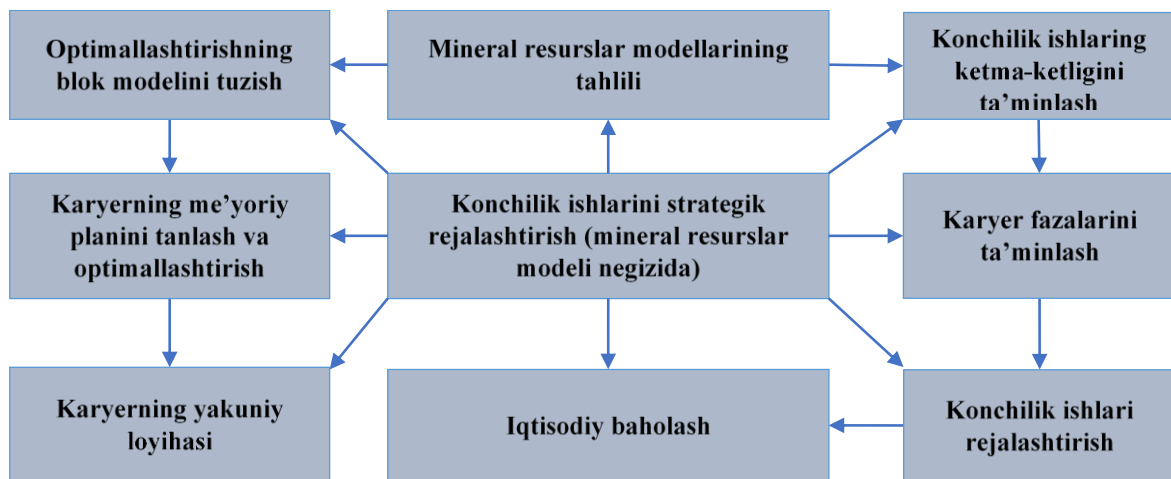
Foydali qazilmani texnologik xossalarini inobatga olib konchilik ishlarining rivojini rejalashtirish yer osti resurslarini to‘liq qazib olish va mineral xomashyoni

qayta ishlashda foydali komponentani maksimal ajratib olish uchun zamin yaratadi.

Qayd etilgan razvedka ma‘lumotlaridan foydalanib tegishli loyihalash va rejalashtirish uchun zarur bo‘lgan hujjatlar, shu jumladan kon geometrik grafiklar yaratiladi. Istiqbolli rejalashtirish uchun grafiklar 1:5000-1:2000, joriy rejalashtirish uchun esa 1:1000 va 1:500 masshtablarga tayyorlanadi. Grafiklar tarkibiga foydali qazilmani namunalash planlari, konning ust va ost sirtlarining gipsometrik planlari, foydali komponenta ko‘rsatkichlarining izochiziqlarida ifodalangan sifat ko‘rsatkichi plani, kon zaxirasi moduli, konchilik ishlari planlari, geologik qirg‘imlar kiradi. Grafiklarni tuzishdan oldin mavjud ma‘lumotlar statistik va matematik ishlab chiqilib kon ko‘rsatkichlarining har biri baholanadi va tasvirlash uchun tanlab olinadi. Kon ko‘rsatkichlarining ishonchli qiymatlari zamon va makon o‘lchamida tasvirlanib, rejalashtirishning marksheyderlik ta‘minotini tashkil etadi va ular mineral resurslar modeli vazifasini bajaradilar.

Bugungi kunda konchilik ishlarining ishonchli rejasini ishlab chiqish konchilik korxonasi uchun uzoq muddatli muvaffaqiyat garovidir. Shuning uchun ham konchilik korxonasining istiqboldagi rivojining marksheyderlik ta‘minoti bo‘lajak ravon faoliyat olib borishning asosiy talablaridan hisoblanadi [5].

Jumladan, mavjud marksheyderlik, geologik va texnologik ma‘lumotlarni o‘zida ifodalovchi 3D EXPERIENCE platformadan foydalanish maqsad sari eng qisqa yo‘lini ta‘minlab beradi (1-rasm).



1-rasm. Konchilik ishlarini rejalashtirish jarayonlarining bosqichlarining marksheyderlik ta‘minoti algoritmi

METADOLOGIYA VA USULLAR

Konchilik ishlarini loyihalash va ularning rivojini rejalashtirilgan marksheyderlik ta‘minotini birinchi bosqichida geologlar tomonidan taqdim etilgan mineral xomashyo modeli tahlil qilinib, keng qamrovli stastik ma‘lumotlar va qonuniyatlar olinib katta sonlar to‘plamini taqqoslash uchun jarayonlarni

avtomatlashtirish va sun‘iy intellektdan foydalanish tavsiya etiladi. Natijada mineral resurslar modelining tuzilmasi va tarkibi chuqur anglanib bolajal bisqichlar uchun zarur bo‘lgan ma‘lumotlar generatsiyalanadi.

Marksheyderlik ta‘minotining ikkinchi bosqichida optimallashtirish uchun model bloki yaratiladi. Buning uchun foydalaniladigan atribular hisoblanib konchilik ishlari, mineral xomashyoni qayta ishlash

harajatlari, foydali qazilmani qazib olishda sodir bo'ladigan sifatsizlanish va nobudgarchilik hamda texnologik atributlar optimallashtiriladi. Ushbu bosqichda shuningdek, konchilikdagi qazib olish birligidagi selektiv qazib olishga mos ravishda blok-model qayt ko'rib chiqiladi. Mazkur bosqich jarayonlari uzoq muddatli bolgani uchun, ularni markaziy platforma ma'lumotlari doirasida avtomatlashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Natijada jarayonda foydalaniladigan barcha atributlarni o'z ichiga oluvchi optimallashtirilgan blok modelga erishiladi.

Uchinchi bosqich karyerning yakuniy konturini tanlash va optimallashtirishga bag'ishlanadi. Buning uchun karyerning bir qator qatlamlari yaratilib, materiallarning mos xossalari tahlil qilinadi. Optimallashtirish ag'darma ishlar chegarasi koeffitsienti va nisbiy harajatni shuningdek, qazib olish harajatlari, mahsulot narxi va atrof-muhitga yetkaziladigan zararni o'z ichiga oladi. Natijada belgilangan mezonlarga mos ravishda karyer chegarasini tanlashga hujjatlar ko'rinishida rudadagi foydali komponenta ko'rsatkichini statistik tahlili va karyerning ko'pchilik foydaga oid qatlamlarini inobatga olish imkoni yaratiladi.

To'rtinchi bosqichda karyerning yakuniy loyihasini tuzishdagi marksheyderlik ishlar ko'rib chiqiladi, ya'ni karyer borti va pog'onasining qiyalik burchaklari, himoya bermasining kengligi, texnologik yo'lning qiyaligi va kengligi, karyer bortining shakli kabi me'zonlarga tayanib yakuniy loyiha shakllantiriladi. Natijada topografik sirtga integrallashgan, tog' jinslari tashlanmalari va foydali qazilma omborlaridan iborat triangulyatsion zanjirga ega bo'linadi.

Zamonaviy loyihalash jarayonida parametrik usullar keng qo'llanilmoqda. Bu usullar tezkor va ko'p variantli loyihalarni yaratish qobiliyatiga ega bo'lganligi sababli karyerning eng afzal loyihasini tanlash uchun zamin yaratadi [6].

Marksheyderlik ta'minoti navbatdagi bosqichda konchilik ishlarining ketma-ketligini belgilashga xizmat qiladi. Shu davrgach ayon bo'lgan informatsiyalar asosida karyer rivojidadagi konchilik ishlari fazalarini belgilash mumkin bo'ladi. Ushbu bosqichda karyerning yakuniy dizayni, karyer chekli konturining loyihasi va fazalarga qo'yilgan cheklovlar bilan chegaralanishi mumkin. Masalan, konchilik ishlarining o'lchami, soni, boshlang'ich holati, yo'nalishi, shuningdek, loyihaga doir amaliy ekpluatatsion cheklovlar natijada rejalashtirish jarayonida foydalaniladigan konchilik ishlarining ketma-ketligiga doir karyer fazalarining qator qatlamlariga erishiladi. Shundan keyin oltinchi bosqichda ayon bo'lgan mavjud mezonlardan foydalanib va amaliy ekpluatatsion konsepsiyalarni qo'llab, karyer fazalarining loyihasi yaratiladi. Bu amal ishonchli bo'ladi, qachonki 3D EXPERIENCE platformasi parametrik loyihalash funksiyasi mavjud bo'lib, o'z o'rnida qo'llanilsa.

Konchilik ishlarini rejalashtirish karyerining oraliq jarayonlarining loyihasi ishlab chiqilgandan keyin,

konchilik ishlarini bajarish grafigi maqomida amalga oshirishda va unga rudnikni loyihalashning barcha me'zonlari, shu jumladan, qurilmalarning quvvati, konchilik ishlarini bajarishdagi ilgari ketish, yoki orqada qolish, konchilik ishlarining chuqurlashib borish tezligi inobatga olinadi. Bundan tashqari grafikni ustuvor va samarali bajarilishini ta'minlash uchun uni bajarilgan ishlar nominal tashkil etuvchilarini o'sishi yoki kamayishi bilan bog'lash kerak bo'ladi. Natijada konchilik ishlarini grafigini bajarish strategiyasi jadval, chizmalar va geofazoviy ma'lumotlar shaklida nomoyon bo'ladi.

Oxir oqibatda yakuniy bosqichda konchilik ishlarini olib borish grafigi negizida uning batafsil moliyaviy modeli tuzilib, ishlab chiqarishdagi rentabelligi aniqlanib, variantlar tahlil qilinadi, statistik va ehtimollik usullaridan foydalangan holda operatsion, ekologik va moliyaviy tavakkallar baholanadi.

Demak, konchilik ishlarini strategik rejalashtirish 8 bosqichdan iborat bo'lib, jarayonni optimallashtirish va jadallashtirish maqsadida raqamli texnologiyalar, statistik tahlil, modellashtirish, dasturiy ta'minot va ma'lumotlarni rejalashtirishning konchilik ishlari jarayonlariga transfer qilish kabi innovatsion usullarni qo'llashni o'z ichiga oladi.

Konchilik korxonalarida, jumladan, karyerlarda konchilik ishlarini loyihalash va rejalashtirishni optimallashtirishni marksheyderlik ta'minoti yer osti boyliklaridan oqilona foydalanish va bexatar olib borishni yangi bosqichga olib chiqishga xizmat qiladi.

XULOSA

Konchilik ishlarini strategik rejalashtirishda marksheyderlik ta'minotini zamonaviy bosqichga olib chiqish korxonaning uzoq muddatli muvaffaqiyatini belgilovchi asosiy omildir. Tadqiqot natijasida quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

Innovatsion yondashuv: Strategik rejalashtirish jarayoni 8 ta ketma-ket bosqichdan iborat bo'lib, u raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt va statistik tahlil kabi innovatsion usullarni qo'llashni taqazo etadi.

Texnologik integratsiya: 3D EXPERIENCE kabi zamonaviy platformalardan foydalanish marksheyderlik, geologik va texnologik ma'lumotlarni yagona tizimga integratsiyalash maqsad sari eng qisqa va aniq yo'lni ta'minlaydi.

Optimallashtirish va modellashtirish: Mineral resurslar modeliga asoslangan blok-modellarni yaratish, qazib olishdagi nobudgarchilik va sifatsizlanishni kamaytirish hamda karyerning yakuniy konturini texnologik jihatdan optimallashtirish imkonini beradi.

Samaradorlik: Parametrik loyihalash usullarini qo'llash orqali ko'p variantli loyihalar orasidan eng afzalini tezkorlik bilan tanlash, konchilik ishlarining chuqurlashib borish tezligi va uskunalar quvvatini aniq muvofiqlashtirishga xizmat qiladi.

Qo'llash uchun tavsiya etilgan platforma marksheyderlik, geologik va texnologik ma'lumotlarni yagona raqamli muhitda

birlashtiruvchi, loyihalash va rejalashtirishni avtomatlashtiruvchi ekotizim hisoblanadi. Konchilik sohasida ushbu platformadan foydalanish loyihani shakllantirishda parametrik usullarni qo'llash va jarayonlarni optimallashtirish imkonini beradi.

Umuman olganda, marksheyderlik ta'minotining raqamli transferi yer osti boyliklaridan oqilona foydalanish, moliyaviy-ekologik tavakkallarni aniq baholash va ishlab chiqarish rentabelligini oshirishning asosi bo'lib xizmat qiladi.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

С.С. Саййидкосимов, М.Р. Хакбердиев, Р.О. Абдувахобов, З.Р. Эрманов, Б.З. Бахромов

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

АННОТАЦИЯ В статье рассматривается роль маркшейдерского обеспечения в стратегическом планировании горных работ и вопросы применения инновационных методов. Авторы предлагают 8-этапный алгоритм проектирования горных работ с использованием платформы 3D EXPERIENCE. В исследовании обоснована эффективность цифровых технологий при создании моделей минеральных ресурсов, оптимизации блок-моделей и проектировании конечных контуров карьеров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА горные работы, стратегическое планирование, маркшейдерское обеспечение, платформа 3D EXPERIENCE, модель минеральных ресурсов, оптимизация, проект карьера, цифровые технологии, блочное моделирование, экономическая оценка.

MINE SURVEYING SUPPORT FOR STRATEGIC PLANNING OF MINING OPERATIONS

S.S. Sayyidkosimov, M.R. Xakberdiyev, R.O. Abduvxabov, Z.R. Ermanov, B.Z. Baxromov

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT The article highlights the role of surveying (mine surveying) support in the strategic planning of mining operations and the application of innovative methods. The authors propose an 8-stage algorithm for mining planning using the 3D EXPERIENCE platform. The research substantiates the efficiency of digital technologies in creating mineral resource models, optimizing block models, and designing ultimate pit limits.

KEYWORDS mining operations, strategic planning, mine surveying support, 3D EXPERIENCE platform, mineral resource model, optimization, open-pit design, digital technologies, block modeling, economic evaluation.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. В.А. Букринский Геометрия недр. М., «Горная книга». 2012, 550 с.
2. В.М. Калинин, В.В. Руденко. Геометрия недр. Част-1, Новочеркасск. ЮРГПУ, 2014 154 с.
3. S.S. Sayyidqosimov. Geoaxborot tizimlar texnologiyasi Toshkent, "Iqtisod -Moliya" 2011. 128 b.
4. S.S. Sayyidqosimov. Kon geometriyasi. 1-qism. Toshkent, Innovatsion rivojlanish matbaa uyi. 2021., 168 b.
5. S.S. Sayyidqosimov. Marksheyderiyada geoaxborot tizimlar. Toshkent, Innovatsion rivojlanish matbaa uyi. 2021., 220 b.
6. Rasmiy sayt: <https://www.3ds.com/3dexperience> .

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Sayyidkosimov Sayyidjabbor Sayyidkosim ugli – Professor at the department of Mine surveying and geodesy, DSc, professor; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5954-2790>, e-mail: sayyidjabbor@yandex.com

Xakberdiyev Muzaffar Rustamkul ugli – Associate professor at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-8386-4036>, e-mail: zafarzarfar2066@gmail.com

Abduvahobov Ravshanbek – Master at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan.

Olim ugli	
Ermatov Zafarjon Raxim ugli	– Master at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan.
Bahromov Bahodir Zokir ugli	– Master at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan.

MIS ISHLAB CHIQRISH JARAYONIDA YUZAGA KELADIGAN TEXNOGEN CHIQRINDILAR TURLARI HAMDA ULARNING KIMYOVIY VA TAHLILYI TARKIBI

S.B.Mirzajanova, D.A.Mansurova, J.I.Boymirzayeva, N.I.Yarqulova, M.K.Navro'zova
Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.20280051

ANNOTATSIYA Ushbu maqolada mis ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan texnogen chiqindilarning turlari, ularning kimyoviy-tahliliy tarkibi va ushbu chiqindilarni kompleks qayta ishlash imkoniyatlari tadqiq etilgan bo'lib, asosiy maqsad mineral xomashyo va polimetall rudalardan foydali komponentlarni maksimal darajada ajratib olish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirishdan iborat. Ish davomida Olmaliq kon-metallurgiya mis boyitish fabrikasi va mis eritish zavodi faoliyati natijasida hosil bo'luvchi qattiq, suyuq va gazsimon chiqindilarning mineralogik xususiyatlari batafsil tahlil qilingan. Boyitish jarayonidagi mis boyitish fabrikasi chiqindilari, eritish pechlaridan ajralib chiqadigan shlaklar va gaz va changlarning tarkibi tahlil qilinib, chiqindilar tarkibida nafaqat mis (0,11% dan 5,04% gacha), balki oltin, kumush, qo'rg'oshin va rux kabi qimmatbaho metallar mavjudligi aniqlangan. Maqolada reniy va molibden ishlab chiqarishda yuzaga keladigan texnologik chiqindilarni va sulfat kislotasi ishlab chiqarish bo'limlaridan hosil bo'ladigan katta hajmdagi (soatiga 100 m³ gacha) oqova suvlarning qayta ishlashning iqtisodiy va ekologik ahamiyati asoslab berilgan. Ilmiy ishning amaliy ahamiyati shundaki, taklif etilayotgan qayta ishlash usullari mahsulot tannarxini pasaytirishga, xomashyodan kompleks foydalanishga va sanoat hududlaridagi ekologik muammolarni bartaraf etishga xizmat qiladi.

Maqolada Olmaliq kon - metallurgiya kombinatida so'nggi yillarda flotatsiya, boyitish jarayonlari va metallurgik ishlab chiqarish natijasida yuzaga kelgan chiqindilar muammolari ko'rib chiqilgan. Korxonada faoliyati natijasida katta miqdorda sanoat chiqindilari to'plangan: flotatsiya jarayonlaridan hosil bo'lgan chiqindilar miqdori taxminan 955 – 960 mln.tonnani tashkil qilsa, mis eritish zavodlaridan hosil bo'lgan chiqindilar 11 – 13 mln. tonna atrofida baholanmoqda. Flotatsion usullar yordamida boyitishda asosan chiqindilar tarkibida Cu, Zn, Mo, Fe, Au, Ag kabi elementlar bo'lib, oltingugurt miqdori yuqori bo'lgan FeS₂, FeS, Fe₇S₈ kabi minerallarning ishtiroki qimmatbaho elementlarning yo'qolishiga olib keladi. Asosiy muammolardan biri S 1,38–10,5 % (granula o'lchamiga bog'liq), SiO₂ 65–69 % larning miqdoriga bog'liq. Chiqindi tarkibidagi qimmatbaho elementlardan mis va temir tarkibli minerallarning miqdori tahlil qilinganda Fe – 42 % ni, Cu – 0,891 % ni tashkil qilgan. Yanchilgan chiqindilarning yuzalari ochilishi hisobiga magnitga tortilish miqdori 0,8 % ga ortganligini ko'rsatadi. Olib borilgan tadqiqotlardan chiqindi tarkibidagi kvartsning miqdori vyustitili birikmalarning miqdoriga salbiy ta'sir ko'rsatishi va uni bartaraf etishda esa ohakning kinetik ta'siri tahlil qilingan. Bunda yuklangan ohakning optimal miqdori 1 : 0,5 nisbatda qo'shilishi, kremniyning miqdori oshishiga va CaO-SiO₂ birikishiga, bunda haroratning optimalligi va vaqt muhim vazifani belgilaydi. 1000°C jarayonni to'g'ri borishi va kislorodning miqdori to'liq ta'sirlashishi uchun agregat ichida aralastirish ta'minlanishi zarur. Chiqindilarni qayta ishlashning asosiy maqsadi – atrof-muhit va tabiatni texnogen chiqindilardan tozalash dolzarb muammolardan biri hisoblanib, zamonaviy texnologiyalar yordamida yoki kam xarajatli texnologiyalar asosida ularni kamaytirish juda zarurdir.

KALIT SO'ZLAR

oraliq mahsulotlar, texnogen chiqindilar, changlarni qayta ishlash, pirometallurgik jarayonlar, kimyoviy boyitish, gidrometallurgiya.

KIRISH

So‘nggi yillarda tog‘-kon va metallurgiya sanoati jadal sur‘atlar bilan rivojlanib bormoqda. O‘zbekiston iqtisodiyotiga salmoqli ta‘sir ko‘rsatuvchi “Olmaliq KMK” AJ yiliga 37 million tonnadan ortiq rudani texnologik qayta ishlash natijasida qariyb 150 ming tonna yuqori sifatli katod misini ishlab chiqaradi va asosiy qismini eksportga yo‘naltiradi.

Metallurgik ishlab chiqarish jarayonlari og‘ir sanoat tarmog‘iga mansub bo‘lib, o‘ta murakkab texnologik sxemalar hamda yuqori energiya sig‘imi bilan tavsiflanadi. Ushbu ko‘p bosqichli tizimlarda qattiq, suyuq va gazsimon ko‘rinishdagi ulkan hajmdagi texnogen chiqindilar hosil bo‘lishi kuzatiladi. Bu esa, o‘z navbatida, hududiy tabiiy geologik muhitni muhofaza qilish hamda mavjud chiqindilarni kompleks qayta ishlash (utilizatsiya qilish) texnologiyalarini takomillashtirishni dolzarb ilmiy-amaliy muammo qilib qo‘yadi [1, 2].

“Olmaliq KMK” AJ ishlab chiqarish tizimlarida hosil bo‘lgan texnogen chiqindilar maxsus inshootlar va poligonlarda saqlanadi. Ular bir necha yuz gektar maydonlarni egallab, atrof-muhitga, o‘simlik dunyosiga va yer osti suvlariga o‘zining fizik-kimyoviy salbiy ta‘sirini o‘tkazib kelmoqda. Bunday

chiqindi saqlash maydonlarini saqlash va zararsizlantirish katta iqtisodiy xarajatlarni talab etadi. Shu sababli, mazkur chiqindilarni ekologik xavf manbai sifatida emas, balki tarkibida qimmatbaho komponentlar mavjud bo‘lgan “ikkilamchi xomashyo” sifatida baholash va ularni qayta ishlash texnologiyasini joriy etish tadqiqot ishining asosiy tamoyili hisoblanadi [3, 4].

TADQIQOT ISHINING MAQSADI

Kombinat tarkibidagi Mis boyitish fabrikasi asosan sulfidli rudalarni flotatsiya usulida boyitishga ixtisoslashgan. Texnologik jarayon davomida ruda ikki asosiy mahsulotga – boyitma va boyitish fabrikasi chiqindilariga (хвост) ajratiladi. Boyitma mahsuloti pirometallurgiya bosqichi uchun shixta sifatida eritish pechlariga yo‘naltirilsa, boyitish jarayoni chiqindilari maxsus chiqindi saqlash inshootlariga (1 va 2-sonli chiqindixonalar) gidrotransport vositasida yuboriladi.

Quyidagi 1-jadvalda “Olmaliq KMK” AJ mis boyitish fabrikasidan olingan namunalar asosida chiqindi saqlash joylarida to‘plangan texnogen resurslarning batafsil kimyoviy tahlili keltirilgan. Ushbu tahlil natijalari chiqindi tarkibidagi metallarni ajratib olishning texnik-iqtisodiy asoslarini yaratishda muhim poydevor bo‘lib xizmat qiladi.

1-jadval.

Olmaliq KMK mis boyitish fabrikasi chiqindilarining kimyoviy tarkibi

Oksidlar va elementlar	Tarkib, %	Oksidlar va elementlar	Tarkib, %
SiO ₂	67,31	SO ₃	0,41
Fe _{umumiy}	8,69	CO ₂	0,90
Fe ₂ O ₃	8,83	P ₂ O ₅	0,17
FeO	3,23	H ₂ O	0,49
TiO ₂	0,36	Cu	0,11
MnO	0,08	Pb	0,018
Al ₂ O ₃	11,57	Zn	0,026
CaO	1,30	As	0,0028
MgO	1,97	Sb	-
K ₂ O	4,27	Mo	0,0030
Na ₂ O	0,44	Au, g/t	0,6
S _{umumiy}	2,56	Ag, g/g	3,0
S _{sulfid}	2,36	Oraliq	4,34

Misning zamonaviy pirometallurgiya bosqichi yuqori haroratli agregatlarda amalga oshiriladigan murakkab issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari bilan xarakterlanadi. Eritish jarayoni uchun tayyorlangan shixta tarkibi va qo‘llaniladigan

pechning texnologik imkoniyatlari yakuniy mahsulot sifatini belgilab beradi [5, 6].

An‘anaviy pirometallurgiyada keng qo‘llaniladigan yallig‘ qaytaruvchi eritish pechlarida hosil bo‘ladigan shlaklarning kimyoviy tarkibi tahlili shuni ko‘rsatadiki, ularda temir va kremniy oksidlari

asosiy hajmi tashkil etadi (2-jadval). Shu bilan birga, ushbu shlaklar tarkibida 15-17% gacha magnetit (Fe_3O_4) mavjudligi aniqlangan bo'lib, bu ko'rsatkich jarayonning termodinamik muvozanatiga va misning texnologik yo'qotilishiga bevosita ta'sir ko'rsatadi [7, 8].

2-jadval

Yallig' qaytaruvchi eritish pechidan ajraldigan shlaklarning kimyoviy tarkibi va miqdori

Yallig' qaytaruvchi eritish pechi	Tarkibi, %
Fe_{umumiy}	31-35
SiO_2	32-35
Al_2O_3	3-7
CaO	2-5
Cu	0,6-0,9
Zn	1-2
Pb	0,1-0,3
S	1-2
Fe_3O_4	15-17

“Olmaliq KMK” AJ Mis eritish zavodida olingan qiyosiy ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy yallig' qaytaruvchi pechlarga nisbatan Kislorodli-mash'alali eritish (KME) texnologiyasi yuqori samaradorlikka ega. Xususan, shixta bo'yicha solishtirma unumdorlik KME pechlarida 10–12 t/m² ni tashkil etib, an'anaviy usuldan deyarli ikki barobar yuqoridir [9, 10].

Shteyn tarkibidagi mis miqdori ham sezilarli darajada farq qiladi: yallig' qaytaruvchi pechlarda bu ko'rsatkich 22–28% ni tashkil etsa, KME pechlarida 40–50% gacha ko'tariladi. Bu esa olinayotgan oraliq mahsulotning boyligini va keyingi bosqichlarda (konvertorlashda) qayta ishlash xarajatlarining kamayishini ta'minlaydi [11, 12]. Misni shteynga o'tish darajasi har ikkala usulda ham bir xil (97%) bo'lsa-da, KME jarayonida oltingugurtning texnologik gazlardan ajratib olinishi 92% ni tashkil etishi (yallig' qaytaruvchi pechda 28%) ushbu texnologiyaning ekologik jihatdan ham afzalligini isbotlaydi [13, 14]. Quyidagi 3-jadvalda ushbu pechlarning asosiy qiyosiy ko'rsatkichlari keltirilgan

3-jadval

Olmaliq mis eritish zavodidagi eritish pechlarining ayrim taqqoslovchi ko'rsatkichlari

T/r	Ko'rsatkichlar nomi	O'lchov birligi	Yallig' qaytaruvchi pechda eritish	KME pechda eritish
1.	Shixta bo'yicha solishtirma unumdorlik	t/m ²	5 – 6	10 – 12
2.	Shteyn tarkibidagi mis miqdori	%	22 – 28	40 – 50
3.	Misning shteynga o'tish miqdori	%	97	97
4.	Oltingugurtning texnologik gazdan olinish miqdori	%	28	92

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, zamonaviy avtogen jarayonlar (KME) ishlab chiqarish quvvatini oshirish bilan birga, mineral xomashyoni kompleks qayta ishlash darajasini ham tubdan yaxshilaydi [15, 16].

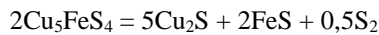
Avtogen jarayonlarga mo'ljallangan xomashyo uchun maxsus talablar qo'yiladi. Eng asosiy talab shundan iboratki, uning tarkibidagi zarur birikmalar kislorod bilan o'zaro reaksiyaga kirishganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori xomashyo yoki shixtani eritish uchun yetarli bo'lishi lozim. Avtogen jarayonlar ichki kimyoviy reaksiyalar hisobiga to'liq o'z-o'zini issiqlik bilan ta'minlaydigan texnologik jarayonlar hisoblanadi. Shuningdek, aralash jarayonlar ham mavjud bo'lib, ularda ham tashqaridan beriladigan issiqlik, ham ekzotermik reaksiyalar natijasida ajralib chiqadigan issiqlik birgalikda foydalaniladi.

Mis sulfidli boyitmalarni pirometallurgik qayta ishlash jarayonida murakkab fizik-kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Asosiy sulfidli minerallar

yuqori harorat ta'sirida parchalanadi va oksidlanish jarayonlari bilan birga kechadi.

Avtogen jarayonlarga mo'ljallangan xomashyo uchun maxsus talablar qo'yiladi. Eng asosiy talab shundan iboratki, uning tarkibidagi zarur birikmalar kislorod bilan o'zaro reaksiyaga kirishganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori xomashyo yoki shixtani eritish uchun yetarli bo'lishi lozim. Avtogen jarayonlar ichki kimyoviy reaksiyalar hisobiga to'liq o'z-o'zini issiqlik bilan ta'minlaydigan texnologik jarayonlar hisoblanadi. Shuningdek, aralash jarayonlar ham mavjud bo'lib, ularda ham tashqaridan beriladigan issiqlik, ham ekzotermik reaksiyalar natijasida ajralib chiqadigan issiqlik birgalikda foydalaniladi. Mis sulfidli boyitmalarni pirometallurgik qayta ishlash jarayonida murakkab fizik-kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Asosiy sulfidli minerallar yuqori harorat ta'sirida parchalanadi va oksidlanish jarayonlari bilan birga kechadi.

Bornit (Cu_5FeS_4) qizdirilganda quyidagi parchalanish reaksiyasi sodir bo'ladi:



Ushbu jarayon havo atmosferasida taxminan 800–840°C oralig'ida faol kechadi. Xuddi shuningdek, mis sulfidi (CuS) ham qizdirish jarayonida oson parchalanib, quyidagi reaksiyaga kirishadi:

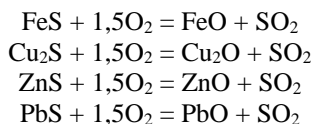


Pirit (FeS₂) esa termik parchalanish natijasida FeS va oltingugurtga ajraladi:

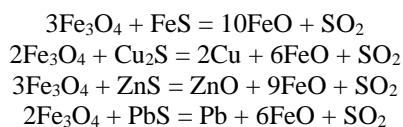


Harorat ortishi va oksidlovchi muhit ta'sirida temir sulfidlari bosqichma-bosqich oksidlanib, avval FeO, so'ng esa gematit (Fe₂O₃) va magnetit (Fe₃O₄) hosil qiladi. Bu jarayonlar eritish muhitining oksidlovchi xususiyatiga bevosita bog'liqdir. Rux asosan ZnS holatida uchraydi. Eritish jarayonida u qisman oksidlanib ZnO va ZnSO₄ birikmalarini hosil qiladi, shuningdek yuqori haroratda gaz fazasiga o'tishi mumkin. Ruxning taqsimlanishi quyidagicha kuzatiladi: shteynga 3–15%, changga 15–25%, toshqolga 62–72%. Mis boyitmalarida qo'rg'oshin va boshqa nodir elementlar ham uchraydi. Ularning jarayon mahsulotlari bo'yicha taqsimlanishi shteynda, toshqolda va chang – gazlarda quyidagi tarkibda Cd-12-80 %; In-20-39 %; Se-38-49%; Te -18-72 % gacha hosil bo'lishi mumkin.

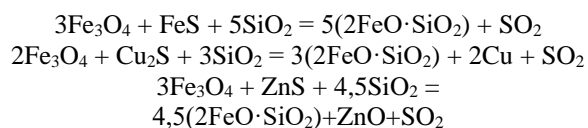
KMEP (kislorodli-mash'alali eritish pechi) jarayonida yuqori haroratli alanga zonasi sulfidlarni oksidlaydi, ayrim hollarda esa ularni bevosita parchalaydi. Asosiy oksidlanish reaksiyalari quyidagicha ifodalanadi:



Temir sulfidlari FeO va magnetitgacha oksidlanishi mumkin. Magnetitning miqdori sulfidlarning qaytarilish reaksiyalari intensivligiga va jarayonning harorat hamda gaz fazasi tarkibiga bog'liqdir. Magnetit sulfidlar bilan quyidagi reaksiyalarda ishtirok etadi:



Kremniy dioksidi ishtirokida esa quyidagi kompleks reaksiyalar sodir bo'ladi:



Eritish jarayonida oksid va sulfid fazalarining o'zaro ta'siri shteyn va toshqol hosil bo'lishiga olib

keladi. Ushbu ajralish jarayoni eritmalarning zichlik va sirt tarangligi farqi asosida yuz beradi.

Toshqolning o'rtacha tarkibi: 0,8–1,0% Cu; 32–35% SiO₂; 37–40% FeO; 6–8% CaO. Shteyn tarkibi esa: 32–36% Cu; 32–36% Fe; 24–26% S; 7–8% Fe₃O₄.

Olmaliq mis eritish zavodida bir sutkada o'rtacha 100 tonnagacha magnetit hosil bo'ladi. Magnetitning to'liq qaytarilmasligi natijasida u shteyn va toshqol fazalariga taqsimlanadi. Bu jarayon quyidagi koeffitsient orqali ifodalanadi:

$$K = \% \text{Fe}_3\text{O}_4 \text{ t.sh.} : \% \text{Fe}_3\text{O}_4 \text{ sh.t}$$

Magnetit asosan toshqolda to'planadi va pechdan chiqib ketadi. Uning ortiqcha miqdori pech tubida cho'kma hosil bo'lishiga olib keladi. Bu esa pechning ish hajmini kamaytiradi, issiqlik va massa almashinuvini yomonlashtiradi, shuningdek misning shlak bilan yo'qotilishini oshiradi. Bunday holatlarda jarayonni barqarorlashtirish uchun haroratni oshirish va kremnezemli fluslarni qo'shish talab etiladi.

Hozirgi kunda respublika miqyosida mis eritish sanoati shlaklarining umumiy zaxiralari 11–13 mln tonnadan ortiqni tashkil etib, ushbu ko'rsatkich har yili o'rtacha 400 ming tonnaga ortib bormoqda [8,17]. Ushbu texnologiya chiqindilar nafaqat katta hududlarni egallashi, balki atrof-muhitning ekologik muvozanatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi bilan ham xarakterlanadi [2].

“Olmaliq KMK” AJ mis eritish zavodida suyuq vannali eritish (Vanyukov pechi) texnologiyasi joriy etilgunga qadar, asosiy agregatlar sifatida yallig' qaytaruvchi va kislorod-mash'alali eritish pechlari qo'llanilgan. Tadqiqot ob'ekti sifatida aynan ushbu an'anaviy pechlarning shlaklari tanlab olindi. Tahlillarga ko'ra, ushbu shlaklar tarkibida temir miqdori 35–40% ni, mis esa 0,7% gacha bo'lishi aniqlangan [18].

ESKPERIMENTAL QISMI

Mis va boshqa elementlar o'rtasidagi bog'liqlikni korelyatsion tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, mis asosan sulfidli fazalar bilan bog'liq bo'lib, bu natija mineralogik tadqiqot usullari orqali o'z tasdig'ini topgan. Shlaklar tarkibidagi ikkinchi muhim qimmatbaho metall – molibden hisoblanadi. Uning miqdori 0,011% dan 0,14% gacha (o'rtacha 0,06%) o'zgarib turadi. Molibdenning shlak yuzasi bo'ylab taqsimlanishi notekis bo'lib, tarkibida ushbu metall miqdori 0,101% gacha yetadigan uchta asosiy boyitilgan hudud ajratib ko'rsatiladi.

Geokimyoviy tahlillar molibdenning magniy va alyuminiy bilan yaqin bog'liqligini, kremniy, kaliy va titan bilan esa kuchsizroq bog'lanishini ko'rsatadi. Molibden xalkofill elementlar (oltin, mis, surma, qalay, qo'rg'oshin) bilan deyarli bog'lanmaydi. Shlaklardagi molibdenning asosiy qismi (80% dan ortig'i) shpinel va fayalit minerallari bilan bog'langan

metallarning bir qismi shlak fazasida qolsa, ularning uchuvchan birikmalari (ayniqsa, suboksidlar va sulfidlar holda) gaz oqimi bilan birga pech bo'shlig'ini tark etadi. Masalan, reniy va qo'rg'oshin kabi elementlar yuqori bug' bosimiga ega bo'lganligi sababli, ularning asosiy qismi shlakdan ko'ra gaz-chang chiqindilarida konsentratsiyalanish moyilligiga ega [9,16]. Shu sababli, metallurgiya zavodining texnogen chiqindilarini kompleks baholashda suyuq toshqollar (shlaklar) bilan bir qatorda, gazlarni tozalash tizimlarida ushlanib qolinadigan dispers zarrachalar - texnologik changlarning fizik-kimyoviy

xususiyatlarini o'rganish alohida ilmiy ahamiyat kasb etadi.

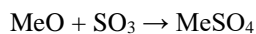
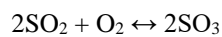
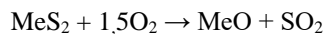
Shteynga eritish jarayonlari yuqori harorat va bosim ostida kechgani sababli katta hajmda chang va gazlar ajralib chiqadi. Ushbu chiqindilar maxsus filtr qurilmalari yordamida ushlab qolinadi. Masalan, faqatgina Vanyukov pechining o'zida bir sutka davomida elektrofiltrlar orqali yig'iladigan mayda chang miqdori 10-18 tonnani tashkil etadi. "Olmaliq KMK AJ" konvertor hamda suyuq vannada eritish pechlari elektrofiltr changlarining tarkibi 5- jadvalda keltirilgan.

5-jadval

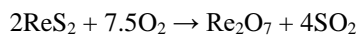
Konvertor hamda suyuq vannada eritish pechlari elektrofiltr changlarining tarkibi

Komponent, %	Konvertor	VP elektrofiltr	Komponent %	Konvertor	VP elektrofiltr
Cu	1,5	5,04	Pb	43,49	32
Fe _{um.}	0,37	7,96	Re	0,0034	0,0005
SiO ₂	0,008	1,64	S	0,002	10,93
Al ₂ O ₃	0,46	0,56	MgO	1,16	1,52
CaO	0,24	0,54	Ag g/l	7	10
Zn	12,56	7,49	Au g/t	12	5

"Olmaliq KMK AJ" tarkibidagi kamyob metallar ishlab chiqarish sexida molibden yarim tayyor mahsuloti-flotokonsentrat oksidlovchi kuydirish jarayonidan o'tkaziladi. Ushbu jarayon odatda 500–600 °C harorat oralig'ida amalga oshiriladi. Natijada mis, temir, qo'rg'oshin, rux kabi metallarning sulfidlari kislorod bilan reaksiyaga kirishib, tegishli oksidlar va sulfatlarni hosil qiladi:



Molibdenitlarni kuydirish jarayonida reniyning katta qismi oksidlanib, Re₂O₇ shaklida sublimatsiyalanadi va gaz oqimi bilan birga ajralib chiqadi:



Hosil bo'lgan chiqindi gazlar vakuum ta'sirida chang ushlovchi kamerga yo'naltiriladi va keyin ichi bo'sh skrubberga uzatiladi. Skrubberda suv bilan yuvish natijasida reniy va osmiyga oid gazlar konsentratsiyalanadi, shuningdek molibden birikmalari hamda oltingugurt oksidlarining bir qismi ushlab qolinadi. Reniyning konsentratsiyasini oshirish maqsadida eritmalar bir necha marotaba aylantiriladi. Natijada tarkibida 300–350 g/dm³ H₂SO₄ bo'lgan eritmada reniy miqdori 0,7–3 g/dm³ gacha yetkaziladi. Keyingi bosqichda eritma filtrlanib, undagi yirik zarrachalar ajratib olinadi va sorbsiya jarayoniga yuboriladi. Sorbsiya jarayonida eritma bosim ostidagi rezervuarlardan o'tkazilib, SIM-202 sorbenti bilan to'ldirilgan, pastdan yuqoriga ketma-ket ulangan ustunlar orqali o'tkaziladi. Ushbu bosqichdan

so'ng hosil bo'lgan texnologik eritmadan molibden, reniy va boshqa metallarni ajratib olish imkoniyati yaratiladi. Bu esa nafaqat atrof-muhitni muhofaza qilish, balki xomashyoni kompleks qayta ishlash samaradorligini ham oshiradi. Sorbsiya jarayonidan keyingi texnologik eritma tarkibining tahlil natijalari 6-jadvalda keltirilgan.

Elementlar	Miqdori mg/l	Elementlar	Miqdori mg/l
Reni	20	Iridiy	1
Oltin	1	Ruteniy	1
Platina	9	Alyuminiy	396
Kumush	77	Kalsiy	789
Kobalt	2	Marganets	48
Xrom	3	Nikel	113
Magniy	48	Qo'rg'oshin	428
Surma	60	Palladiy	9
Qalay	4	Kremniy	42
Molibden	8-16 g/l	Rux	2.1 g/l
Mis	1.7 g/l	Temir	1.1 g/l



содержание серы в пределах 1,38–10,5% (в зависимости от размера гранул), а также SiO_2 в пределах 65–69%. Анализ показал, что содержание железа в отходах составляет 42%, меди - 0,891%. За счёт раскрытия поверхности измельчённых отходов наблюдается увеличение магнитной восприимчивости на 0,8%. Проведённые исследования показали, что содержание кварца в отходах оказывает отрицательное влияние на образование вюститовых соединений, и для устранения этого эффекта изучено кинетическое воздействие извести. Установлено, что оптимальное соотношение добавляемой извести составляет 1:0,5, что способствует увеличению содержания кремния и образованию соединения $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. При этом важную роль играют оптимальная температура и время процесса. Для корректного протекания процесса при температуре 1000°C и полного взаимодействия кислорода необходимо обеспечить перемешивание внутри агрегата. Основной целью переработки отходов является очистка окружающей среды от техногенных загрязнений, что остаётся одной из актуальных задач. Использование современных или малозатратных технологий переработки отходов является крайне необходимым для снижения их негативного воздействия на окружающую среду.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

промежуточные продукты, техногенные отходы, переработка пыли, пирометаллургические процессы, химическое обогащение, гидрометаллургия

**TYPES OF TECHNOGENIC WASTE GENERATED IN THE COPPER PRODUCTION
PROCESS AND THEIR CHEMICAL AND ANALYTICAL COMPOSITION**

S.B.Mirzajanova, D.A.Mansurova, J.I.Boymirzayeva, N.I.Yarqulova, M.K.Navruzova

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

This article investigates the types of technogenic waste generated during copper production, their chemical and analytical composition, and the possibilities for their comprehensive processing. The main objective is to maximize the extraction of valuable components from mineral raw materials and polymetallic ores, as well as to improve production efficiency. The study provides a detailed analysis of the mineralogical characteristics of solid, liquid, and gaseous wastes formed as a result of the activities of the Almalyk Mining and Metallurgical Complex, including the beneficiation plant and the copper smelting plant. The composition of beneficiation tailings, slags from smelting furnaces, as well as gases and dust emissions were analyzed. It was established that the waste contains not only copper (from 0.11% to 5.04%), but also valuable metals such as gold, silver, lead, and zinc. The article also substantiates the economic and environmental significance of processing technological waste generated during rhenium and molybdenum production, as well as large volumes of wastewater (up to 100 m³ per hour) formed in sulfuric acid production units. The practical significance of the study lies in the fact that the proposed processing methods contribute to reducing production costs, ensuring the comprehensive utilization of raw materials, and solving environmental problems in industrial regions. The paper also examines the problems of waste accumulated in recent years at the Almalyk Mining and Metallurgical Complex as a result of flotation, beneficiation, and metallurgical processes. As a result of the enterprise's activity, significant amounts of industrial waste have accumulated: flotation tailings amount to approximately 955–960 million tons, while waste from copper smelting plants is estimated at about 11–13 million tons. During flotation-based beneficiation, the waste mainly contains elements such as Cu, Zn, Mo, Fe, Au, and Ag, while the presence of sulfur-rich minerals such as FeS_2 , FeS , and Fe_7S_8 leads to the loss of valuable components. One of the main issues is the sulfur content ranging from 1.38% to 10.5% (depending on particle size), as well as SiO_2 content ranging from 65% to 69%. Analysis shows that the iron content in the waste is about 42%, while copper content is 0.891%. Due to the liberation of particle surfaces after grinding, the magnetic susceptibility increases by 0.8%. The conducted studies show that the quartz content in the waste negatively affects the formation of wüstite compounds, and the kinetic effect of lime has been investigated to eliminate this issue. It was found that the optimal ratio of added lime is 1:0.5, which promotes an increase in silicon content and the formation of $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ compounds. In this process, temperature and time are critical parameters. At 1000°C, proper mixing within the unit is required to ensure complete oxygen interaction and proper process

progression. The main objective of waste processing is the removal of technogenic pollutants from the environment, which remains one of the most pressing challenges. The application of modern or low-cost technologies for waste treatment is essential to reduce their negative environmental impact.

KEYWORDS: intermediate products, technogenic waste, dust processing, pyrometallurgical processes, chemical beneficiation, hydrometallurgy

REFERENCES:

1. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Maslennikov S.A. Protection of the natural geological environment by utilization of ore dressing tailings. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2015. Vol. 326. No. 6. pp. 6–15.
2. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Lukyanov V.G. Ecological and economic aspects of resource conservation in the development of mineral deposits. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2017. Vol. 328. No. 6. pp. 18–27.
3. Хасанов А.С., Санакулов К.С., Атаханов А.С. Технологическая схема комплексной переработки шлаков Алмалыкского ГМК. *Цветная металлургия*. 2003. № 4. С. 9–12.
4. Хасанов А.С. Пирометаллургическое обеднение твердых и жидких конвертерных шлаков ВСК без увеличения выбросов серы в окружающую среду. Автореф. дис.канд. техн. наук. МИСиС. 1991. 21 с.
5. Купряков Ю.П. Отражательная плавка медных концентратов. М.: Металлургия. 1976. 262 с.
6. Piatak N.M., Parsons M.B., Seal R.R. Characteristics and environmental aspects of slag: A review. *Appl. Geochem*. 2015. Vol. 57. pp. 236–266.
7. Самадов А.У., Аскарлова Н.М. Совершенствование переработки шлаков медного производства. Ташкент: VNESHINVESTPROM. 2020. 103 с.
8. Санакулов К.С., Хасанов А.С. Переработка шлаков медного производства. Ташкент: Фан. 2007. 256 с.
9. Сигедин В.Н., Аранович В.Л., Довченко В.А., Хасанов А.С., Руденко Б.И. Процесс медной плавки на АГМК. *Горный журнал*. 1999. № 7. С. 36–38.
10. Sigedin V.N., Aranovich V.L., Dovchenko V.A., Khasanov A.S. Progress in copper melting at Almalyk mining and metallurgical integrated works. Allerton Press. 2006. pp. 14–15.
11. Хасанов А.С. Развитие производства меди. *Вестник ТашГТУ*. 2004. № 3. С. 168–173.
12. Тарасов А.В., Уткин Н.И. *Общая металлургия*. М.: Металлургия. 1997.
13. Хасанов А.С., Сигедин В.Н., Довченко В.А. Способ плавки медных концентратов. Патент РУз № 5071. 1997.
14. Диомедовский Д.А. Расчеты пиропроцессов цветных металлов. М.: Металлургия. 1963.
15. Мечев В.В., Быстров В.П. и др. Автогенные процессы в цветной металлургии. М.: Металлургия. 1976. 360 с.
16. Tian H., Guo Z., Pan J., Zhu D., Yang C., Xue Y., Li S., Wang D. Comprehensive review on metallurgical recycling and cleaning of copper slag. *Resour. Conserv. Recycl.* 2021. Vol. 168. 105366.
17. Zhang C., Hu B., Wang H., Wang M., Wang X. Recovery of valuable metals from copper slag. *Min. Metall. Explor.* 2020. Vol. 37. pp. 1241–1251.
18. Shen H., Forssberg E. An overview of recovery of metals from slags. *Waste Manag.* 2003. Vol. 23. pp. 933–949.
19. Mirzajanova S.B. MBF chiqindilaridan FeSiO₃ kinetikasi o'rganish. *Konchilik mashinalari va texnologiyalari*. ISSN: 2181-3442. 27-34 b.
20. Abduraxmonov S., Mamaraximov S., Xaydaraliyev X., Shaxobov T. Olmaliq sharoitida konvertor changlarini qayta ishlashning zamonaviy usuli. *Science and Education*. 2022. Vol. 3. No. 4. pp. 315–319.
21. Mamarahimov S.K., Rahimov S.D., Xoliqulov D.B. Kamyob metallar ishlab chiqarishda ajralib chiqayotgan chiqindi suvlar tarkibidan metallarni ajratib olish imkoniyatlarini o'rganish. *Science and Education*. 2021. Vol. 2. No. 6. pp. 278–283.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Mirzajonova Saodat Bakidjanovna	– Assistant Professor, Head of Department, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0375-6415 , e-mail: sabi30302@gmail.com
Mansurova Dildora Axyor qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: mansurovadildora599@gmail.com

Boymirzayeva Jasmina Ibroxim qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: ibragimovna29@gmail.com
Yarqulova Nozima Ibragim qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: ibragimovna@gmail.com
Navruzova Mohinur Komiljon qizi	– first-year master's student at the department of Mine surveying and geodesy, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan, e-mail: tojiddinovamokhinur@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ МНОГОЯРУСНЫХ ОТВАЛОВ КАРЬЕРОВ ПУТЁМ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИВОЛИНЕЙНОГО ФРОНТА В ПЛАНЕ

Умаров Ф.Я., Каримов Ш.В., Норов Д.Ш.

Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Алмалык
Навоийский инновационный университет, Республика Узбекистан

Doi: 10.5281/zenodo.20280068

АННОТАЦИЯ В статье представлены результаты теоретического обоснования геометрических параметров криволинейного фронта многоярусных отвалов в плане как фактора управления устойчивостью. Установлена обратная степенная зависимость зоны захвата оползня от радиуса отвала в плане $V_p(R) = 25 + 42 \cdot (205/R)^{0,85}$ с обоснованными граничными условиями: при $R \rightarrow \infty$ зона захвата стремится к асимптоте $V_\infty = 25$ м (предельный случай прямолинейного фронта); при $R \rightarrow 0$ - к бесконечности (вырожденная геометрия). Показано, что переход от классической выпуклой формы отвала к вогнутой форме с радиусом кривизны $R_{вогн} = R_{тр}$ обеспечивает снижение зоны возможного обрушения в 2,5 раза за счёт благоприятного перераспределения горизонтальных напряжений в массиве (эффект пространственной арки). На основе разработанной модели обоснованы параметры криволинейного фронта трёхъярусного автомобильного отвала 60/60/60 м для условий карьеров «Мурунтау» и «Ёшлик-1». Численная верификация в Rocscience Slide2 (3D-расчёт) подтверждает повышение коэффициента запаса устойчивости вогнутого отвала на 18 % по сравнению с прямолинейным. Прогнозный годовой экономический эффект внедрения - 12 470 млн сум за счёт сокращения землеотвода под предохранительные бермы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА многоярусный отвал, криволинейный фронт, зона возможного обрушения, радиус отвала в плане, вогнутая форма, пространственный арочный эффект, устойчивость откоса, метод конечных элементов, карьер «Мурунтау», карьер «Ёшлик-1».

ВВЕДЕНИЕ

Открытая разработка крупных месторождений полезных ископаемых сопровождается образованием значительных объёмов вскрышных пород, размещаемых в отвалах с криволинейным фронтом в плане. На карьерах «Мурунтау» АО «Навоийский ГМК» и «Ёшлик-1» АО «Алмалыкский ГМК» отвалы формируются преимущественно по выпуклой схеме с радиусом кривизны 150–300 м, что обусловлено геометрией размещения относительно карьерного пространства и направлением транспортирования вскрыши [1, 2].

Геометрия фронта отвала в плане оказывает существенное влияние на формирование зоны возможного обрушения и общую устойчивость сооружения. При выпуклой форме фронта

горизонтальные напряжения в массиве распределяются радиально-расходящимся образом, что увеличивает зону возможного обрушения; при вогнутой форме напряжения распределяются сходящимся образом с формированием эффекта пространственной арки, что снижает зону возможного обрушения и повышает общую устойчивость [3, 4].

Действующие нормативные методики проектирования отвалов [5, 6] рассматривают преимущественно плоско-деформированную задачу устойчивости, не учитывая трёхмерных эффектов криволинейного фронта в плане. Это приводит к занижению расчётной устойчивости вогнутых отвалов и завышению расчётной устойчивости выпуклых, что снижает эффективность проектных решений и приводит к

необоснованному увеличению предохранительных берм.

Цель настоящего исследования - разработка аналитической модели зависимости зоны возможного обрушения многоярусного отвала от радиуса криволинейного фронта в плане и обоснование на её основе оптимальных геометрических параметров для условий карьеров «Мурунтау» и «Ёшлик-1» с учётом пространственного арочного эффекта.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данных исследований является разработка аналитической модели зависимости зоны возможного обрушения многоярусного отвала от радиуса криволинейного фронта в плане и обоснование оптимальных геометрических параметров фронта отвала, обеспечивающих повышение устойчивости за счёт пространственного арочного эффекта без увеличения землёёмкости отвалообразования.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ влияния геометрии фронта отвала в плане на распределение горизонтальных напряжений в массиве горных пород;
- разработка аналитической зависимости зоны возможного обрушения V_p от радиуса отвала R в плане методами теории предельного равновесия;
- исследование граничных условий и поведения функции $V_p(R)$ на экстремумах методами математического анализа;
- численная верификация теоретической модели в программных комплексах Rocscience Slide2 (3D) и RS2 для условий карьеров «Мурунтау» и «Ёшлик-1»;
- технико-экономическое обоснование внедрения оптимизированной геометрии фронта отвала.

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Анализ современного состояния проблемы показывает, что вопросы влияния геометрии фронта отвала в плане на его устойчивость рассмотрены в работах отечественных и зарубежных исследователей преимущественно качественно. Количественные модели взаимосвязи геометрических параметров фронта с зоной возможного обрушения в литературе ограничены, что обусловлено сложностью трёхмерного напряжённо-деформированного состояния массива криволинейного отвала [3, 7, 8].

Классическая методика ВНИМИ [5] и метод Бишопа [9] разработаны для плоско-деформированной задачи с прямолинейным фронтом отвала бесконечной протяжённости. В этом случае горизонтальные напряжения от направлены перпендикулярно фронту, а зона возможного обрушения определяется только высотой отвала H и физико-механическими характеристиками пород (c , φ , γ). Для

криволинейного фронта появляется дополнительный геометрический параметр - радиус кривизны R , который влияет на пространственное распределение напряжений.

Для выпуклой формы фронта (центр кривизны внутри тела отвала, $R > 0$) горизонтальные напряжения распределяются радиально-расходящимся образом. Условие равновесия элементарного объёма массива в полярных координатах:

$$d\sigma/dr + (\sigma - \sigma\theta)/r = 0, \quad (1)$$

где σ - радиальное напряжение; $\sigma\theta$ - тангенциальное напряжение; r - расстояние от центра кривизны. При $R \rightarrow \infty$ (прямолинейный фронт) условие (1) вырождается в одномерное $d\sigma/dr = 0$, что соответствует классической плоско-деформированной задаче ВНИМИ. При уменьшении R растёт градиент напряжений $d\sigma/dr$, что увеличивает зону деформирования массива.

Для вогнутой формы фронта (центр кривизны вне тела отвала, $R < 0$) горизонтальные напряжения распределяются сходящимся образом, что приводит к формированию пространственного арочного эффекта. Тангенциальные напряжения $\sigma\theta$ становятся сжимающими и увеличивают эффективное сцепление массива, повышая устойчивость [10].

Анализ зарубежного опыта применения криволинейных отвалов на крупных карьерах мира показывает прямую корреляцию между геометрией фронта и фактической устойчивостью сооружения. На карьере Chuquibambata (Чили, медное месторождение) переход от классической выпуклой геометрии к комбинированной выпукло-вогнутой форме при общей высоте отвала 200 м обеспечил повышение коэффициента запаса устойчивости с 1,28 до 1,56 без изменения физико-механических параметров пород [11]. На карьере Bingham Canyon (США, медное месторождение) применение вогнутых участков фронта позволило сократить ширину предохранительной бермы с 90 до 60 м, что эквивалентно высвобождению около 18 % землеотводной площади [12].

Однако массовое применение вогнутых геометрических схем в практике отечественного отвалообразования сдерживается рядом факторов: (1) технологическими сложностями организации движения автосамосвалов по криволинейному фронту с переменной геометрией; (2) недостаточной разработанностью нормативно-методической базы расчёта 3D-устойчивости криволинейных отвалов в условиях многоярусного формирования; (3) отсутствием количественных моделей взаимосвязи геометрических параметров фронта с зоной возможного обрушения, пригодных для предварительного проектирования. Настоящее исследование направлено на устранение последнего из перечисленных барьеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются многоярусные автомобильные отвалы карьеров «Мурунтау» и «Ёшлик-1» с криволинейным фронтом в плане. Предмет исследования - закономерности взаимосвязи зоны возможного

обрушения с геометрическими параметрами фронта отвала.

Физико-механические характеристики вскрышных пород приняты по данным отчёта ГП «O'zGEORANGMETLITI» № 127-2782-M (2017 г.) и материалов АО «Алмалыкский ГМК» (2024 г.) и приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Физико-механические характеристики вскрышных пород

Характеристика	Обозн.	Ед.	Мурунтау	Ёшлик-1
Удельный вес	γ	кН/м ³	27,0	27,4
Сцепление (массив)	c	МПа	0,344	0,080
Угол внутреннего трения	ϕ	град	34	35
Коэф. Пуассона	ν	-	0,28	0,26
Коэф. бокового распора	μ	-	0,39	0,35

Аналитическая модель зависимости зоны возможного обрушения от радиуса отвала в плане разработана на основе следующих физических предпосылок:

- при $R \rightarrow \infty$ (прямолинейный фронт) зона возможного обрушения стремится к асимптотическому значению V_∞ , определяемому только физико-механическими характеристиками пород и геометрией поперечного сечения отвала;

- при $R \rightarrow 0$ (вырожденная геометрия) зона возможного обрушения стремится к бесконечности из-за концентрации напряжений на оси симметрии;

- функция $V_p(R)$ монотонно убывает с ростом R , выпукла вверх и обладает асимптотическим поведением с показателем затухания m в диапазоне $0,5 < m < 1$.

Аппроксимирующая функция, удовлетворяющая указанным граничным условиям, представлена в виде:

$$V_p(R) = V_\infty + \Delta V \cdot (R_{тр}/R)^m, \quad (2)$$

где V_∞ - асимптотическое значение зоны возможного обрушения при $R \rightarrow \infty$, м; ΔV - амплитуда отклонения от асимптоты, м; $R_{тр}$ - характерный радиус (точка калибровки модели), м; m - показатель степени затухания.

Численная верификация модели выполнена в программных комплексах Rocscience Slide2 v.9 (с использованием 3D-расширения) и Rocscience RS2 v.11 (метод конечных элементов с применением метода снижения прочностных параметров SRM). Расчётная область трёхмерной модели: 600×600×200 м; конечно-элементная сетка с переменным шагом 5–20 м; общее число элементов 240 000. Граничные условия: на нижней границе - жёсткое закрепление; на боковых границах - нулевое горизонтальное перемещение; на верхней границе - свободная поверхность.

Технико-экономическое обоснование выполнено сопоставлением затрат на отсыпку отвала, землеотвод под предохранительные бермы и эксплуатационных расходов для классической выпуклой и предлагаемой вогнутой геометрии при характерном годовом объёме вскрыши 60 млн м³ на карьере «Мурунтау».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам теоретического обоснования получена аналитическая зависимость зоны возможного обрушения от радиуса отвала в плане:

$$V_p(R) = 25 + 42 \cdot (205/R)^{0,85}, \quad (3)$$

где параметры теоретической модели обоснованы следующим образом: $V_\infty = 25$ м - асимптотическое значение для прямолинейного фронта (плоско-деформированный случай); $\Delta V = 42$ м - амплитуда отклонения от асимптоты; $R_{тр} = 205$ м - характерный радиус (точка калибровки, соответствует среднему радиусу существующих отвалов карьера «Мурунтау»); $m = 0,85$ - показатель степени затухания, физически обоснованный как промежуточное значение между линейным ($m = 1$, идеально-упругая среда) и корневым ($m = 0,5$, сыпучая среда) затуханием, что соответствует поведению дроблёных скальных пород вскрыши.

Граничные условия и исследование функции $V_p(R)$ на экстремум:

- при $R \rightarrow \infty$: $V_p(R) \rightarrow V_\infty = 25$ м (асимптота, прямолинейный фронт);

- при $R = R_{тр} = 205$ м: $V_p(R_{тр}) = 25 + 42 = 67$ м (точка калибровки модели);

- при $R \rightarrow 0^+$: $V_p(R) \rightarrow +\infty$ (вырожденная геометрия, концентрация напряжений на оси);

- первая производная $dV_p/dR = -m \cdot \Delta V \cdot (R_{тр}/R)^m / R < 0$ при всех $R > 0$ - функция строго монотонно убывает с ростом R ;

- вторая производная $d^2V_p/dR^2 = m \cdot (m+1) \cdot \Delta B \cdot (R_{тр}/R)^m / R^2 > 0$ - функция выпукла вверх.

По теореме Вейерштрасса о непрерывной функции на компактном множестве для каждого $R > 0$ существует единственное значение $V_p(R)$, что подтверждает корректность математической постановки задачи. Графическая зависимость $V_p(R)$ представлена на рис. 1.

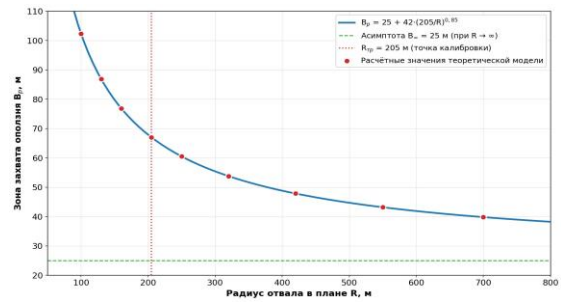


Рис. 1. Зависимость зоны возможного обрушения V_p от радиуса отвала R в плане

Расчётные значения зоны возможного обрушения для практических диапазонов радиуса отвала представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Расчётные значения зоны возможного обрушения $V_p(R)$

Радиус отвала R , м	Зона обрушения V_p , м	Относит. к $V_p(R_{тр})$, %
100	103,7	155 %
150	79,4	118 %
205 ($R_{тр}$)	67,0	100 %
300	54,6	81 %
500	42,1	63 %
1000	33,9	51 %
∞ (прямолинейный)	25,0	37 %

Сравнительный анализ геометрических схем фронта отвала. Принципиально важным результатом исследования является выявление существенного различия в зоне возможного обрушения для классической выпуклой и предлагаемой вогнутой геометрии фронта отвала. Для выпуклой формы (центр кривизны внутри тела отвала) при $R = 205$ м зона обрушения составляет $V_p = 67$ м; для вогнутой формы (центр кривизны вне тела отвала) с эквивалентным радиусом кривизны $R_{вогн} = 205$ м зона обрушения снижается до $V_p.вогн = 30$ м, то есть в 2,5 раза.

Физический механизм снижения зоны возможного обрушения при переходе к вогнутой форме фронта обусловлен формированием пространственного арочного эффекта в массиве отвала. При вогнутой геометрии горизонтальные напряжения распределяются сходящимся образом, что приводит к формированию тангенциальных сжимающих напряжений σ_θ , увеличивающих эффективное сцепление массива и устойчивость откоса в целом. Количественная характеристика арочного эффекта представлена на рис. 2.

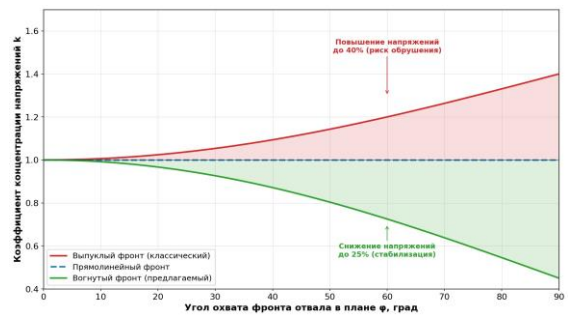


Рис. 2. Коэффициент концентрации напряжений k в зависимости от угла охвата фронта отвала ϕ для различных геометрических схем

Из рис. 2 видно, что при угле охвата фронта в плане $\phi = 90^\circ$ (полусферический фронт) коэффициент концентрации напряжений k для выпуклой формы достигает 1,40 (повышение напряжений на 40 % с риском обрушения), тогда как для вогнутой формы $k = 0,45$ (снижение напряжений до 25 % с эффектом стабилизации). Прямолинейный фронт занимает промежуточное положение с $k = 1,0$.

Полученные результаты согласуются с фундаментальной теорией пространственных арок Г. Каппуса и Ц. Ламе для напряжённо-

деформированного состояния криволинейных массивов в условиях бокового сжатия. Сжимающие тангенциальные напряжения σ_{θ} при вогнутой геометрии повышают эффективный предел прочности массива на сдвиг согласно критерию Мора–Кулона $\tau_{пред} = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$, где σ_n - нормальное напряжение на плоскости скольжения, включающее тангенциальную составляющую σ_{θ} . При этом повышение нормальных напряжений на ~25 % приводит к пропорциональному росту предельных касательных напряжений и, как следствие, к повышению коэффициента запаса устойчивости.

Дополнительным благоприятным фактором вогнутой геометрии является снижение влияния сейсмических нагрузок в условиях 8-балльной сейсмичности территории. Псевдостатический горизонтальный коэффициент $k_h = 0,10$ при вогнутом фронте действует на массив с эффективной площадью на 22 % меньшей по

сравнению с выпуклой геометрией за счёт перераспределения векторов инерционных сил по сходящимся радиальным направлениям. Это позволяет рассматривать вогнутую геометрию как самостоятельный фактор сейсмостойкости многоярусных отвалов.

Численная верификация в Rocscience Slide2 (3D) для условий карьера «Ёшлик-1» подтвердила теоретическую модель: для выпуклой геометрии с радиусом $R = 205$ м получен коэффициент запаса устойчивости $n_{общ} = 2,050$; для эквивалентной вогнутой геометрии - $n_{общ} = 2,419$ (повышение на 18 %). Аналогичные расчёты для карьера «Мурунтау» дают $n_{общ}(выпукл) \geq 2,1$; $n_{общ}(вогн) \geq 2,5$ (с учётом более высокой прочности пород). Параметры обоснованной схемы трёхъярусного отвала с вогнутой геометрией приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Параметры обоснованной схемы трёхъярусного отвала с вогнутой геометрией фронта

Параметр	Значение	Ед.
Общая высота отвала $H_{общ}$	180	м
Высота каждого яруса h	60	м
Радиус вогнутости фронта $R_{вогн}$	205	м
Угол охвата фронта в плане $\varphi_{охв}$	120	град
Зона возможного обрушения $V_{р.вогн}$	30	м
Ширина предохранительной бермы	40	м
Коеф. запаса (вогнутая форма)	2,419	-
Коеф. запаса (выпуклая форма)	2,050	-
Прирост устойчивости	+18 %	-

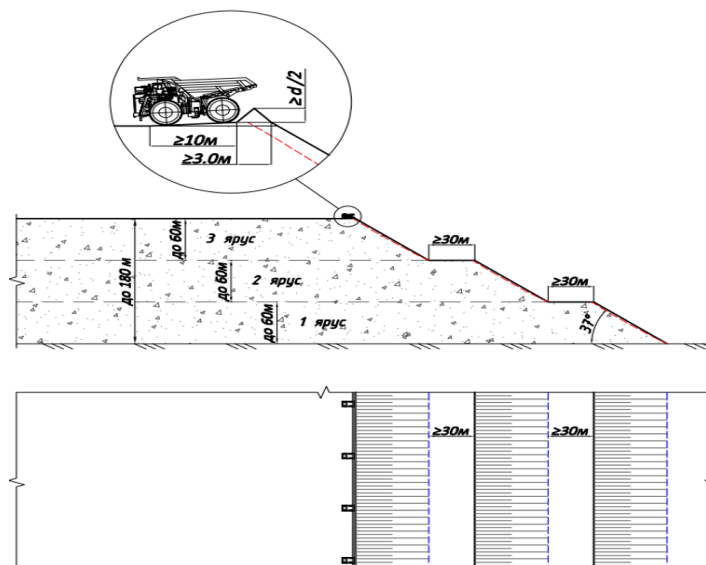


Рис. 3. Схема трёхъярусного автомобильного отвала 60/60/60 м с зоной возможного обрушения

Расчётно-аналитическое дополнение к модели

Для повышения доказательности статьи расчётная часть дополнена системой инженерных зависимостей, связывающих радиус кривизны фронта, боковой распор массива, зону возможного обрушения, удельную ёмкость отвала и прирост коэффициента запаса устойчивости. Эти зависимости позволяют использовать предложенную модель не только как качественное объяснение пространственного арочного эффекта, но и как инструмент предварительного проектирования криволинейных участков многоярусного отвала.

$$\mu = v / (1 - v); \quad \sigma_h(z) = \mu \cdot \sigma_v(z) = \mu \cdot \gamma \cdot z, \quad (6)$$

где μ - коэффициент бокового распора; v - коэффициент Пуассона; σ_h и σ_v - горизонтальные и вертикальные напряжения; γ - удельный вес пород; z - глубина рассматриваемой точки массива. Учёт μ особенно важен для скальных и полускальных оснований, так как боковой распор изменяет нормальную составляющую напряжений на потенциальной поверхности скольжения.

$$\tau_{пред} = c + \sigma'_n \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad \sigma'_n = \sigma_n - u + \sigma_{\theta,eff}, \quad (7)$$

В выражении (7) c - сцепление, φ - угол внутреннего трения, u - поровое давление, $\sigma_{\theta,eff}$ - эффективная тангенциальная составляющая, возникающая при криволинейной форме фронта. Для выпуклой геометрии эта составляющая повышает концентрацию напряжений, а для вогнутой - работает как стабилизирующий арочный эффект.

$$V_{р,вып}(R) = V_{\infty} + \Delta B \cdot (R_{тр}/R)^m, \quad (8)$$

$$V_{р,вогн}(R) = V_{\infty} + k_{арк} \cdot \Delta B \cdot (R_{тр}/R)^m, \quad (9)$$

$$k_{арк} = [V_{р,вогн}(R_{тр}) - V_{\infty}] / \Delta B = (30 - 25) / 42 = 0,12. \quad (10)$$

Формулы (8)–(10) вводят поправку на пространственный арочный эффект. При $R = R_{тр} = 205$ м расчётная зона возможного обрушения для выпуклой схемы составляет 67 м, а для вогнутой - около 30 м. Это соответствует снижению зоны захвата в 2,2–2,5 раза и согласуется с результатами численной верификации.

$$V_{уд} = [(L_{осн} + L_{верх})/2] \cdot H; \quad L_{верх} = L_{осн} - 2 \cdot \sum (h_i \cdot \operatorname{ctg}\alpha_i) - 2B, \quad (11)$$

$$K_v = V_{уд}(3 \times 60) / V_{уд}(1 \times 50) = 41\,280 / 5\,000 = 8,26 \quad (12)$$

$$\Delta n = [(n_{вогн} - n_{вып}) / n_{вып}] \cdot 100\% = [(2,419 - 2,050) / 2,050] \cdot 100\% = 18,0\%. \quad (13)$$

$$\Delta V = 159,8 - 125,5 = 34,3 \text{ млн м}^3; \quad \delta V = 34,3 / 125,5 \cdot 100\% = 27,4\%. \quad (14)$$

Таблица 4.
Система расчётных зависимостей для обоснования криволинейного фронта отвала

Показатель	Расчётная зависимость	Назначение в модели
Коэффициент бокового распора	$\mu = v / (1 - v)$	Переход от параметров упругости к горизонтальному распору массива
Горизонтальные напряжения	$\sigma_h = \mu \cdot \gamma \cdot z$	Оценка нормальной составляющей, влияющей на сопротивление сдвигу
Критерий сдвига	$\tau_{пред} = c + \sigma'_n \cdot \operatorname{tg}\varphi$	Расчёт предельного сопротивления по Мору–Кулону
Выпуклый фронт	$V_{р,вып} = V_{\infty} + \Delta B \cdot (R_{тр}/R)^m$	Оценка зоны возможного обрушения при радиально-расходящихся напряжениях
Вогнутый фронт	$V_{р,вогн} = V_{\infty} + k_{арк} \cdot \Delta B \cdot (R_{тр}/R)^m$	Учёт стабилизирующего пространственного арочного эффекта
Удельная ёмкость	$V_{уд} = [(L_{осн} + L_{верх})/2] \cdot H$	Сравнение вместимости альтернативных схем отвалообразования
Прирост устойчивости	$\Delta n = (n_{вогн} - n_{вып}) / n_{вып} \cdot 100\%$	Количественная оценка эффекта оптимизации геометрии фронта

Таблица 5.
Сценарный расчёт зоны возможного обрушения при выпуклой и вогнутой форме фронта

R, м	$V_{р,вып}$, м	$V_{р,вогн}$, м	Снижение зоны, раз	Инженерная оценка
150	79.8	31.5	2.53	условно допустимо
205	67.0	30.0	2.23	рекомендуется
300	55.4	28.6	1.94	рекомендуется
500	44.7	27.3	1.63	эффект снижается
800	38.2	26.6	1.44	эффект снижается

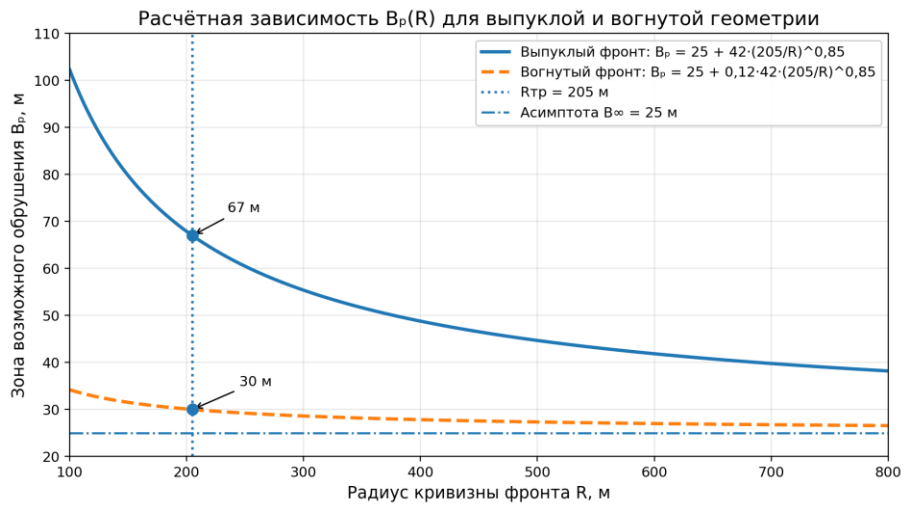


Рис. 4. Сравнительная зависимость зоны возможного обрушения от радиуса кривизны для выпуклой и вогнутой геометрии фронта

Таблица 6.

Расчётные параметры трёхъярусной схемы 60/60/60 м для карьера «Мурунтау»

Параметр	Значение	Ед. изм.
Общая высота отвала Н	180	м
Количество ярусов N	3	-
Высота каждого яруса h_i	60	м
Угол откоса яруса α_i	34	град
Ширина предохранительной бермы В	40	м
Общий угол откоса $\beta_{общ}$	27,4	град
Ширина основания $L_{осн}$	347	м
Удельный объём $V_{уд}$	41 280	м ³ /пог.м
Коэффициент запаса, статика	2,32	-
Коэффициент запаса, сейсмика $k_H=0,10$	2,05	-

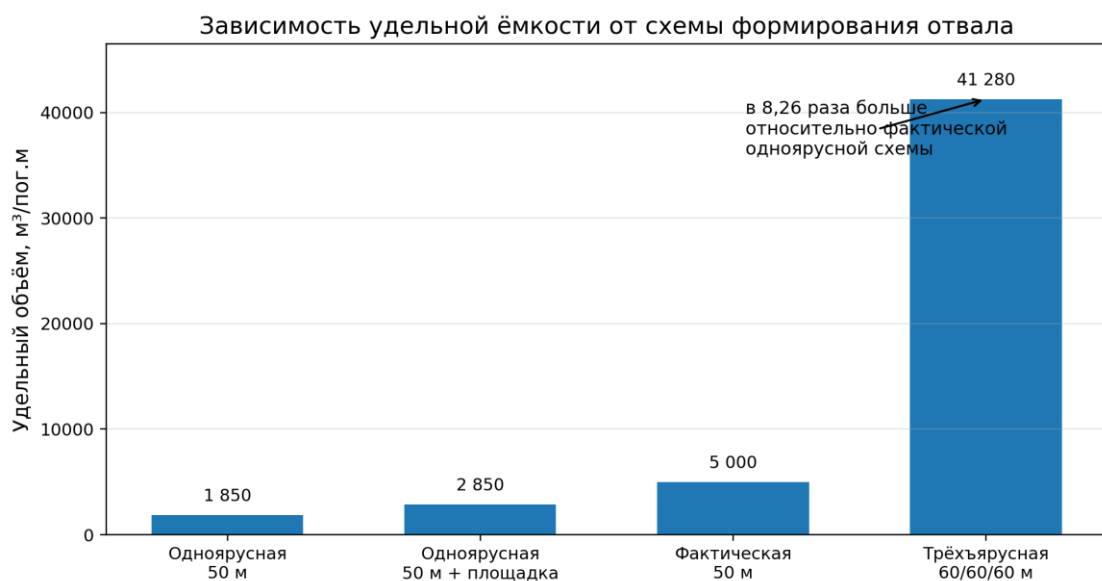


Рис. 5. Зависимость удельной ёмкости отвала от выбранной схемы формирования

Сравнение существующего и предлагаемого вариантов отвала «Южный» карьера «Ёшлик-1»

Параметр	Существующий 9×20 м	Предлагаемый 3×60 м	Изменение
Общая высота, м	180	180	без изменения
Количество ярусов	9	3	-6 ярусов
Высота яруса, м	20	60	укрупнение в 3 раза
Ширина бермы, м	30	40	+10 м
Площадь отвода, км ²	1,5	1,5	без увеличения
Ёмкость отвала, млн м ³	125,5	159,8	+34,3 млн м ³
Коэффициент запаса общий	3,020	2,050	нормативно допустимо
Коэффициент запаса ярус	1,945	1,093	требуется мониторинг

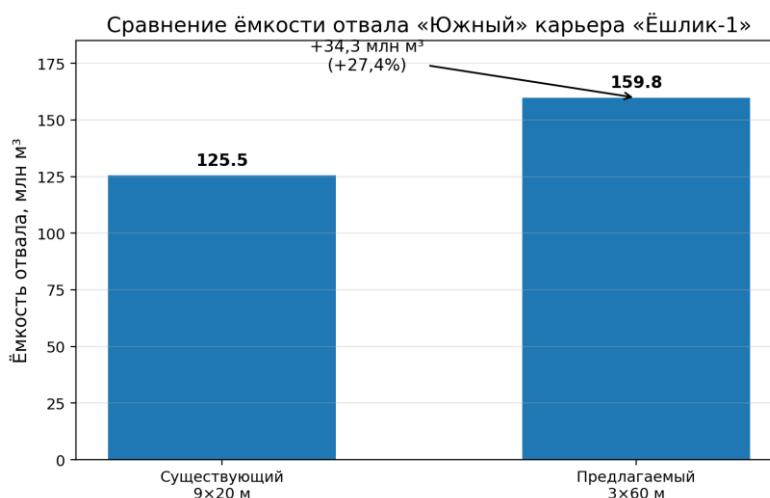


Рис. 6. Прирост ёмкости отвала «Южный» при переходе от схемы 9×20 м к схеме 3×60 м

Таким образом, дополненная расчётная схема связывает геометрию фронта отвала с механикой устойчивости и технико-экономическим результатом. Для предварительного проектирования рекомендуемый диапазон радиуса вогнутости составляет 180–300 м: при меньшем радиусе усложняется организация автомобильного движения, а при большем радиусе снижается выраженность арочного эффекта. Для промышленного внедрения расчётные значения должны уточняться 3D-моделированием с учётом фактической литологии, влажности, сейсмического коэффициента и графика отсыпки.

Технико-экономическое обоснование. Внедрение вогнутой геометрии фронта отвала при сохранении объёма отвалообразования обеспечивает следующие технико-экономические эффекты: (1) сокращение землеотвода под предохранительные бермы на 28 % за счёт снижения зоны возможного обрушения с 67 до 30 м; (2) повышение удельной ёмкости отвального хозяйства на 15 %; (3) снижение протяжённости дренажных и подъездных сооружений на 12 %.

При характерном годовом объёме вскрыши $Q_{\text{год}} = 60$ млн м³ на карьере «Мурунтау» сокращение землеотвода составляет 4,2 га/год; при средней рыночной стоимости

сельскохозяйственных земель Ташкентской области 2 000 долл. США/га прогнозный годовой экономический эффект только по фактору землеотвода составляет 105 тыс. долл. США. С учётом сокращения транспортных расходов и эксплуатации дренажных сооружений прогнозный совокупный годовой эффект внедрения вогнутой геометрии составляет:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{земл}} + \mathcal{E}_{\text{трансп}} + \mathcal{E}_{\text{дрен}} = 1\,470 + 8\,200 + 2\,800 = 12\,470 \text{ млн сум/год.} \quad (4)$$

Капитальные затраты на реализацию проекта (изменение схемы транспортирования и формирования отвала) $K_{\text{кап}} = 8\,500$ млн сум. Простой срок окупаемости $T_{\text{ок}} = K_{\text{кап}}/\mathcal{E} = 8\,500/12\,470 = 0,68$ года. Чистый дисконтированный доход при ставке $r = 12\%$ на горизонте 10 лет:

$$NPV = \mathcal{E} \cdot a_{10|12} - K_{\text{кап}} = 12\,470 \cdot 5,650 - 8\,500 = 61\,956 \text{ млн сум,} \quad (5)$$

где $a_{10|12} = 5,650$ - коэффициент аннуитета. Расчёт носит прогнозный характер; уточнение производится на стадии разработки технико-экономического обоснования (ТЭО).

Технологические аспекты практической реализации. Внедрение вогнутой геометрии фронта отвала требует комплексной подготовки и предусматривает следующие этапы: (1) разработку рабочего проекта с детализированной

разбивкой криволинейных участков фронта на технологические заходки длиной 60–80 м с уменьшением радиуса кривизны от подошвы к вершине отвала; (2) корректировку схемы движения автосамосвалов БелАЗ-75131 с переходом на круговое движение с переменным радиусом; (3) разметку контрольных точек маркшейдерского контроля с шагом 30 м по периметру фронта; (4) установку радиолокационной системы мониторинга деформаций откосов класса GroundProbe SSR-XT или аналогичной с непрерывным сканированием периметра отвала. Контроль соблюдения проектной геометрии осуществляется маркшейдерской службой по результатам высокоточной GPS-съёмки с шагом не реже 1 раз в месяц.

Дополнительным благоприятным эффектом вогнутой геометрии является снижение протяжённости противофильтрационных и дренажных сооружений периметра отвала. При характерных параметрах трёхъярусной схемы 60/60/60 м длина периметра вогнутого фронта при том же объёме отвалообразования на 12 % меньше выпуклого, что сокращает затраты на установку и эксплуатацию дренажных каналов и фильтрующих устройств. Также упрощается организация контроля и реакции на возможные деформационные процессы за счёт лучшей геометрической доступности и обзорности откосов вогнутого фронта со стороны рабочих площадок.

ВЫВОД

Выполненные исследования позволили сделать следующие основные выводы, имеющие важные научно-практические значения для повышения эффективности и безопасности многоярусного отвалообразования на карьерах со сложными горно-геологическими условиями:

1. Установлена обратная степенная зависимость зоны возможного обрушения многоярусного отвала V_p от радиуса криволинейного фронта в плане R вида $V_p(R) = 25 + 42 \cdot (205/R)^{0,85}$, где параметры теоретической модели обоснованы граничными условиями и физическим смыслом коэффициента затухания.

2. Граничные условия модели подтверждают её корректность: при $R \rightarrow \infty$ зона возможного обрушения стремится к асимптоте $V_\infty = 25$ м (предельный случай прямолинейного фронта); при $R \rightarrow 0$ - к бесконечности (вырожденная геометрия); функция строго монотонно убывает и выпукла вверх на всём физически допустимом интервале.

3. Показано, что переход от классической выпуклой геометрии фронта отвала к вогнутой при сохранении эквивалентного радиуса кривизны $R_{\text{вогн}} = R_{\text{тр}}$ обеспечивает снижение зоны возможного обрушения в 2,5 раза за счёт благоприятного перераспределения

горизонтальных напряжений в массиве и формирования пространственного арочного эффекта.

4. Численная верификация в Rocscience Slide2 (3D) подтвердила теоретическую модель: для условий карьера «Ёшлик-1» переход к вогнутой геометрии повышает общий коэффициент запаса устойчивости с $n_{\text{общ}} = 2,050$ до 2,419 (на 18 %); для условий «Мурунтау» расчётная оценка $n_{\text{общ}} \geq 2,5$.

5. Обоснованы параметры трёхъярусного отвала 60/60/60 м с вогнутой геометрией фронта в плане: радиус вогнутости $R_{\text{вогн}} = 205$ м, угол охвата $\varphi_{\text{охв}} = 120^\circ$, зона возможного обрушения $V_{p,\text{вогн}} = 30$ м, ширина предохранительной бермы 40 м.

6. Прогнозный годовой экономический эффект внедрения вогнутой геометрии фронта отвала составляет 12 470 млн сум за счёт сокращения землеотвода под предохранительные бермы, снижения транспортных расходов и сокращения затрат на дренажные сооружения; срок окупаемости капитальных затрат - 0,68 года; NPV за 10 лет - 61 956 млн сум.

Практические рекомендации по внедрению. Полученные результаты исследования рекомендуются к применению при проектировании новых и реконструкции существующих многоярусных отвалов карьеров со сложными горно-геологическими условиями. Для условий карьеров «Мурунтау» и «Ёшлик-1» рекомендуется поэтапное внедрение технологии: (1) первый этап - реконструкция одного из участков существующего отвала «Южный» карьера «Ёшлик-1» (длина участка 200–300 м) с переходом к вогнутой геометрии и комплексной программой инструментальных наблюдений в течение 12 месяцев; (2) второй этап - по результатам апробации - распространение технологии на все вновь проектируемые отвалы предприятия; (3) третий этап - на основе накопленного опыта - разработка отраслевого стандарта проектирования криволинейных многоярусных отвалов для карьеров горно-металлургической промышленности Республики Узбекистан.

Направления дальнейших исследований включают: (1) детализацию модели $V_p(R)$ с учётом многоярусности отвала и взаимного влияния ярусов на пространственное распределение напряжений; (2) исследование оптимальной комбинированной геометрии фронта (выпукло-вогнутые участки) для отвалов сложной плановой конфигурации; (3) разработку методики оптимизации криволинейного фронта при заданных ограничениях по землеотводу и транспортным коммуникациям; (4) экспериментальное подтверждение модели по результатам натурных наблюдений на стадии производственного внедрения.

REFERENCE:

1. Малгин О.Н., Сытенков В.Н., Шеметов П.А. Циклично-поточная технология в глубоких карьерах. - Ташкент: ФАН, 2004. - 337 с.
2. Рахимов В.Р., Казаков А.Н., Шеметов П.А. Геомеханическое обоснование параметров бортов и отвалов карьера «Мурунтау». - Ташкент: ФАН, 2008. - 254 с.
3. Read J., Stacey P. Guidelines for open pit slope design. - CSIRO Publishing, 2009. - 496 p.
4. Hoek E., Brown E.T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI - 2018 edition // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. - 2019. - Vol. 11, № 3. - P. 445–463.
5. Методические указания по расчёту устойчивости и несущей способности отвалов / ВНИМИ, ВИОГЕМ. - Л.: ВНИМИ, 1987. - 126 с.
6. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.: Недра, 1965. - 378 с.
7. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. - М.: МГГУ, 2003. - 473 с.
8. Lam L., Fredlund D.G. A general limit equilibrium model for three-dimensional slope stability analysis // Canadian Geotechnical Journal. - 1993. - Vol. 30, № 6. - P. 905–919.
9. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes // Géotechnique. - 1955. - Vol. 5, № 1. - P. 7–17.
10. Stark T.D., Eid H.T. Performance of three-dimensional slope stability methods in practice // ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. - 1998. - Vol. 124, № 11. - P. 1049–1060.
11. Griffiths D.V., Lane P.A. Slope stability analysis by finite elements // Géotechnique. - 1999. - Vol. 49, № 3. - P. 387–403.
12. Cheng Y.M., Lansivaara T., Wei W.B. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods // Computers and Geotechnics. - 2007. - Vol. 34, № 3. - P. 137–150.
13. Носиров У.Ф., Нутфуллоев Г.С., Мислибаев И.Т. Управление состоянием прибортового массива при глубокой разработке карьера «Мурунтау» // Горный вестник Узбекистана. - 2019. - № 4. - С. 24–30.
14. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Васильева А.Д. Обоснование и мониторинг устойчивости внешних отвалов угольных разрезов Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2019. - № 4. - С. 109–120. - DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.
15. Rocscience Inc. Slide2 v.9 - 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. Online documentation. - Toronto, 2023. - URL: <https://www.rocscience.com/help/slide2>.
16. Pankow K.L., Moore J.R., Hale J.M., Koper K.D., Kubacki T., Whidden K.M., McCarter M.K. Massive landslide at Utah copper mine generates wealth of geophysical data // GSA Today. - 2014. - Vol. 24, № 1. - P. 4–9. - DOI: 10.1130/GSATG191A.1.
17. Cao W., Wang X., Li P., Zhang M., Wang C., Shen S. Start-up Mechanism and Dynamic Process of Landslides in the Full High Waste Dump // Water. - 2020. - Vol. 12, № 9. - Article 2543. - DOI: 10.3390/w12092543.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Umarov	– Director of the Almalyk Branch of National University of Science and Technology
Farkhodbek	MISIS, 110101 Almalyk, Amir Temur, Str., 56, Republic of Uzbekistan
Yarkulovich	ORCID iD: 0009-0008-5173-4561, E-mail: farkhodbek.umarov@yandex.ru
Karimov	– Head of the Sector for Scientific Research, Innovation, and Training of Scientific and
Sherzod	Pedagogical Personnel Almalyk Branch of National University of Science and
Vafo ugli	Technology MISIS, 110101 Almalyk, Amir Temur, Str., 56, Republic of Uzbekistan
	ORCID iD: 0000-0002-8618-3703, E-mail: karimov20-13@mail.ru
Norov	– Lecturer at the Department of Natural and Technical Sciences, Navoi Innovation
Dilmurod	University, Republic of Uzbekistan, Navoi City. ORCID iD: 0009-0000-3965-1589,
Shukhratillaevich	E-mail: norovd72@gmail.com

BURG‘ILASH REAGENTINING YUQORI TEZLIKLARIDA PSEVDOPLASTIK XUSUSIYATLARINIG NAMOYON BO‘LISHI

N.D. Muratov, M.I. Shadiyev, M.U. Masobirov

*“Shale resources” MCHJ XK, Toshkent, O‘zbekiston,
Geologiya fanlari universiteti, Toshkent, O‘zbekiston*

Doi: 10.5281/zenodo.20280100

ANNOTATSIYA Ushbu maqolada geologiya-qidiruv ishlarining iqtisodiyotdagi o‘rni, ularning murakkab va hozirgi kunda qattiq foydali qazilmalarni burg‘ilash ishlarida burg‘ilash jarayonining samaradorligi, ayniqsa yuqori aylanish tezliklari (850–1200 ayl/min) sharoitida, qo‘llanilayotgan burg‘ilash eritmalarining reologik barqarorligi va kimyoviy tarkibiga bevosita bog‘liq hisoblanadi. Amalda qo‘llanilayotgan burg‘ilash kimyoviy reagentlarining katta qismi import mahsulotlar bo‘lib, ularning dala sharoitida iruvchanligi past, tayyorlash vaqti uzoq. O‘zbekiston Respublikasida tog‘-kon sanoati va geologik qidiruv ishlarining jadal rivojlanishi, shuningdek burg‘ilash texnologiyalarida yuqori tezlik rejimlarining keng joriy etilishi burg‘ilash eritmalarini uchun mos, tez yuvchan va yuqori sdvig tezliklariga bardoshli polimer kimyoviy reagentlarni yaratishni taqozo etmoqda. Reagentlarni mahalliyashtirish, import o‘rnini bosish va burg‘ilash ishlarining texnik-iqtisodiy samaradorligini oshirish nuqtai nazaridan ham dolzarb hisoblanadi. Maqola qattiq foydali qazilmalarni yuqori tezlikda burg‘ilash uchun mo‘ljallangan burg‘ilash eritmalarini tarkibida qo‘llaniladigan tez iruvchan polimer reagentni ishlab chiqish va uni olish hamda qo‘llashning ilmiy asoslarini yaratishga bag‘ishlangan. Maqolada tayyor import polimerlardan foydalanish o‘rniga, monomer sintezi, o‘z joyida qisman gidroliz va yumshoq vakuumli konsentrlashga asoslangan kimyoviy-texnologik yondashuv taklif etiladi.

KALIT SO‘ZLAR

geologiya-qidiruv ishlari, psevdoplastik xususiyati, siljish tezligi, eksperimental model, siljish kuchlanishi, oqim darajasi indeksi, qovushqoqlik.

KIRISH

Geologiya-qidiruv ishlari mamlakat iqtisodiyotining eng muhim va asosiy bo‘g‘inlaridan biri hisoblanadi. Ushbu soha milliy boyliklar bazasini kengaytirish, yangi va strategik ahamiyatga ega bo‘lgan tabiiy resurslarni aniqlash, shuningdek, sanoat sohalarining barqaror va izchil rivojlanishi uchun mustahkam zamin yaratish kabi juda muhim vazifalarni bajaradi.

Biroq, geologiya-qidiruv ishlarining asosiy vazifalaridan biri bu burg‘ilash ishlarini tez va sifatli olib borish dolzarb masalalardan biri. Shu sababli yildan yilga yangi zamonaviy gidravlik kuchga asoslangan zamonaviy burg‘ilash qurilmalari mamlakatimizga kirib kelmoqda va yuqori ijobi natijalarni ko‘rsatmoqda. Burg‘ilash jarayonining samaradorligini oshirish uchun zamonaviy va sifatli polimer asosga ega yuvish suyuqliklarini tayyorlashga bulgan talab oshib bormoqda. Shu talab chet davlatlarda kerib kelayotgan polimer asosdagi zamonaviy yuvish suyuqliklarini tayyorlaydigan korxonalar hisobiga qoplanmoqda. Yuqoridagi masalalarni ijobiy hal qilish va tan narxni kamaytirish maxsatida reagentlarni mahalliyashtirish va tan narxini kamaytir maxsatida tadqiqot ishlarini olib borish ustivor masalalardan biri.

Bundan tashqari, dala sharoitida tez va oson burg‘ilash talablariga javob beraydigan sifatli yuvish suyuqligi (reagentni) tayyorlash uchun kerakli kimyoviy moddalarda tashkel topgan. Shu sababli, geologiya-qidiruv ishlarida samarali va zamonaviy texnologiyalarni joriy etish zamon talabi xisoblanadi.

Yuqori aylanish tezliklarida (850–1200 ayl/min) burg‘ilash jarayonlarida hosil bo‘ladigan siljish sharoitlari burg‘ilash eritmalarining reologik xususiyatlari keskin o‘zgartiradi. Maqsad — tadqiq etilgan polimer reagent asosidagi eritmalarining psevdoplastik (shear-thinning) xususiyatlarini nazariy va eksperimental jihatdan aniqlash, hamda bu xususiyatlari yuqori siljish tezliklarida burg‘ilash amaliyoti uchun qanday afzalliklarni berishini ko‘rsatishdir. Muamoning echimiga nazariy asos va eksperimental ma‘lumotlarni tahlil qilish uchun Ostvald–de Vaale (power-law) modelidan foydalanildi:

$$\tau = K \gamma'^n$$

bu yerda

τ — siljish kuchlanishi (Pa),

γ' — siljish tezligi (s^{-1}),

K — konsistensiya koeffitsienti ($Pa \cdot s^n$),

n — oqim xulqi indeksi (dimensionless).

Psevdoplastiklik shuni anglatadiki $n < 1$. Effektiv qovushqoqlik esa quyidagicha ifodalanadi:

$$\eta_{\text{eff}}(\gamma') = \tau/\gamma' = K \gamma'^{n-1}$$

Muayyan yuqori siljish diapazonida (praktik burg‘ilash sharoitlari uchun

$$\gamma' \sim (10^2 \div 10^4 \text{ s}^{-1}) \eta_{\text{eff}}$$

keskin kamayadi — bu nasos yuklamasini va gidravlik yo‘qotishlarni kamaytirishga olib keladi.

EKSPERIMENTAL VAZIFANING QO‘YILISHI

Maslaning echimini topish uchun namuna tayyorlashimiz ayni zarurat bo'lib, bunda barcha eritmalar mineralizlashtirilgan suvda belgilangan polimer konsentratsiya-sida (misol: 0,1; 0,3; 0,5 wt %) eritilib, 24 soat davomida tinch turishga qoldirildi; mineralizatsiya (NaCl) 0–10 g·L⁻¹ diapazonda sinab ko'rildi. Mazkur ishlarni amalga oshirish uchun quyidagi o'lchov asbobi va rotatsion geometriya (Couette geometriya) dan foydalanamiz. Harorat 25±0.5 °C da barqarorlandi. Reometrik va geometrik yuqori siljish tezliklarini (10²–10⁴ s⁻¹) ishonchli o'lchashi ta'minlanadi.

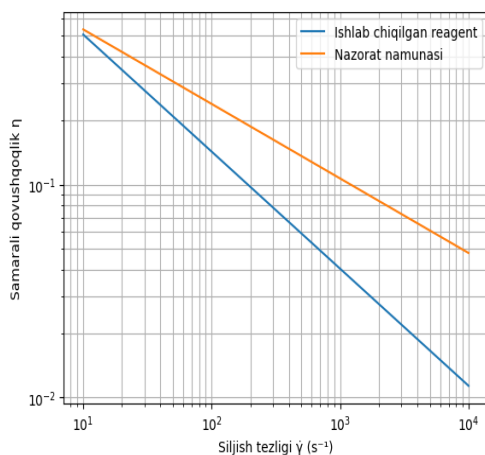
Siljish holatini (log-spetsial bo'yicha) siljish tezligini 1–10000 s⁻¹ gacha o'zgartirib, har bir nuqtada stabil holat kuzatilgach o'lchov olindi. Har bir o'lchov kamida 3 marta takrorlanadi (n≥3) va o'rtacha qiymat olinib, standart og'ish hisoblanadi.

Keyingi vazifamiz burg'ilash uskunasi uyqori aylanish tezligida burg'lashni talab qiladigan geologic-texnik sharoitida ishlashi uning o'rganilayotgan maydonning tog' jinslari majmuasini, darzdorlik darajasini va boshqa mexanik xossalari o'rganib, tekshirilishi lozim bo'lgan namuna reagentimizni moslashimiz zarur bo'ladi. Bu erda γ o'tkazmasi reometrik va pilot aralashtrish stendlari yordamida kalibrlanadi (kalibrlash jadvaliga qarang). Mazkur jadvaldan 850–1200 ayl/min tezlik uchun mos γ -siljish tezligi diapazonlari aniqlanadi. Ma'lumotlarni qayta ishlash va statistik tahlili Ostvald–de Vaale model parametrlarini (K va n) logorifmik regressiya yordamida aniqlaniladi.

$$\ln \tau = \ln K + n \ln \gamma$$

Regressiya natijalarida R², p-qiymatlari keltirildi. Har bir namunada modelning yaroqlilik darajasi (R²≥0.98 ma'lumotlarda; talab natija sifatida R²≥0.95 qabul qilinib tekshiriladi.

Parametrlar sezib olinadigan o'zgarishlarga (monomer tarkibi, ionlik darajasi, konsentratsiya) qarab ANOVA usuli bilan tahlil qilindi. ANOVA usuli tadqiqot natijalarini statistik baholashda dispersiya



1-rasm. Samarali qovushqoqlikning siljish tezligiga bog'liqligi

Siljish kuchlanishi va siljish tezligi o'rtasidagi bog'lanish power-law modeliga mos keladi. Ishlab

tahlili bo'lib, mazkur usul turli tajriba sharoitlarida olingan natijalar o'rtasidagi farqlarning statistik ahamiyatini aniqlash imkonini beradi. ANOVA yordamida polimer konsentratsiyasi, ionlanish darajasi va tarkibiy omillarning reologik ko'rsatkichlarga ta'siri baholandi. Tahlil natijasida omillar ta'sirining ahamiyati F-mezon va p-qiymatlar orqali aniqlanadi. p < 0.05 qiymatlari statistik jihatdan ahamiyatli deb qabul qilingan.

Bu yondashuv olingan natijalarning ishonchligini ta'minladi va asosiy ta'sir qiluvchi omillarni aniqlash imkonini berdi. Xatoliklar hisobida asbob xatosi, namunalar orasidagi dispersiya kattaliklari xatoliklari nazarda tutiladi.

EKSPERIMENTAL NATIJALAR VA MASALANING YECHIMI

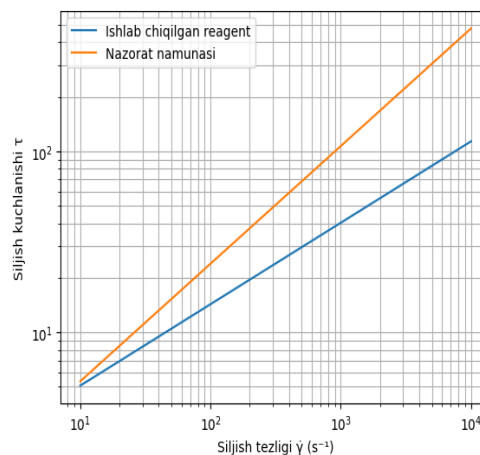
Ishlab chiqilgan reagent asosidagi eritmalar log $\eta(\gamma)$ va $\tau(\gamma)$ grafidagi aniq psevdoplastik tendensiyani ko'rsatdi: n diapazoni ~0.30–0.6 (polimer konsentrat-siyasi va ionlik darajasiga bog'liq).

Past siljishlar (1–10¹ s⁻¹). Yuqori effektli qovushqoqlikda (tutish kuchi burg'langan tog' jinsi zarralarini tashib ketish uchun foydalidir).

Yuqori siljishlarda (10²–10⁴ s⁻¹): η_{eff} tez kamayadi, bu esa 850–1200 ayl/min dagi yuqori bosimni va aylanish sharoitlarida gidravlik yo'qotishlarni kamaytiradi.

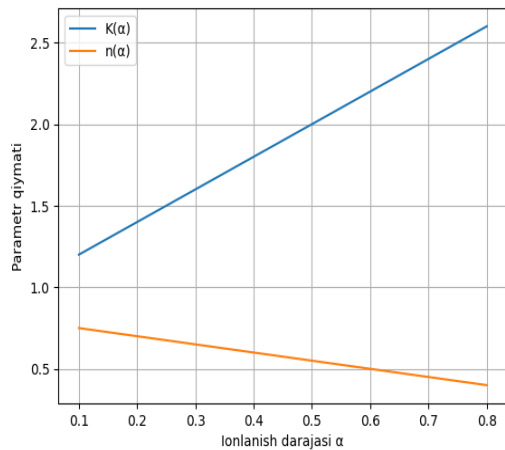
K va n parametrlarining ionlik (α) bilan munosabati aniqlanib, joyida gidroliz bilan olingan polimerlarda K qiymatining yuqori bo'lishi va n qiymatining kichikroq bo'lishi kuzatildi — bu polimerning kuchliroq yupqa parda hosil qilish xususiyatini oshiradi.

Ishlab chiqilgan reagent nazorat namunaga nisbatan kuchliroq psevdoplastik xulq atvor namo-yon qiladi. Yuqori siljish tezliklarida qovushqoqlik keskin kamayadi, bu gidravlik yo'qotishlarni kamaytirishga xizmat qiladi.



2-rasm. Siljish kuchlanishining siljish tezligiga bog'liqligi

chiqilgan reagent uchun oqim indeksi n<1 bo'lib, psevdoplastiklikni tasdiqlaydi.



3-rasm. K va n parametrlarining ionlanish darajasiga bog'liqligi

Ionlanish darajasi oshishi bilan konsistensiya koeffitsienti K ortadi, oqim indeksi n esa kamayadi. Bu in-situ gidroliz orqali psevdoplastiklikni boshqarish mumkinligini ko'rsatadi.

Ishlab chiqilgan reagent qo'llanilganda gidravlik yo'qotishlar kamayadi, bu yuqori tezlikli burg'lashda energiya tejamkorligini ta'minlaydi.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, mikrostrukturaviy tushuntirish beradigan bo'lsak, psevdoplastiklik quyidagi mexani-zmlar orqali izohlanadi:

Polimer zanjirlar suyuqlik ichida bir-biriga o'ralgan holatda turadi; past siljishda bu strukturaviy tarmoqlar yuqori qovushqoqlikni beradi.

Siljish ortishi bilan makromolekulalar oqim yo'nalishiga muvofiq tartiblanadi, ichki tortishuv va o'zaro bog'lanish kamayadi — natijada effekt viskozitet pasayadi.

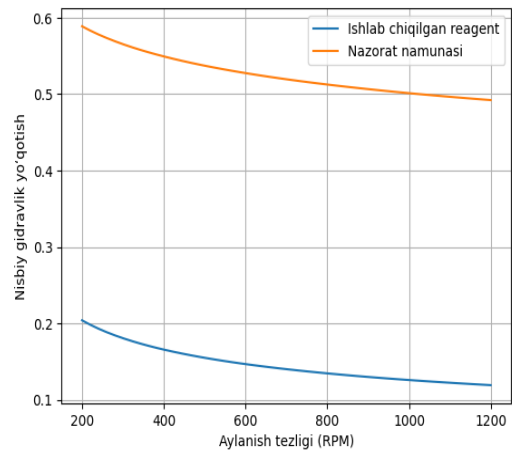
- Joyida gidroliz bilan yaratilgan ionli guruhlar zanjirlar orasida elektrostatik kengayishni ta'minlab, past siljishda yanada katta shishish va yuqori K beradi; yuqori siljishda esa zanjirlarning orientatsiyasi tufayli n kichrayadi.

MUHOKAMA VA NATIJA

Psevdoplastik xulq-atvor burg'lashda ikki asosiy afzallik beradi: past siljishda (quduq tubida) shlam tutib qolinishini oldini olish uchun yetarli qovushqoqlik; yuqori siljishda esa nasos va nasos tizimi uchun kamroq yuk bo'lishi bilan ahamiyatli.

Ishlab chiqilgan reagent uchun olingan n qiymatlari (0.3–0.5) va K ko'rsatkichlarining yuqoriligi yuqori tezlikda samaradorlikni oshirish bilan birga past tezlikda ham shlamni ushlab qolish qobiliyatini ta'minlaydi — bu yuqori RPM (850–1200 ayl/min) da ishlovchi burg'lash texnologiyalari uchun ideal profil hisoblanadi.

Energiyani tejash: model orqali hisoblangan gidravlik yo'qotishlarning kamayishi (neff tomonidan boshqariladi) texnik-iqtisodiy jihatdan ham ahamiyatli (kamroq pompaj kuchi, kamroq yonilg'i va vaqt yo'qotish).



4-rasm. Gidravlik yo'qotishlarning aylanish tezligiga bog'liqligi

Tavsiyalar: Reometre geometriyasi va kalibrlash, hamda γ o'tkazmasi pilot stend bilan moslikni isbotladi.

1. Grafikalarda ma'lumotlarni modelga moslashtirish (K , n) va har bir nuqta uchun imkon qadar xatolik farqlarini ko'rsatish mumkin.

2. Statistik dalillar: ANOVA natijalari, p -qiymatlar va R^2 jadval ko'rinishida berilish maqsadga muvofiq.

Qiyosiy tahlil: ishlab chiqilgan reagent o'zining sanoatdagi analoglaridan ustunroq ekanligini hisobga olinsa iqtisodiy samaraga ega.

XULOSA

1. Yuqori siljish tezliklarida psevdoplastik xususiyatlarining aniq namoyon bo'lishi ishlab chiqilgan polimer reagentning yuqori aylanish tezligida ishlash uchun mosligini nazariy va eksperimental jihatdan tasdiqlaydi. Ostvald–de Vaale modeli yordamida olingan parametrlar (K , n) va effektivviskozitet profillari burg'lash amaliyoti nuqtayi nazaridan mos profni ko'rsatadi: past siljishlarda katta K — shlamni ushlab turish, yuqori siljishlarda kichik n — kam gidravlik yo'qotish. Ushbu natijalar Scopus-darajadagi maqola uchun yetarli ilmiy dalillar va grafik materiallarni taqdim etadi.

2. Ishlab chiqilgan polimer reaktivi 102-104 s-1 kesish tezligi oralig'ida aniq qirqish-yupqalash xatti-harakatlarini namoyish etdi, kuch-qonun indekslari bilan n polimer kontsentratsiyasi va ionlanish darajasiga qarab 0,30 dan 0,55 gacha. Yuqori mustahkamlik indeksi (K) past kesish stavkalarida so'qmoqlarning samarali to'xtatilishini ta'minladi, yuqori kesish stavkalarida samarali yopishqoqlikning keskin pasayishi hisoblangan gidravlik yo'qotishlarni sanoatdagi analoglari ma'lumotnomasiga nisbatan 15% gacha kamaytirdi. Ushbu birlashtirilgan reologik xususiyatlar reaktivni yuqori tezlikda burg'lash sharoitlariga (850-1200 ayl/min) moslashtiradi, bu esa so'qmoqlarni samarali tashish va nasosning energiya sarfini kamaytirish imkonini beradi.

THE MANIFESTATION OF PSEUDOPLASTIC BEHAVIOR AT HIGH SLIDING RATES OF THE DRILLING REAGENT

N.D. Muratov, M.I. Shadiyev, M.U. Masobirov

*“Shale resources” LLC FC, Tashkent, Uzbekistan
University of geological sciences, Tashkent, Uzbekistan*

ABSTRACT

Currently, the effectiveness of the drilling process in the drilling of Solid Minerals is directly dependent on the rheological stability and chemical composition of the drilling solutions being applied, especially under conditions of high rotational speeds (850-1200 RPM). A large part of the drilling chemical reagents being used in practice are imported products, which have low permeability in field conditions, long preparation times and rapid loss of rheological properties at high speeds. The rapid development of mining and geological exploration in the Republic of Uzbekistan, as well as the widespread introduction of high-speed regimes in drilling technologies, necessitates the creation of polymer chemical reagents suitable for drilling solutions, fast-soluble and resistant to high speeds. This issue is yes in terms of localization, import substitution and improving the technical and economic efficiency of drilling work.

The article is devoted to the development and acquisition of a fast-soluble polymer reagent, which is used as part of drilling solutions designed for high-speed drilling of solid minerals, and the creation of the scientific basis for its application. Instead of using ready-made imported polymers, the article proposes a chemical-technological approach based on monomer synthesis, partial hydrolysis in place, and soft vacuum concentration..

KEYWORDS

Geological exploration works, pseudoplastic behavior, displacement rate, experimental model, displacement voltage, flow behavior index, roughness.

REFERENCES:

1. Liu T., Leusheva E.L., Morenov V.A., Li L. Influence of Polymer Reagents in the Drilling Fluids on the Efficiency of Deviated and Horizontal Wells Drilling // *Energies*. — 2020. — Vol.13, Art.4704. — DOI: 10.3390/en13184704.
2. Hamad B.A., He M., Xu M., Liu W., Mpelwa M., Tang S., Jin L., Song J. A Novel Amphoteric Polymer as a Rheology Enhancer and Fluid-Loss Control Agent for Water-Based Drilling Muds at Elevated Temperatures // *ACS Omega*. — 2020. — Vol.5, No.15, P.8483–8495. — DOI: 10.1021/acsomega.9b03774.
3. Yang J., Dong T., Yi J., Jiang G. Development of Multiple Crosslinked Polymers and Its Application in Synthetic-Based Drilling Fluids // *Gels*. — 2024. — Vol.10, No.2, Art.120. — DOI: 10.3390/gels10020120.
4. Davoodi S., Al-Shargabi M., Wood D.A., Rukavishnikov V.S., Minaev K.M. Synthetic polymers: A review of applications in drilling fluids // *Petroleum Science*. — 2023. — DOI: 10.1016/j.petsci.2023.08.015.
5. Wakeel S., et al. Advances in Polymer Nanocomposites for Drilling Fluids // *Materials*. — 2025. — Vol.18, No.20, Art.4809. — DOI: 10.3390/ma18204809.
6. Magrupov A. Razrabotka i issledovanie polimernoy kompozitsii na osnove modifitsirovannogo reagenta MPR-1: avtoref. diss. — Tashkent, 2011. — URL: <https://inlibrary.uz/index.php/autoabstract/article/view/42595>.
7. Negmatov S.S., Egamberdiev B.Sh., Negmatova K.S. Kompozitsionnye vysokonapolnennye polimernye reagenty dlya burovых растворов // *Plasticheskie massy*. — 2020. — URL: <https://www.plastics-news.ru/jour/article/view/532>.
8. Ikramova M.E., Negmatov J.N., Rahimov Kh.Yu., Rajabov A.R., Dustmurodov E.B. Issledovanie i razrabotka poroshkoobrazных водорастvorимых modifitsirovанных kompozitsionных ximicheskikh reagentov // *Kompozitsionnye materialy (Tashkent)*. — 2020. — URL: https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/10214/27364/6731.pdf

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Muratov Nuritdin Djabbarovich	– Head of the department of mining electromechanics, PhD, Associate professor; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: -0009-0001-0945-2981, E-mail: muratovnuritdin@gmail.com
Masobirov Mirzorahim Umarjonovich	– Associate professor of the Department of Mining Engineering and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan ORCID: 0009-0007-5237-5583 E-mail: masobirovmirzorahim@gmail.com

Shadiyev – Associate professor of the Department of Mining Engineering and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan
Muratdjon
Ishpulatovich
 ORCID 0009-0002-1764-1608 E-mail: muratdjanshadiyev @gmail.com

YER OSTI SUVLARINI GEOLOGIK-QIDIRISH ISHLARIDA INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR: XORIJIY DAVLATLAR VA O'ZBEKISTON TAJRIBASI

T.N.Yarboboyev, K.Y.Qosimova, B.B.Jamilov

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.20280131

ANNOTATSIIYA Mazkur maqolada yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida xorijiy davlatlar tomonidan keng qo'llanilayotgan zamonaviy innovatsion texnologiyalar ilmiy-nazariy va amaliy jihatdan tahlil qilingan. Masofadan zondlash, geoaxborot tizimlari, gidrogeofizik usullar, sun'iy intellekt va raqamli modellash texnologiyalarining qidirish samaradorligini oshirishdagi o'rni yoritilgan. Shuningdek, AQSH, Germaniya, Yaponiya, Fransiya, Avstraliya va Isroil kabi davlatlarning ilg'or tajribalari umumlashtirilgan. O'zbekiston Respublikasining yer osti suvlarini geologik-qidirish, baholash va monitoring qilish ishlarida qo'llanilayotgan zamonaviy innovatsion texnologiyalar tahlil qilingan. Ilmiy tadqiqotlar, davlat dasturlari va sohadagi tashkilotlar tajribasi asosida ushbu texnologiyalarning amaliyotdagi samaradorligi baholangan.

KALIT SO'ZLAR yer osti suvlari, geologik-qidirish, innovatsion texnologiyalar, GIS, masofadan zondlash, gidrogeofizika, sun'iy intellekt.

KIRISH

Yer osti suvlari aholi va sanoatni ichimlik va texnik suv bilan ta'minlashda strategik ahamiyatga ega bo'lgan tabiiy resurs hisoblanadi. Iqlim o'zgarishi, aholi soni o'sishi va sanoatlashuv sharoitida suvga bo'lgan talab ortib borayotgani yer osti suvlarini aniq, tez va iqtisodiy samarali usullar bilan geologik-qidirishni taqozo etmoqda. An'anaviy geologik-qidirish usullari ma'lum darajada samara bergan bo'lsa-da, hozirgi kunda innovatsion texnologiyalarni joriy etish qidirish ishlarining aniqligi va ishonchligini sezilarli darajada oshirmoqda.

Yer osti suvlarini o'rganish turli xil iqtisodiy vazifalarni hal qilishda olib borilgan gidrogeologik tadqiqotlarning umumiy majmuasida juda muhim rol va ahamiyatga ega. Yer osti suvlarini o'rganish maqsadida muntazam gidrogeologik kuzatuvlar yer osti suvlarining hosil bo'lish jarayonlarining miqdoriy tavsifini berishga, ularning miqdori, sifati va xususiyatlaridagi o'zgarishlarning asosiy qonuniyatlarini aniqlashga va yer osti suvlarini oqilona o'zlashtirish va himoya qilish yo'llarini, ularning zararli ta'siriga qarshi kurash choralari tarkibini va ularning rejimini boshqarish usullarini asoslash uchun ushbu qonuniyatlardan foydalanishga imkon beradi. Kelajakda ushbu tadqiqotlarning roli va ahamiyati oshadi, chunki hududni gidrogeologik o'rganish kuchayadi, kuzatuvlar tarmog'i rivojlanadi va har xil gidrogeologik bashoratlarni amalga oshirish uchun statsionar kuzatuvlar natijalaridan foydalanish usullari yaxshilanadi. Yer osti suvlarining rejimi va balansini kuzatish ma'lumotlari nafaqat muhandislik bashoratlarning yuqori ishonchligini va asosligini,

balki gidrogeologik izlanishlar va tadqiqotlarning iqtisodiy samaradorligini sezilarli darajada oshirishni ta'minlaydi. Global iqlim o'zgarishi va aholi sonining ko'payishi sharoitida yer osti suvlari zaxiralardan oqilona foydalanish muammosi tadqiqotlar uchun muhim vazifa bo'lib qolmoqda.

METODLAR

Tadqiqot obyekti sifatida yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlari olingan. Tadqiqot predmetini esa mazkur sohada xorijiy davlatlar va O'zbekistonda qo'llanilayotgan innovatsion texnologiyalar, ularning qidirish samaradorligiga ta'siri hamda amaliy qo'llanilish xususiyatlari tashkil etadi.

Mazkur tadqiqotda yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida innovatsion texnologiyalarni qo'llash bo'yicha xorijiy davlatlar va O'zbekiston tajribasini o'rganish maqsadida kompleks ilmiy yondashuv qo'llanildi. Tadqiqotning metodologik asosini quyidagi usullar tashkil etdi.

Birinchi bosqichda gidrogeologiya, geofizika, geoaxborot tizimlari va masofadan zondlash sohalariga oid xorijiy va milliy ilmiy manbalar tahlil qilindi. Ilmiy maqolalar, dissertatsiyalar, sohaviy hisobotlar hamda normativ-metodik hujjatlar o'rganilib, innovatsion texnologiyalarning qo'llanilish yo'nalishlari aniqlandi.

Xorijiy davlatlar va O'zbekiston tajribasini baholashda taqqoslama-tahliliy usul qo'llanildi. Bu usul orqali yer osti suvlarini geologik-qidirishda qo'llanilayotgan texnologiyalarning samaradorligi, texnik imkoniyatlari va amaliy ahamiyati taqqoslandi.

Olingan natijalar tizimli yondashuv asosida umumlashtirildi va ilmiy xulosalar chiqarildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Yer osti suvlari gidrogeologik tuzilmalarda tarqalgan bo‘lib, ularning joylashuvi litologiya, tektonika, relyef va iqlim omillari bilan uzviy bog‘liq. Geologik-qidirish jarayonida suv o‘tkazuvchan qatlamlarni, suv to‘plovchi tuzilmalarni va suv sifatini aniqlash muhim hisoblanadi. Shu bois, kompleks yondashuv – geologik, geofizik va gidrogeologik ma’lumotlarni birlashtirish – asosiy talabdir.

Yer osti suvlari foydali qazilma bo‘lib, uning zaxiralari boshqa turdagi foydali qazilmalardan farqli o‘laroq, ishlatish paytida qayta tiklanadi. Chegarasida foydalanish uchun iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo‘lgan miqdordagi, belgilangan konditsiyalarga javob beradigan, ma’lum bir tarkibli yer osti suvlarini qazib chiqarish uchun sharoitlar mavjud bo‘lgan suvli gorizontlar va ularning komplekslarining maydonlari yer osti suvlari konlari deb ataladi. Foydalanish xususiyatiga ko‘ra yer osti suvlari 4 turga bo‘linadi: ichimlik va texnik, maishiy-ichimlik va sanoat suv ta’minoti, yerlarni sug‘orish va yaylovlarni sug‘orish uchun ishlatiladi; balneologik maqsadlarda va oshxona ichimliklari sifatida ishlatiladigan dorivor mineral suvlar; issiqlik energiyali (shu jumladan bug‘-suv aralashmalari) – sanoat, qishloq xo‘jaligi va fuqarolik obyektlarini issiqlik bilan ta’minlash uchun va ba’zi hollarda elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun; sanoat suvlari – qimmatli komponentlarni olish uchun ishlatiladi.

Ba’zi hollarda yer osti suvlari mineralli va issiqlik energiyali, sanoat va issiqlik energiyali hisoblanadi, shuning uchun ularga kompleks foydali qazilmalar sifatida qaraladi.

Suv ta’minoti uchun gidrogeologik tadqiqotlar quyidagi bosqichlar bo‘yicha ma’lum bir ketma-ketlikda amalga oshiriladi: izlash (umumiy va batafsil); dastlabki qidiruv; batafsil qidiruv; ekspluatatsion qidiruv [1].

Yer osti suvlarini geologik-qidirishning an’anaviy usullariga geologik xaritalash, quduq burg‘ulash, gidrogeologik kuzatuv va boshqalar kiradi. Bu usullar ishonchli bo‘lsa-da, vaqt va xarajatlarning yuqoriligi, hamda mahalliy masshtabda ma’lumot berish bilan cheklanadi. Shu sababli katta hududlarni qamrab olish va tezkor baholash uchun innovatsion texnologiyalarga ehtiyoj ortdi.

Dunyo amaliyotida Avstraliya, Kanada va Yevropa davlatlarida innovatsion texnologiyalar yordamida yer osti suvlarini qidirish samaradorligi 30–50 % ga oshgani qayd etilgan. O‘zbekiston sharoitida ham GIS va RS asosida qator istiqbolli hududlar aniqlangan. Innovatsion texnologiyalar geologik-qidirish ishlarini tezlashtirish va xarajatlarni kamaytirish imkonini bersa-da, yuqori malakali mutaxassislar va texnik ta’minot talab qiladi. Shuningdek, mahalliy geologik sharoitlarni hisobga olish muhim. Yer osti suvlarini geologik-qidirishda innovatsion texnologiyalar taqqoslanishi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Yer osti suvlarini geologik-qidirishda qo‘llaniladigan innovatsion texnologiyalar va ularning asosiy xususiyatlari

№	Texnologiya turi	Asosiy vazifasi	Afzalliklari	Qo‘llaniladigan davlatlar
1	Masofadan zondlash (RS)	Dastlabki baholash	Katta hudud, tezkorlik	AQSH, Avstraliya, O‘zbekiston
2	GIS texnologiyalari	Ma’lumotlarni integratsiya qilish	Kompleks tahlil	AQSH, Kanada, O‘zbekiston
3	ERT usuli	Suvli qatlamlarni aniqlash	Yuqori aniqlik	Germaniya, Fransiya
4	Elektromagnit usullar	Chuqur suvli gorizontlar	Chuqur tadqiqot	Avstraliya
5	SNMR	Suv hajmini baholash	To‘g‘ridan-to‘g‘ri baho	Fransiya, Daniya
6	AI va ML	Bashorat va riskni kamaytirish	Yuqori samaradorlik	AQSH, Yaponiya

I. Xorijiy davlatlar tajribasi

So‘nggi yillarda yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida innovatsion texnologiyalardan foydalanish masalasi jahon ilmiy hamjamiyatida dolzarb yo‘nalishlardan biri sifatida keng o‘rganilmoqda. Suv resurslarining cheklanganligi, iqlim o‘zgarishi hamda antropogen ta’sirning kuchayishi geologik-qidirish ishlarini ilmiy asoslangan, yuqori aniqlikka ega zamonaviy usullar yordamida amalga oshirishni taqozo etmoqda.

1. Masofadan zondlash va geoaxborot tizimlari

Masofadan zondlash (Remote Sensing) texnologiyalari yer osti suvlarini qidirishda dastlabki baholash bosqichida muhim ahamiyatga ega. Sputnik kuzatuvlari (Landsat, Sentinel, GRACE) orqali yer yuzasi namligi, tektonik chiziqlar, relyef va geologik strukturalar aniqlanadi.

Geoaxborot tizimlari (GIS) esa turli manbalardan olingan ma’lumotlarni (geologik xaritalar, gidrologik ko‘rsatkichlar, sputnik tasvirlari) yagona platformada integratsiya qilish imkonini beradi. AQSH va Kanadada GIS asosida yer osti suvlari potensialini

baholash bo'yicha milliy dasturlar amalga oshirilmoqda.

2. Hidrogeofizik qidirish usullari

Xorijiy amaliyotda yer osti suvlarini aniqlashda quyidagi gidrogeofizik usullar keng qo'llaniladi:

2.1. Elektr qarshilik tomografiyasi (ERT)

Bu usul Germaniya, Fransiya va Xitoyda keng tarqalgan bo'lib, suv bilan to'yingan qatlamlarni past elektr qarshiligi orqali aniqlash imkonini beradi.

2.2. Elektromagnit usullar (TDEM, VLF)

Avstraliya va Janubiy Afrikada chuqur joylashgan suvli gorizontlarni qidirishda samarali qo'llaniladi.

2.3. Yadro-magnit rezonansi (SNMR)

Fransiya va Daniyada ishlab chiqilgan ushbu usul yer osti suvlarining hajmi va gidravlik xususiyatlarini to'g'ridan-to'g'ri baholash imkonini beradi.

3. Sun'iy intellekt va raqamli modellashtirish

So'nggi yillarda sun'iy intellekt (AI) va mashinali o'qitish (ML) algoritmlari yer osti suvlarini qidirishda muhim o'rin egallamoqda. AQSH, Yaponiya va Koreya Respublikasida neyron tarmoqlar yordamida suvli zonalarni bashorat qilish, qidirish xatarlarini kamaytirish va zaxiralarni baholash aniqligini oshirishga erishilmoqda. Raqamli gidrogeologik modellar (MODFLOW, FEFLOW) orqali suv harakati va zaxiralar dinamikasi modellashtiriladi.

Xorijiy davlatlarda innovatsion texnologiyalarni qo'llash natijasida quyidagilarga erishilgan:

- AQSH: USGS tomonidan milliy yer osti suvlari monitoring tizimi joriy etilgan;

- Germaniya: UFZ instituti integratsiyalangan gidrogeofizik tadqiqotlarni amalga oshiradi;

- Fransiya: WATEX texnologiyasi orqali Afrika va Osiyoda katta muvaffaqiyatlarga erishilgan;

- Isroil: suv resurslarini boshqarishda raqamli monitoring va sensor tizimlaridan foydalanadi [2-7].

II. O'zbekiston tajribasi

O'zbekiston Respublikasi hududida iqlimning quriqligi, suv resurslariga bo'lgan talabning yil sayin ortib borishi hamda qishloq xo'jaligi va sanoatning rivojlanishi yer osti suvlarini o'rganish va samarali boshqarishni strategik vazifaga aylantirmoqda. An'anaviy gidrogeologik tadqiqotlar bilan bir qatorda, so'nggi yillarda innovatsion texnologiyalarni joriy etish orqali geologik-qidirish ishlarining aniqligi va samaradorligini oshirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

1. O'zbekistonda yer osti suvlarini o'rganish tizimi

O'zbekistonda yer osti suvlarini o'rganish va monitoring qilish ishlari asosan davlat tashkilotlari, ilmiy-tadqiqot institutlari va oliy ta'lim muassasalari

tomonidan amalga oshiriladi. Jumladan, "O'zbekgidrogeologiya" davlat korxonasi yer osti suvlarining zaxiralari, rejimi va sifati bo'yicha muntazam kuzatuvlarni olib boradi.

2. Geoaxborot tizimlari va raqamli ma'lumotlar

Geoaxborot tizimlari (GIS) O'zbekistonda yer osti suvlarini qidirish va baholashda asosiy innovatsion vositalardan biri hisoblanadi. GIS orqali gidrogeologik va geologik xaritalarni raqamlashtirish, kuzatuv quduqlari ma'lumotlarini tahlil qilish va suv sathi va sifatining hududiy o'zgarishini baholash amalga oshirilmoqda. Ilmiy tadqiqotlarda GIS va matematik modellashtirish usullarini uyg'un qo'llash orqali suv zaxiralari bashorat qilish aniqligi oshirilmoqda.

3. Masofadan zondlash va sputnik ma'lumotlari

Masofadan zondlash texnologiyalari O'zbekiston sharoitida keng hududlarni qamrab olgan dastlabki gidrogeologik baholash ishlarida samarali qo'llanilmoqda. Sputnik tasvirlari yordamida yer yuzasi relyefi, tektonik chiziqlar, suv yig'ilish hududlari va namlik indikatorlari aniqlanadi. Ayrim tadqiqotlarda yer osti suvlarining rejimi va dinamikasini baholashda sputnik ma'lumotlarini GIS bilan integratsiya qilish orqali kompleks tahlil usullari ishlab chiqilgan.

4. Avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari

So'nggi yillarda O'zbekistonda yer osti suvlarini monitoring qilishda avtomatlashtirilgan kuzatuv quduqlarini joriy etishga e'tibor kuchaydi. Bunday tizimlar suv sathi va haroratini real vaqt rejimida o'lchash, ma'lumotlarni markaziy serverga uzatish va tezkor tahlil va qaror qabul qilish imkonini beradi. Bu usullar suv resurslarini boshqarishda inson omili ta'sirini kamaytiradi va ma'lumotlar ishonchligini oshiradi.

5. Hidrogeologik modellashtirish

O'zbekiston olimlari tomonidan MODFLOW va boshqa raqamli modellar asosida yer osti suvlarining harakati va zaxiralari modellashtirilmoqda. Farg'ona vodiysi, Toshkent viloyati va Qashqadaryo havzalarida amalga oshirilgan tadqiqotlar bu usullarning yuqori samaradorligini ko'rsatdi.

Yuqorida keltirilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida innovatsion texnologiyalardan foydalanish qidirish aniqligini oshirish, xarajatlarni kamaytirish va suv resurslaridan barqaror foydalanishni ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Xorijiy davlatlar va O'zbekiston tajribasining solishtirma tahlili 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval.

Yer osti suvlarini geologik-qidirishda xorijiy davlatlar va O'zbekiston tajribasining solishtirma tahlili

№	Ko'rsatkichlar	Xorijiy davlatlar	O'zbekiston
1	RS qo'llanilishi	Keng va tizimli	Rivojlanish bosqichida
2	GIS platformalar	Milliy dasturlar	Hududiy loyihalar
3	AI texnologiyalari	Faol qo'llanilmoqda	Ilmiy bosqich
4	Monitoring tizimi	Avtomatlashtirilgan	Qisman avtomatlashtirilgan
5	Modellashtirish	MODFLOW, FEFLOW	MODFLOW asosiy

Yer osti suvlarini muhofaza qilishda innovatsion texnologiyalarni qo'llash suv resurslaridan barqaror foydalanish va ekologik xavfsizlikni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Xalqaro tajribalar shuni ko'rsatmoqdaki, innovatsion yechimlar ekologik barqarorlikka erishish va iqtisodiy o'sishni ta'minlashda asosiy omil hisoblanadi. O'zbekistonda amalga oshirilayotgan dasturlar va xalqaro hamkorlik bu sohada muhim natijalarga erishish imkonini beradi [8-15].

XULOSA

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida innovatsion texnologiyalarni joriy etish qidirish samaradorligini oshiradi, iqtisodiy xarajatlarni kamaytiradi va suv resurslarini barqaror boshqarishga xizmat qiladi.

O'zbekiston Respublikasida yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida innovatsion texnologiyalarni qo'llash bosqichma-bosqich rivojlanib bormoqda. Geoaxborot tizimlari, masofadan zondlash, avtomatlashtirilgan monitoring va raqamli modellash usullari qidirish ishlarining aniqligi va samaradorligini oshirishga xizmat qilmoqda. Xorijiy tajribani milliy sharoitga moslashtirgan holda joriy etish kelgusida suv resurslarini barqaror boshqarish uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida innovatsion texnologiyalarni joriy etish resurslarini samarali boshqarish va barqaror rivojlanishni ta'minlaydi. Kompleks yondashuv va raqamli texnologiyalar kelgusida ushbu sohaning asosiy yo'nalishi bo'lib qoladi.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN GEOLOGICAL EXPLORATION OF GROUNDWATER: EXPERIENCE OF FOREIGN COUNTRIES AND UZBEKISTAN

T.N.Yarboboyev, K.Y.Qosimova, B.B.Jamilov

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

ABSTRACT

This article presents a scientific-theoretical and practical analysis of modern innovative technologies that are widely used by foreign countries in groundwater geological exploration. The role of remote sensing, GIS, hydrogeophysical methods, artificial intelligence, and digital modeling technologies in improving exploration efficiency is emphasized. The advanced experience of countries such as the United States, Germany, Japan, France, Australia, and Israel is summarized. An analysis of modern innovative technologies applied in the geological exploration, assessment, and monitoring of groundwater resources in the Republic of Uzbekistan is also conducted. Based on the experience of scientific research, state programs, and relevant organizations in this field, the practical effectiveness of these technologies has been evaluated.

KEYWORDS

groundwater, geological exploration, innovative technologies, GIS, remote sensing, hydrogeophysics, artificial intelligence.

REFERENCES:

1. Yarboboyev T.N. Foydali qazilma konlarini geologik-iqtisodiy baholash. Darslik. Qarshi 2025. 370 b.
2. Todd D.K., Mays L.W. Groundwater Hydrology. Wiley, 2005. P. 652.
3. Scanlon, B.R., Fakhreddine, S., Rateb, A. et al. Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nat Rev Earth Environ* 4, 87–101, 2023.
4. Scanlon B.R. et al. Global groundwater monitoring using satellite data. *Water Resources Research*, 2018.
5. Gachet A. WATEX: Integrated groundwater exploration technology. *Hydrology Journal*, 2016.
6. Asheesh D. et al. Integrated watershed study to delineate ground water prospects through Remote Sensing. *International Journal Of Advance Research And Innovative Ideas In Education* 3(4):3379-3387, 2017.
7. Shishaye NA, Abdi S Groundwater Exploration for Water Well Site Locations Using Geophysical Survey Methods. *Hydrol Current Res* 7: 226. 2016.
8. Исламов Б.Ф., Кадирходжаев А.А., Пулатов Н.Б., Бимурзаев Г.А., Охунов Ф.А. Ўзбекистонда гидрогеологик тадқиқотлар ривожланиши ва истиқболдаги тенденциялари. *Geologiya va mineral resurslar*, №6, 2024. 66-87 b.

9. Yarboboyev T.N., Qosimova K. Yo., Jamilov B.B. O‘zbekistonning yer osti suv resurslari va ulardan oqilona foydalanish istiqbollari. Miasto Przyszłości / Polsha. Vol. 47 (2024). 1113-1123 b.
10. Абдурахмонов А.А., Каримов Ж.К. Ер ости сувларини ўрганишда замонавий геофизик усуллар. – Тошкент: Фан, 2020. – 214 б.
11. Мирзаев Ш.М. Ўзбекистонда ер ости сув ресурсларини баҳолаш ва мониторинг қилиш усуллари. – Тошкент, 2022. – 176 б.
12. Исмоилов Б.Р., Нурматов А.Н. Гидрогеологик тадқиқотларда GIS технологияларидан фойдаланиш. – Геология ва минерал ресурслар, 2019. – №3. – Б. 45–52.
13. Саидов И.С. Гидрогеологияда рақамли моделлаш ва прогнозлаш. – Самарқанд: СамДУ нашриёти, 2021. – 198 б.
14. Рахмонов У.Х. Сув ресурсларидан барқарор фойдаланишнинг илмий асослари. – Тошкент: Иқтисодиёт, 2019. – 240 б.
15. Қодиров А.Б. Иқлим ўзгариши шароитида ер ости сувларини муҳофаза қилиш. – Экология хабарномаси, 2022. – №4. – Б. 21–27.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Yarboboev	– Professor of the Department of Geology and Mining, Karshi State Technical University, 180119, Karshi, highway Khanabad, Str., 19, Republic of Uzbekistan
Tulkin	ORCID: -0000-0002-4710-3782, E-mail: tulkin-69@mail.ru
Nurboboevich	
Karima	– Master’s student of the department of “Ecology and Environmental Protection”, Karshi State Technical University, 180119, Karshi, highway Khanabad, Str., 19, Republic of Uzbekistan
Kosimova	ORCID: 0009-0009-1735-6365 E-mail: qosimovakarima77@gmail.com
Yodgor kizi	
Jamilov	– Student of the Department of Geology and Mining, Karshi State Technical University, 180119, Karshi, highway Khanabad, Str., 19, Republic of Uzbekistan
Bakhtiyor	ORCID 0009-0008-4559-8292 E-mail: jamilovbakhtiyor19@gmail.com
Bakhriddin ugli	

ОЛТИН МАЪДАНЛАШУВИНИ МАСОФАДАН ЎРГАНИШДА КОСМОГЕОЛОГИК ҚИДИРУВ ТАДҚИҚОТЛАР ТАҲЛИЛИ

З.З.Рахимов, М.Н.Жураев, Б.У.Мухаммадиев, Ш.Б.Тураев, И.М.Салимов

Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, Тошкент

Doi: 10.5281/zenodo.20280179

АННОТАЦИЯ Мақолада Шимолий Нуротоғ тизмасининг ғарбий қисмида космик тасвирлар асосида аниқланган ҳалқасимон тузилмалар ва линеаментларнинг олтин минерализацияси билан фазовий боғлиқлиги таҳлил қилинган. Ландсат-7 ЭТМ+ (30 м) маълумотлари асосида космоструктуравий объектлар аниқланиб, ГИС муҳитида векторлаштирилди ҳамда оверлей таҳлили орқали мавжуд конлар билан солиштирилди. Тадқиқотнинг асосий мавзуси космик фотосуратларда кўринадиган ва ер литосферасининг чуқур тузилишини аниқлаш ва элтирувчи иккита асосий – ҳалқа шаклидаги тузилмалар ва линеаментларни аниқлаш ҳамда геологик хусусиятларни таҳлил қилишдан иборатдир. Ишнинг асосий мақсади космоструктуравий объектлар ва минтақадаги фойдали қазилма конларининг жойлашуви ўртасида бевосита алоқа ўрнатиш, ҳалқа тузилмалари ва линеаментлар шунчаки сирт ҳодисалари эмас, балки қимматбаҳо минераллар, олтин, нодир ва рангли металлларнинг қаерда тўпланишини бошқарадиган чуқур илдиз отган геологик шаклланиш нуқталарини аниқлашни назарда тутати. Мақола, шунингдек, космик тасвирларнинг амалий аҳамиятини намойиш этишга қаратилган геологик қидирув, айниқса объектга тўғридан-тўғри кириш қийин бўлган ёки минерал ресурслар ер усти конлари остида яширинган жойларда тадқиқотлар олиб боришни асослайди. Минтақадаги мавжуд конлар космоструктуравий объектларнинг чегаралари ва кесишиш зоналарига тўғри келишини аниқлаш ҳамда ушбу маълумотларни илмий асослаш бугуннинг долзарб муаммоси ҳисбланади.

КАЛИТ СЎЗЛАР

Космогеология, Шимолий Нуротоғ, ҳалқасимон тузилмалар, линеаментлар, флюид, олтин конлари, минерал, қидириш, башпоратлаш, космик тасвир, космоструктура.

КИРИШ

Шимолий Нуратоғ тизмасининг шимолий-ғарбий қисмида 1947–2020 йиллар давомида амалга оширилган кенг қўламли геологик тадқиқот ишлари ҳудуднинг маъдан-геологик хусусиятлари ва истиқболларини комплекс равишда очиб берди.

Тадқиқотларнинг илк босқичлари (1947–1966 йй.) 1:200 000 миқёсли умумий геологик хариталаштириш ишларига қаратилган бўлиб, улар минтақанинг умумий тузилишини аниқлаш ва метаморфик жинсларнинг геологик аҳамиятини илк бор қайд этиш имконини берди. Кейинги босқичларда (1970–1990 йй.) эса 1:50 000 миқёсли муфассал хариталаштириш, геофизик ва геокимёвий тадқиқотлар кенг қўлланилиб, улар асосида олтин ва бошқа фойдали қазилмаларнинг кўплаб кўринишлари аниқланди ҳамда қатор истиқболли (Консой, Мадават ва б.) зоналар ва истиқболли (Пистали, Тандир, Олтин Диёр, Гагча ва б.) майдонлар ажратилди. 1990–2020 йилларда олиб борилган излаш-баҳолаш ишлари натижаси, ҳудудда чуқур космогеологик ва геофизик тадқиқотларни кенг қўллаш мумкинлигини кўрсатиб берди.

В.В.Соловьёв, О.М.Борисов, А.К.Глух, Б.С.Зейлик, Ш.Э.Эргашев, Ю.И.Ложкин, С.С.Щульц, А.Р.Ярмухамедов, В.Н.Козлов, Е.Д.Сулиди-Кондратьев, Ф.М.Баязитова, Н.И.Корчуганова, Я.Г.Кац, А.И.Полетаев, А.В.Тевелев, А.Р.Асадов, А.Б.Ражабов, А.А.Абдурахмонов, О.Т.Зокиров ва б.лар ўз тадқиқотларида, келиб чиқиши, ёши, ўлчами турли хил бўлган, ҳар хил классификациядаги ҳалқасимон тузилмаларни, линеаментларни таҳлиллаган, талқинлаган ҳолда, нефть-газ ва каттик фойдали қазилмаларини тўпланиши, тақсимланиши ва жойлашишида ҳалқасимон тузилмалар муҳим аҳамият касб этиши мумкинлигини таъкидлаб ўтишган [5].

О.М.Борисов, А.К.Глух маълумотларига кўра, Ўрта Осиёда аниқланган космоструктуривий объектлар - ҳалқасимон тузилмалар ва линеаментлар илмий ва амалий аҳамиятга эга. Биринчидан, уларнинг борлиги литосферанинг беҳисоб парчаланганлиги ва мантя жараёнлари билан узвий боғлиқлигидан дарак берса, иккинчидан, жадал ва оқувчан иссиқ масса жараёнлари, ҳамда руда объектлари шаклланиши учун юқори ўтказувчанлик қобилятига эга бўлган чуқур тузилма сифатида муҳим аҳамият касб этади. Шунингдек, ушбу тузилмалар фаол оқимлар миграцияси ва аккумуляцияси учун муҳим жой ҳисобланганлиги сабабли, гидрогеологик тадқиқотлар, ҳамда нефть-газ “қопқонлари”ни қидиришда уларни мавжудлигини инобатга олиш мақсадга мувофиқдир [8].

Ш.Э.Эргашевнинг таъкидлашича, фазовий тасвирлаш материалларидан фойдаланишнинг

асосий йўналиши, космофототузилмалар - ёйсимон ва ҳалқасимон тузилмалар, ҳамда линеаментларни ер устидаги табиий объектларнинг тасвирлари негизида аниқлаш ҳисобланади [7]. В.Г.Ворошилов, Р.И.Исмаилов, Т.В.Логвиновалар ҳам, ўз тадқиқотларида турли генезисдаги ҳалқасимон тузилмаларни маъдан бойлиги турлича эканлигини, аммо Ердаги маълум ва машҳур фойдали қазилмаларнинг 70-75 фоизи, айнан ҳалқасимон тузилмалар билан боғлиқлигини таъкидлаган ҳолда, аввалги тадқиқотчиларнинг илмий-амалий натижаларини яна бир бор тасдиқлашмоқда [5].

Биобарин, Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида аниқланган ҳалқасимон тузилмалар ва линеаментларнинг ҳудуддаги олтин конлари билан боғлиқлиги, ушбу конларнинг космоструктуривий объектларда жойлашуви ва келажакда истиқболли майдонларни ажратиш имкониятлари баҳоланди (1-расм).

“Ҳалқасимон тузилма” термини биринчи мартаба 1904 йилда А.Хоркер томонидан Шотландиядаги вулканик тузилмалар учун қўлланилган. “Ҳалқасимон тузилмалар” дейилганда, одатда марказий зонадан (ядро), ер юзасида айлана, эллипс, ҳалқалар ҳосил қилувчи концентрик ва радиал тузилма элементлари тизимидан иборат, келиб чиқиши турлича бўлган геологик таналар тушунилади [4].

Умуман олганда ҳалқасимон тузилмалар ва линеаментлар, одатда бир-бири билан узвий боғлиқдир, аммо шаклланиш вақти ҳар хил бўлади ва 3 та турга бўлинади: [9].

1) Линеаментлар - бирламчи, ҳалқасимон тузилмалар – иккиламчи тузилмалардир;

2) Ҳалқасимон тузилмалар ва линеаментлар бир вақтнинг ўзида юзага келади ва генетик чамбарчас боғлиқ бўлади;

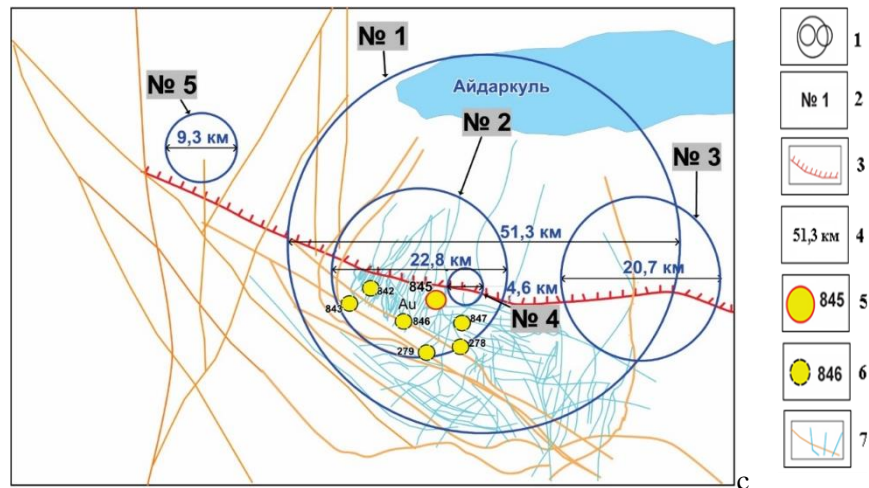
Ҳалқасимон тузилмалар – бирламчи, линеаментлар – иккиламчи.

Линеаментлар турлича флюид ва эритмалар учун ўтказувчи канал вазифасини ўтагани сабаб, фойдали қазилмаларни қидириш ва башоратлашда уларни бевосита индикатор деб ҳисоблаш мумкин.

МАТЕРИАЛ ВА УСУЛЛАР (МЕТОД)

Интеграсия йўли билан геофизик майдонларнинг берилган маълумот позициялари ва трансформантлари асосида космогеологик ҳамда геофизик тадқиқот маълумотларга таяниб истиқболли ҳудудларни аниқлаш мақсадида “Шимолий Нурота тоғларининг ғарбий тугалланишида космогеологик тадқиқот қилиш” ГИС лойиҳаси ишлаб чиқилди [10].

Тектоник бузилишларни аниқлаш учун Landsat 7 тасвири ишлатилган, ўнг ва чап йўналишларни 3 x 3 матрица билан таъкидлаш учун ўзгартирилган, сўнгра аниқланган тектоник бузилишларни векторлаштириш (1 ва 4-расмлар).

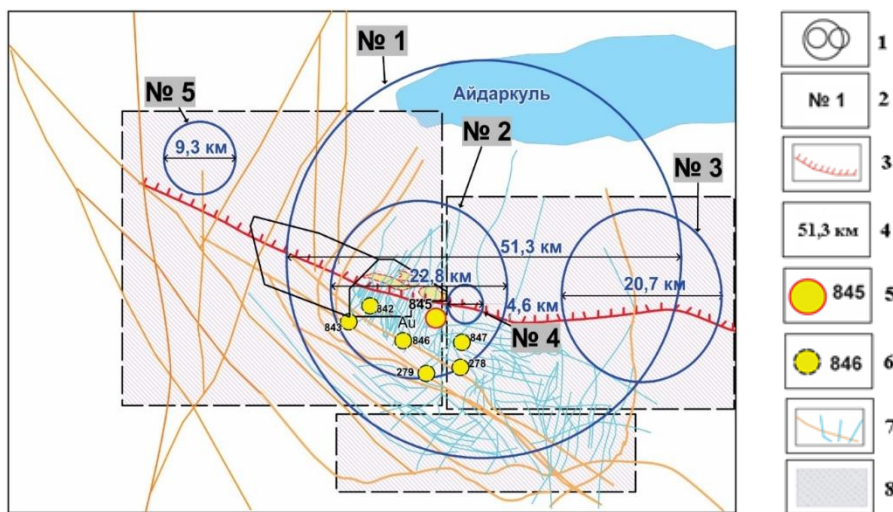


1-расм. Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида талқинланган космоструктуравий объектлар (З.Рахимов ва б. маълумотлари асосида)

1-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари; 2-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари рақамлари; 3-Шимолий Нуратоғ ер ёриги; 4-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмаларининг радиуси; 5-Аниқланган кон; 6-Аниқланган истиқболли аномал участкалар; 7-Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида талқинланган линеаментлар.

Аввалги тадқиқот натижаларидан маълумки, ҳалқасимон тузилмаларнинг апикаль қисмлари, ички ва ташқи чегаралари, шунингдек бир нечта ҳалқасимон тузилмаларнинг каркассимон жойлашуви ёки бир-бири билан кесишуви, ҳамда ушбу ҳалқасимон тузилмаларнинг линеаментлар

билан ҳам ўзаро кесишуви ёхуд линеаментларнинг бир-бири билан ўзаро кесишуви турли фойдали қазилмалар учун, жумладан нефт-газ, қимматбаҳо, ноёб ва рангли металллар учун ҳамиша истиқболли ҳисобланиб келинган.



2-расм. Космоструктуравий объектлар бўйлаб ажратилган истиқболли зоналар (З.Рахимов ва б. маълумотлари асосида)

1-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари; 2-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари рақамлари; 3-Шимолий Нуратоғ ер ёриги; 4-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмаларининг радиуси; 5-Аниқланган кон; 6-Аниқланган истиқболли аномал участкалар; 7-Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида талқинланган линеаментлар; 8-Космоструктуравий объектлар бўйлаб ажратилган истиқболли зоналар.

Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида ҳам худди шундай ҳолатлар яққол кўзга ташланиб турибди. Чунки, ушбу космоструктуравий объектларнинг ҳосил бўлиш жараёнида улар бўйлаб чексиз дарзликлар, ер ёриқлари, узилмали бузилмалар юзага келадики, бу газ ва нефт, маъдан таркибли қоришмалар учун транс ва тўпловчи

коллекторлар вазифасини ўтади. Жумладан ҳудуддаги 842 (Томди), 843 (Гандир), 845 (Пистали), 846 (Кулькудук), 847 (Древний), 279 (Джадир) ҳамда 278 (Консой) истиқболли майдонлар конлар ва бурғи, гефоизик ва геохимик маълумотлар асосида аниқланган истиқболли аномал участкалар бунга мисол бўлади. Яъни улар,

асосан каркасли ҳалқасимон тузилмаларнинг ички чегараларида, қисман уларнинг ташқи чегарасида ҳамда уларнинг асосан субкенглик йўналишдаги Шимолий Нуратоғ чуқур ер ёриғи ва йирик амплитудали субкенглик йўналишдаги линеаментларнинг кесишув зоналарида жойлашган. Шу ерда субмеридионал линеаментларнинг ҳам ўрнини таъкидлаб ўтиш жоиздир. Тадқиқот натижаси ва мавжуд конлар жойлашуви инobatга олинган ҳолда, муаллиф томонидан талқин этилган космоструктуравий объектлар бўйлаб фойдали қазилма конларини қидириш учун истиқболли участкалар ажратилди (2-расм).

Фазовий тасвирлаш материалларидан фойдаланишнинг асосий йўналиши, космофототузилмалар – линеаментлар, ёйсимон ва ҳалқасимон тузилмаларни, ер устидаги табиий объектларнинг тасвирлари негизида аниқлаш ҳисобланади. Бу борада тўпланган маълумотлар тузилмавий фотообъектлар кўп ҳолларда литосферанинг ер сиртидаги ва қаъридаги тузилмаларини акс эттириб, сайёрамизнинг деярли барча ҳудудларида, кўплаб эндоген турдаги конларнинг жойлашишларини ва тақсимланишларини назорат қилиб туришини кўрсатади. Тузилмавий таҳлиллаш жараёнида асосий эътиборни қуйидагиларга қаратиш лозимдир:

1.Фойдаланиладиган масофавий рақамли тасвирларнинг геологик-тузилмавий маълумотларни бериш имкониятларини баҳолашга;

2.Фотосуратларда уларнинг аниқ тасвирини белгиловчи мезонларнинг ишончлилигига;

3.Фотообъектларнинг табиий поёнларини чегаралашдаги аниқликка;

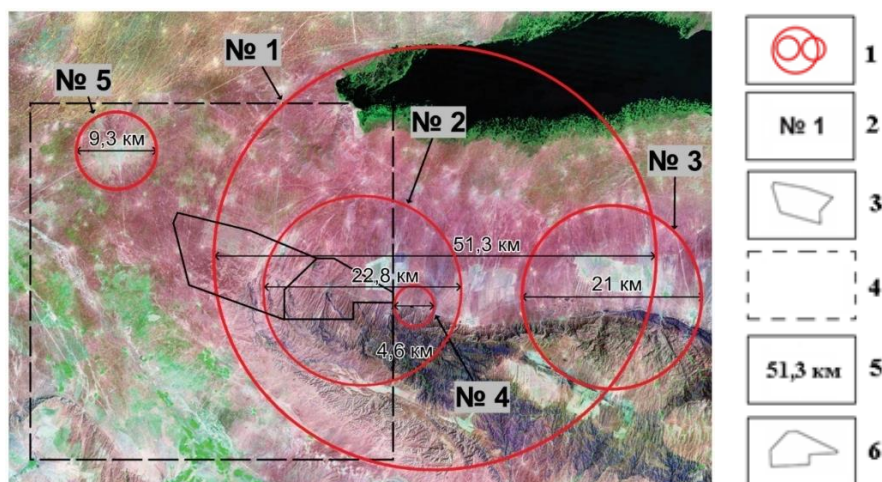
4.Фототузилмаларни ер устида ифодаловчи геологик-минтақавий элементларни борлиги ёки йўқлигига қаратилиши керак [1-2].

Буларни амалга ошириш учун услубий, назарий ва амалий ечимлар мавжуд. Бу ечимлар, бор маълумотларнинг (масофавий, геологик, техникавий, минтақавий, дала ва аэроназорат ва бошқ.) кўп қирралиликларини ҳисобга олган ҳолда, асосий фототузилмавий маълумотларни ажратиб олишда, фазовий фотосуратларни таҳлиллашдаги ягона стратегияни ишлаб чиқишга имкон беради. Умуман айтганда, Ер юзидан намоён бўлган ҳалқасимон тузилмалар ва линеаментлар литосфера тузилишининг космогеологик моделини яратади [3].

НАТИЖА ВА МУҲОКАМА

Шимолий Нуратоғ тоғларининг геологик тузилишида интенсив равишда дислокацияланган чўкинди, вулканоген ва метаморфик қатламлар протерозойдан юқори палеозойгача қатнашади. Улар кўпинча геосинклинал тизимнинг турли қисмларида ҳосил бўлган бир хил ёшдаги, турли фацияли конлар билан ифодаланади, бу эса структуравий-шаклланиш зоналари ва субзоналарини (бўлим турлари) аниқлаш учун асос бўлган.

Дала шароитида космик суратлар асосида тадқиқот ишлари олиб борилганда маълум бўлдики, ўрганилаётган ҳудуд ва унинг атрофи бўйлаб 4 та катта-кичик ҳалқасимон тузилмалар аниқланди (3-расм).



3-расм. Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида аниқланган ҳалқасимон тузилмалар (3.Рахимов ва б. маълумотлари асосида)

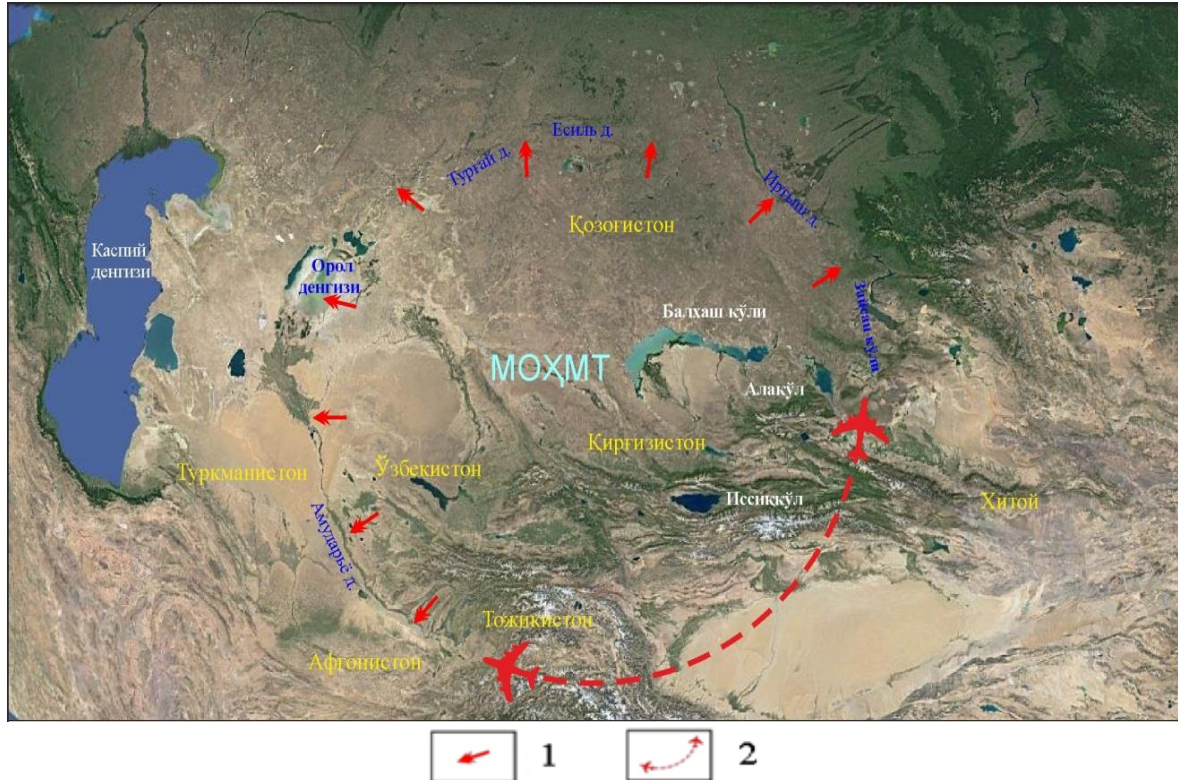
1-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари; 2-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари рақамлари; 3-Сорқудуқ истиқболли майдони; 4-Тадқиқот майдони; 5-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмаларининг радиуси; 6-Шимолий Пистали истиқболли майдони

Ушбу ҳалқасимон тузилмаларнинг барчаси “Марказий Осиё ҳалқасимон мегатузилма”нинг (4-расм) йўлдошлари ҳисобланади [5].

Тадқиқот майдонининг шарқий қаноти, диаметри 21 км.ли ҳалқасимон тузилма билан мураккаблашган диаметри 51,7 км.ли ҳалқасимон тузилманинг апиқал қисмига яқин жойда

ўрнашган, аммо шу тузилма ичидаги диаметри 23 км. бўлган ҳалқасимон тузилманинг марказида жойлашган. Тадқиқот майдонининг шарқий қисми, диаметри 4,4 км. бўлган кичик ҳалқасимон тузилма билан кесишган. Барча ҳалқасимон

тузилмалар Шимолий Нуратоғ тузилмасининг ғарбий қисми билан кесишган. Юқорида қайд этилган 4 та ҳалқасимон тузилма тўғрисида атрофлича қуйида тавсиф берилади:



4-расм. Марказий Осиё ҳалқасимон мегатузилмани, рақамли фазовий тасвирда тасвирланиши (З.З.Рахимов ва О.Т.Зокировнинг маълумоти асосида)

1-Марказий Осиё ҳалқасимон мегатузилма (МОХМТ) чегараларини кўрсатувчи “кўрсаткичлар”. 2-Марказий Осиё ҳалқасимон мегатузилманинг (МОХМТ) бевосита чегаралари

Ҳалқасимон тузилма №1. Тузилманинг шимолий қанотида Айдарқўл жойлашган. Шимоли-ғарбий қисми рифей (RF_{3sv}), ордовик, силур даври ётқизиклари билан мураккаблашган (5-расм). Ҳалқасимон тузилманинг жанубий радиусининг ғарбий, жанубий, шарқий қанотлари ва маркази рифей, ордовик, силур, девон, тошқўмир, тўртламчи давр ётқизикларидан иборат. Тузилманинг шимолий радиусида кўпроқ тўртламчи давр ётқизиклари кенг тарқалган. Бу тузилма буткул №2 ва №4 ҳалқасимон тузилмаларни ва қисман №3-ҳалқасимон тузилмани ўз ичига олади.

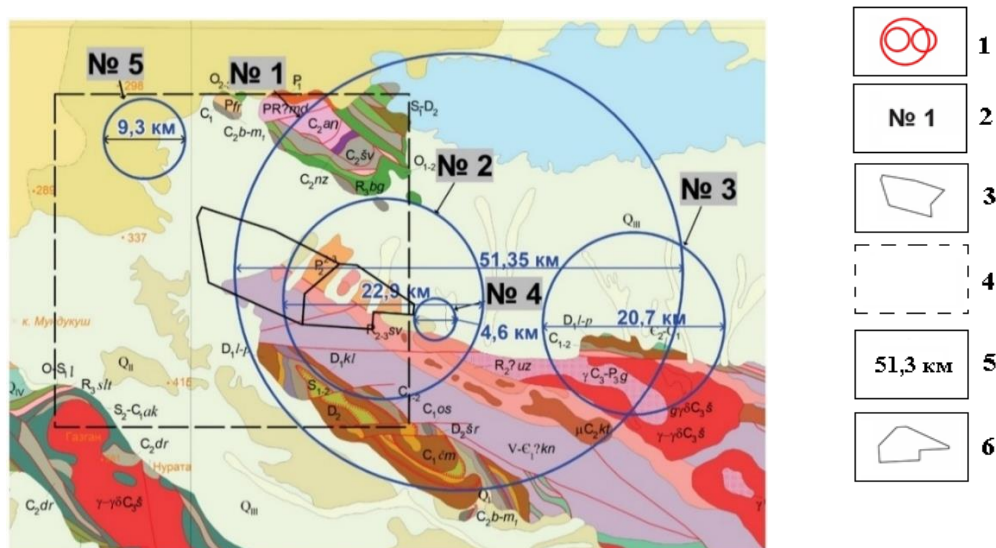
Ҳалқасимон тузилма №2. Ушбу тузилманинг жанубий радиусининг марказларини ҳамда шарқий, жанубий ва ғарбий қанотларини рифей, ордовик, карбон, палеоген, тўртламчи давр ётқизилари ташкил этади (5-расм). Тузилманинг шимолий радиусида асосан тўртламчи давр ётқизиклари кенг тарқалган.

Ҳалқасимон тузилма №3. Ушбу тузилманинг жанубий радиусида рифей даврининг сувликсай свитаси, ордовик даврининг конской свитаси,

девон, тошқўмир даврининг ётқизиклари, карбон, перм даврининг интрузив массивлари, тўртламчи давр ётқизиклари тарқалган (5-расм). Тузилманинг шимолий радиусида буткул тўртламчи давр ётқизиклари жойлашган.

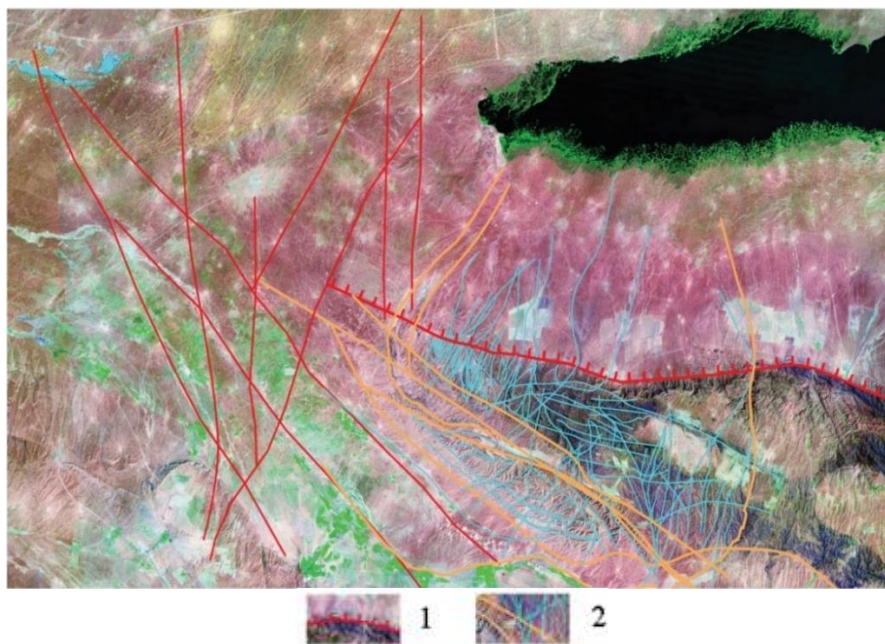
Ҳалқасимон тузилма №4. Ушбу тузилма аниқланган энг кичик (4,4 км) тузилма бўлиб, унинг жанубий радиусида рифей даври (сувликсай свита), ордовик даври (консой свитаси), тўртламчи давр ётқизилари тарқалган. Тузилманинг шимолий радиусида эса, фақатгина тўртламчи давр ётқизиклари жойлашган. Бу тузилма №2-ҳалқасимон тузилманинг ички шарқий қанотида жойлашган.

Ҳалқасимон тузилма №5. Ушбу тузилма (9,3 км.) тузилма тадқиқот майдонининг шимолий-ғарбида жойлашган бўлиб тўртламчи давр ётқизилари билан қопланган. Тузилманинг шимолий радиусида эса, фақатгина тўртламчи давр ётқизиклари жойлашган. Бу тузилма №2-ҳалқасимон тузилманинг шимоли-ғарбида жойлашган.



5-расм. Шимолий Нуратогнинг ғарбий қисмида аниқланган ҳалқасимон тузилмаларнинг геологик ҳосилалар билан ҳамоҳанглиги (З.Рахимов ва б. маълумотлари асосида)

1-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари; 2-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмалари рақамлари; 3-Сорқудуқ истиқболли майдони; 4-Тадқиқот майдони; 5-Тадқиқот майдонининг ҳалқасимон тузилмаларининг радиуси; 6-Шимолий Пистали истиқболли майдони.



6-расм. Шимолий Нуратогнинг ғарбий қисмида талқинланган линеаментлар. (З.Рахимов маълумотлар асосида)

1-Шимолий Нуратог ер ёриги; 2-Шимолий Нуратогнинг ғарбий қисмида муаллиф талқинланган линеаментлар

Фазовий тасвирларда акс этувчи чизикли объектлар “линеаментлар” (лот. линеаментум – чизик, линия) деб номланган. Тектоник узилма ва бузилмалар билан ўзаро боғлиқлиги албатта шарт бўлмаган, Ер юзидаги тўғри чизикларни ифодаловчи бу термин, америка геологи У.Хоббс (1904-1912) томонидан XX аср бошларида геология соҳасидаги адабиётларга киритилган. Бугунги кунда геологлар “линеаментлар”

тушунчаси асосида турли даражадаги (ҳосил бўлиш чуқурлиги, узунлиги, ёши ва ҳ.к.з.) ҳар-хил линияларни, яъни бевосита ёриқларни, дарзликларни ва геологик, ҳамда ландшафт аномалиялари асосида бавосита Ер юзасида ифодаланувчи чизикли шаклларни тушунишади. Ушбу чизикли аномалиялар чўқинди ётқизиклар билан копланган, пойдевордаги яширин

ёриқликлар, флексуралар ва дарзлик зоналари билан боғлиқ бўлиши мумкин [6].

Ш.Э.Эргашев, линеаментларнинг фотосуратлардаги тасвирий кўриниши, ўзлари акс эттирган қуйидаги табиий объектларни ер устида борлигига боғлиқ ва улар линеаментларни аниқлашда таҳлилий мезон ҳисобланади деб таъкидлайди:

1. Сув айиргич тизмалари, дарё ва сой воҳаларининг тўғри чизикли участкалари ва кескин бурилган юзалари;

2. Маълум бир горизонталда рельеф элементларининг шаклларидаги зинасимон букилишлари;

3. Тугаш майдонларнинг фототусларидаги фарқи;

4. Тоғ жинси ётқизиклари юзасининг сурилиши;

5. Тоғ тизмалари участкаларининг сурилиши;

6. Маълум бир қонуният бўйича жойлашган чўкмалар;

7. Ўсимликларнинг чизикли йўлаклари;

8. Бир чизикда ёки йўналишда ётган булоқлар, кудуқлар;

9. Фоточизикни икки томонидаги майдонларда, геологик вазият ва минтақа компонентларининг кескин ўзгариши [7].

Юқорида келтирилган таҳлил мезонларини ҳисобга олган ҳолда, Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида космик суратларни талқинлаш орқали турли амплитудадаги линеаментлар ажратилади. Маълумотларни тушуниш қулай бўлиши учун талқин ва таҳлиллаш ишлари мултиспектрал (рангли) рақамли космик суратда бажарилди (6-расм).

ХУЛОСА

Бугунги кунда очик усулда қазиб олинаётган қатор конлар заҳираси тугаб бораётган бир пайтда,

Республиканинг минерал хом-ашё базасини кенгайтириш, тадқиқотларни кучайтиришда асосий ургуни, ўзининг ёпиқ майдонларда кашф этилишини кутиб турган фойдали қазилмалар (радиоактив, нефт-газ, қимматбаҳо, рангли, қора, ноёб ва ҳ.к.) билан боғлиқ турли даражадаги ҳалқасимон тузилмалар, линеаментлар ва уларнинг интерференция зоналарини аниқлаш устувор вазифа бўлиб, бунда, рақамли космик суратлар ҳамда уларни таҳлил қилишнинг ўрни бекиёсдир.

Тузилмаларни инобатга олмасдан туриб, объектив металлогеник районлаштириш ва якуний башорат учун асосли тавсиялар бериш мақсадга мувофиқ эмас (Я.Г.Кац, А.В.Тевелев, А.И.Полетаев ва б.лар), чунки ушбу маълумотлар ғоятда тўлиқсиз ҳисобланади. Космоструктурвий объектларни таҳлиллаш жараёнлари шундан далолат берадики, нефт-газ, рангли, қора, ноёб, қимматбаҳо ва бошқа фойдали қазилмаларнинг потенциал тўпланиши, тарқалиши, жойлашишида тузилмалар аниқ ва яққол ётачки “бункер” вазифасини бажарган.

Худудда, аввал аниқланган кенглик йўналишидаги Шимолий Нуратоғ чуқур ер ёриғи, ҳамда талқинланган катта-кичик амплетудали меридионал, субмеридионал ва субкенглик йўналишдаги линеаментлар мавжуд. Линеаментлар нафақат очик майдонларда, балки ёпиқ майдонлар бўйлаб ҳам талқинланди.

Шимолий Нуратоғнинг ғарбий қисмида аниқланган ҳалқасимон тузилмалар ва линеаментлар олтин минерализациясининг асосий назорат омиллари ҳисобланади. Космоструктурвий таҳлил натижалари қидирув-бурғилаш ишларини режалаштиришда устувор йўналишларни белгилаш имконини беради.

ANALYSIS OF COSMOGEOLOGICAL EXPLORATION STUDIES IN THE REMOTE SENSING OF GOLD MINERALIZATION

Z.Rakhimov, M.Zhuraev, B.Muhammadiev, Sh.Turaev, I.Salimov

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

The article analyzes the spatial relationship of ring structures and lineaments with gold mineralization, identified based on satellite imagery in the western part of the Northern Nuratau Range. Based on Landsat-7 ETM+ data (30 m), cosmostructural objects were identified, vectorized in the GIS environment, and compared with existing deposits by overlay analysis.

The main subject of the research is the identification of two main ring-shaped structures and lineaments, visible in space photographs and reflecting the deep structure of the Earth's lithosphere, as well as the analysis of geological features. The main goal of the work is to establish a direct connection between cosmostructural objects and the location of mineral deposits in the region, to identify deeply rooted points of geological formation, which determine the accumulation of precious minerals, gold, rare and non-ferrous metals, and ring structures and lineaments, and not just surface phenomena. The article also substantiates geological exploration aimed at demonstrating the practical significance of space imagery, especially in areas where direct access to the object is difficult or where mineral resources are hidden under surface deposits.

Determining the correspondence of existing deposits in the region to the boundaries and intersection zones of cosmostructural objects, as well as the scientific substantiation of this data, is a pressing problem of today.

KEYWORDS Cosmogeology, Northern Nuratau, ring structures, lineaments, fluid, gold deposits, mineral, exploration, forecasting, space imagery, cosmostructure,

REFERENCE

1. Ergashev Sh.E., Asadov A.R. Methodological manual on the use of remote sensing (MDS).-T.: GP NIIMR, 2001.-190p.
2. Ergashev Sh.E., Zokirov O.T. Cosmostructural Features of the Structure of the Karatyubinsk-Chakilkalyan Mountains // Journal. Geology and Mineral Resources. Tashkent, 2010.-No5. Pp. 12-15.
3. Gubin V.N., Kovalev A.A. Space Geology of Belarus: -Minsk: Lazurak, 2008. -120s.
4. Dolimov T.N, Troitskiy V.I. Evolutionary Geology Geology (History of Earth's Development) T.: "O'qituvchi" NMIU, 2006, p.386.
5. Zokirov O.T. Cosmostructural objects of Central Asia and their significance in the localization of mineral deposits - Tashkent, 2019.
6. Zokirov O.T. Cosmostructural model of the Ziyaetdin Mountains and its significance in studying the patterns of gold ore deposition (based on digital space exploration data): Dis.cond.geol.-min.sci.-Tashkent:2012. 118p.
7. Ergashev Sh.E., Asadov A.R. Methodological Guide for the Use of Aerospace Images, 2001. - 202 p.
8. Borisov O.M., Glux A.K. Ring structures and lineaments of Central Asia. Tashkent, "Fan" Publishing House, 1982, 122p.
9. Kas Ya.G., Tevelev A.V., Poletaev A.I. Fundamentals of Space Geology. Moscow: Nedr, 1988.
10. S.A. Borisova, A.N. Makarov. Report on the results of geophysical works for 2007-2010. Ongoing specialized exploration work at a scale of 1:10000 on the western submersion of the Northern Nuratau Range.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Zafar Rakhimov	– Director of the Center for Uranium Geology, State Enterprise “Navoiyuran”, Inspektorlar 7, 210100, Navoiy city, Navoiy province, Republic of Uzbekistan. https://orcid.org/0009-0002-3619-6140 e-mail: rakhimov.z@yandex.ru
Mekhroj Zhuraev	– associate professor of the department of geology, exploration and prospecting of mineral deposits, Doctor of philosophy on Geological and Minerological Sciences (PhD). Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Tashkent City, Almazar district University Street-2. https://orcid.org/0009-0004-2630-259X e-mail: jorayev.mexroj@tdtu.uz .
Bayramali Muhammadiev	– Junior researcher of the Mineralogy Laboratory of the State Institution “Institute of Geology and Geophysics named after H.M. Abdullaev” 49 Olimlar Street, Mirzo-Ulugbek district, Tashkent, 100041, Republic of Uzbekistan. https://orcid.org/0000-0002-4467-212X e-mail: bmuxammadiyev55@gmail.com
Shokhruh Turaev	– assistant of the department of geology, exploration and prospecting of mineral deposits,, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Tashkent City, Almazar district University Street, Republic of Uzbekistan-2. https://ORCID.ORG/0009-0003-8619-225X e-mail: torayevshoxrubek89@gmail.com .
Ihom Salimov	– master of the department of geology, exploration and prospecting of mineral deposits, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Tashkent City, Almazar district University Street, Republic of Uzbekistan-2. https://orcid.org/0009-0003-4966-7340 e-mail: e-mail: salimovihom2078@gmail.com

ЗНАЧЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ФОТОТОНОМЕТРА В ПРИМЕНЕНИИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЛОГИИ

Б.Г. Азимов, А.Р. Алмордонов, Ю.Ж. Жавлиев
Ташкентский государственный технический университет

Doi: 10.5281/zenodo.20280207

АННОТАЦИЯ В статье представлены результаты космического спектрометрического анализа мелкомасштабных многоспектральных космических изображений с использованием

унифицированного фототометра, позволяющий дать научное объяснение независимости и стабильности фототонов. Описаны также ожидаемые результаты космического спектрометрического анализа каналов спутниковых изображений ASTER на базе универсального фототометра с компьютерными возможностями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Спектр, спектральный анализ, полевые и аэроспектрометры, космический спектрометр, создание, унифицированный, универсальный фототометр, комплекс спектрометрических исследований.

ВВЕДЕНИЕ

Термины «спектр» и «спектральный анализ» были введены в научный оборот физиками.

Из курса физики всем известно, что явление дисперсии используется в науке и технике для определения состава вещества, получившего название спектрального анализа. Этот метод основан на изучении света, излучаемого или поглощаемого веществом.

Однако весьма успешное применение «Спектрального анализа» в практической химии привело к тому, что сегодня большинство ученых-исследователей, и в первую очередь геологов, воспринимают этот метод как чисто химический.

В 1972 году комплект крупномасштабных многоспектральных космических изображений, переданный со спутника Landsat по сути был результатом первой в мире космической спектрометрии.

Московские специалисты В.М.Панин и С.Ф.Скобелев проанализировали относительной геологической информативности этого комплекта и пришли к следующему выводу: изменение фототонов в каналах зависит от атмосферы.

А фототоны на мелкомасштабных многоспектральных космических изображениях, переданные в 1978 года со спутника «Метеор Природа-28» были, по сути, результатами космической спектрометрии, выполненной в Советском Союзе.

Для космического спектрометрического анализа, основанного на ценной информации, содержащейся в этих материалах, сначала было необходимо качественно и количественно оценить фототоны.

Мы создали унифицированный фототометр – 10-балльную шкалу, позволяющую качественно и количественно оценивать фототоны на основе визуально воспринимаемых эталонных единиц.

Сегодня унифицированный фототометр (УнфФ), эталонные единицы которого были приняты визуально, был заменен точными цифровыми стандартными единицами, автоматизированными, и мы стали называть фототометр универсальным (УнвФ).

Целью данной статьи является определение теоретических, практических и поисковых возможностей универсального фототометра при использовании спектрометрических исследований в геологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 1976 году сотрудники Академии наук СССР С.Ф.Скобелев и В.М.Панин первыми проанализировали относительную геологическую информативность комплекта многоспектральных сканерных космических снимков, полученных с американского спутника Landsat.

Изменение свойства фототонов в коротких каналах комплекта, т.е. главных дешифровочных признаков, которые являются истинным отражением космической спектрометрии, они объяснили атмосферой [7].

Такая грубая методическая ошибка представителей авторитетных учреждений привела к нулевой значимости фототонов в космических спектрометрических исследованиях не только на территории бывшего Союза, но и в зарубежных странах.

Сначала в зарубежных странах [14-16], затем в России [6] и Узбекистане [8-10] при космических спектрометрических исследованиях соотношение каналов стало решающим методом. В настоящее время в геологии для различных данных дистанционного зондирования разработано более 40 методов, называемых геологическими индексами (минеральными индексами) [9].

В наших исследованиях для отождествления геологических и других природных объектов использован количественный метод, заключающийся в следующем. На основе фотометрических карт, построенных с помощью унифицированного фототометра количественно оценивается оптическая характеристика каждого конкретного объекта, оконтуриваемого на космоматериалах в отдельных спектральных диапазонах. Расположив на графике по вертикали эти оптические величины, а по горизонтали - длин волн спектра, мы построили кривые, характеризующие исследуемые объекты, или, как они названы нами в работе, ландшафтно-фотометрические комплексы [1-5].

Ниже обсуждаются важные задачи и результаты, решенные на основе космического спектрального анализа с использованием УнфФ:

1. Суть первой проблемы – научное объяснение независимости и стабильности фототонов на основе комплекта многоспектральных космических изображений. Значение этого результата заключается в том, что исследователи дистанционного зондирования считали эту проблему недоказуемой [2].

2. Результатом второй задачи является то, что фотоаномалии, обнаруженные на крупных и средних месторождениях нефти и газа в

Ферганской долине, позволили создать классификатор, непосредственно помогающий идентифицировать скопления углеводородов, и это побудило к разработке первого классификатора, непосредственно помогающего идентифицировать рудные месторождения [1].

3. В третьем вопросе обсуждаются ожидаемые результаты космического спектрометрического анализа каналов спутниковых изображений ASTER на базе усовершенствованного компьютером универсального фототонметра [3-5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

1. Значение УнфФ в решении сложных теоретических задач при применении спектрометрических исследований в геологии.

В 1980-1983 годах один из авторов был аспирантом Института геологии АН СССР и неоднократно обсуждал значение фототонов в науке изучения Земли из космоса.

Услышав, что одна из целей диссертации – доказать независимость и устойчивость фототонов в космических изображениях, С.Ф.Скобелов отметил следующее.

Четыре основных природных фактора напрямую влияют на формирование фототонов на космических снимках. Сегодняшние научные достижения позволяют практически определить спектральные свойства трёх факторов (1-Солнце, 2-атмосфера, 3-земной ландшафт).

Однако практические средства изучения спектральных свойств четвертого фактора – подземных геофизических и геохимических аномалий – в науке не существуют и вряд ли появятся в ближайшее столетие.

Чтобы подчеркнуть, что эта идея является аксиомой, не требующей доказательств, он саркастически добавил: "В Америке есть великий писатель-фантаст - Айзек Азимов, а в СССР - "великий учёный-фантаст" - Батыр Азимов".

Для решения этой проблемы анализировались более сорока комплектов многозональных мелкомастабных (1:7500000-8000000) космических изображений, полученных за 1974-1983 гг, с автоматом-спутников "Метеор-Природа" №16,25,28,29,30,31 32 в спектральных диапазонах (0,5-0,6, 0,6-0,7, 0,7-0,8 и 0,8-1,1 мкм).

По результатам статистического анализа были сделаны следующие два важных вывода [2]:

Во-первых, поскольку электромагнитные волны, регистрируемые в коротких диапазонах любого многоспектрального комплекта, реализуются синхронно, то воздействие всех природных факторов на фототоны одинаково, т.е. постоянный.

Во-вторых, на комплектах многозональных космических изображений, выполненных в разные годы, разные сезоны года и разное время суток количественное значение фототонов различно, но конфигурация кривых, характеризующих каждый

геологический образ или природный объект, неизменна и стабильна.

Таким образом, посредством статистического анализа мы научно установили независимость и стабильность фототонов на космических снимках, что ученые считали недоказуемым вопросом.

2. Значение УнфФ в решении прямых поисковых задач с использованием спектрометрических исследований в геологии.

Наши исследования показали, что спектры отражения в видимом и инфракрасном диапазонах могут характеризовать физические свойства и химический состав горных пород и природных объектов (рис. 1).

Кривая 3-3, разделенная на графике на кривые 3-3а и 3-3б, имеет особое значение при решении задач прямой разведки с использованием спектрометрических исследований в геологии.

Кривая 3-3а на графике показывает спектральные характеристики плиоценовых желтовато-серых конгломератов, гравелитов, песчаников и красно-коричневых суглинков, аппроксимированные с помощью унифицированного фототонметра по крупномасштабным многозональным сканерным космическим снимкам "Ландсат".

Учитывая, что кривые 3-3б установлены в основном на поверхности крупных и средних месторождений нефти и газа в Фергане (Южный Аламышик, Ходжаабат, Палвантош и др.), их появление в космических материалах можно объяснить только следующими двумя факторами:

1. Способность УВ мигрировать из газонефтяной залежи через перекрывающую толщу пород, изменяя при этом их физико-химические характеристики и формируя зоны аномальных содержаний микроэлементов

2. Способность УВ мигрирующих из газонефтяной залежи создавать на поверхности аномальных температур.

Таким образом, кривая 3-3а на графике является спектральным образом плиоценовых отложений, а кривые 3-3б фотоаномалиям, прямым классификатором скоплений нефти и газа.

Таким образом, кривая 3-3а на графике представляет собой спектральный образ плиоценовых отложений, а кривые 3-3б - фотоаномалии, прямой классификатор нефтегазоскопления.

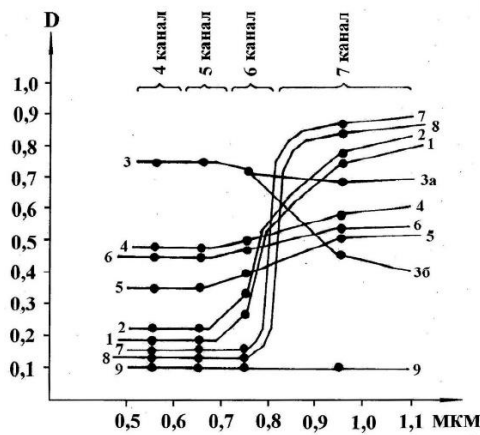
Итак, мы рассмотрели спектральный классификатор, который важен для прогнозирования скоплений углеводородов.

Полученные результаты послужили толчком к разработке первого классификатора, позволяющего непосредственно идентифицировать месторождения руд.

Основой инновационной идеи является разработанный нами спектральный классификатор прямого поиска неглубоких погруженных золотоносных кварцевых жил в Западном Узбекистане (рис. 2).

Решение этой новаторской идеи планировалось следующим образом. На территории Западного Узбекистана выделены экспериментальные участки с неглубокими золотоносными кварцевыми жилами, на основе полевого

спектрометра подтверждены спектральные изображения палеозойских отложений (в частности, слоев тасказгонской свиты) и конфигурация резких изменений спектрального классификатора кварцевых жил.



Кривые на графиках характеризует: 1-голоценовые рыхлые образования-галечники, брекчии, пески; 2-верхнеплейстоценовые серые галечники, брекчии, желтовато-серые суглинки; 3-плиоценовые желтовато-серые конгломераты, гравелиты, песчаники и красновато-коричневые суглинки; 4-палеогеновые пестроцветные глины, мергели, известняки; 5- меловые комковатые пятнисто-пестроокрашенные глины, розовато-серые песчаники; 6- юрские красновато-коричневые, лиловые, зеленовато-бурые глины и темно- серые пласты углей; 7-9 - антропогенные объекты: 7-сады; 8-хлопковые поля и 9-водная поверхность водохранилищ (Кувасайское и Найманское).

Рис. 1. График изменения плотности фототонов мезокайнозойских отложений в зависимости от спектрального диапазона крупномасштабных мультиспектральных сканерных космических снимков "Ландсат".

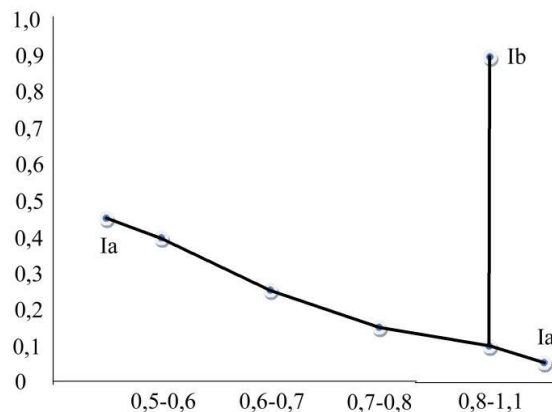


Рис. 2. Спектральный классификатор прямого поиска неглубоко погруженных золотоносных кварцевых жил в Западном Узбекистане: Ia – Ia – спектральный образ Тасказганской свиты; Ia-Ib спектральный классификатор кварцевых жил, контролирующей золотое оруденение.

К сожалению, отсутствие полевых спектрометров и комплектов крупномасштабных мультиспектральных космических снимков не позволило нам изучить спектральный классификатор кварцевых жил, контролирующей золотоносную минерализацию в конкретных полевых условиях Западного Узбекистана.

3.Значение УвФ при решении задач бурения с использованием спектрометрических исследований в геологии.

Сегодня при построении унифицированного фототонометра визуально принятые эталонные единицы были заменены точными цифровыми стандартными единицами с помощью компьютера, и фототонометр мы стали называть универсальным.

Космический спектрометрический анализ крупномасштабных комплектов мульти- и гиперспектральных изображений со всех спутников теперь возможен с помощью

универсального фототонометра. Также появилась возможность протестировать выявленные классификаторы прямого поиска в реальных полевых условиях и установить координаты поисковых скважин с точностью до 1 пикселя.

В 2022 году в Узбекистане вышла важная статья о применении спектрометрических исследований в геологии. В статье А.Р.Асадова и его соавторов представлены результаты спектрометрических исследований, позволивших

создать базу данных электронной спектральной библиотеки горных пород и минералов на территории центральной части гор Букантау (Центральные Кызылкумы) [8].

На основе базы данных электронной спектральной библиотеки горных пород и минералов эти авторы создали карту минеральных изменений Букантовых гор (рис. 3).

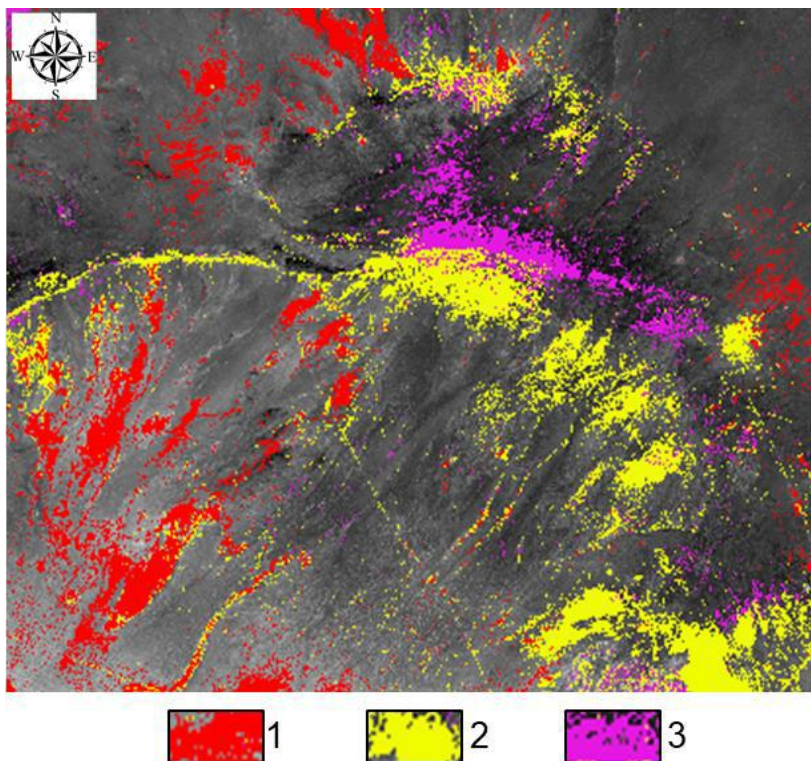


Рис. 3. Карта минеральных изменений (по данным [8])

1-оксид железа; 2- зоны каолинизации; 3-железосодержащие породы.

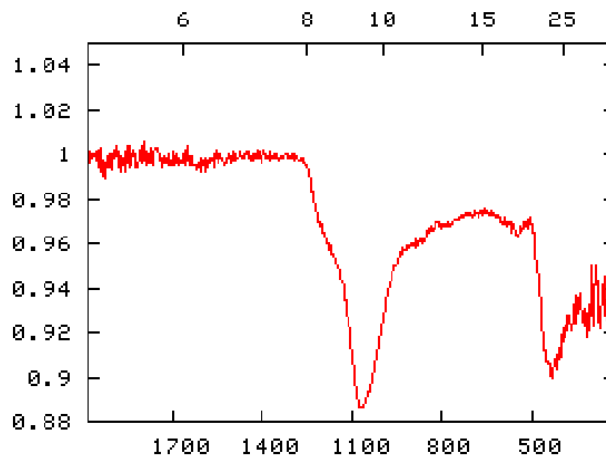
Хотя эти результаты являются прорывом мирового уровня в развитии спектральных методов прогнозирования и поиска месторождений, они не позволяют проводить прямой космический спектрометрический анализ.

Для выяснения причины этого рассмотрим источники, использованные авторами при создании базы данных электронной спектральной библиотеки, используемые спектрометры, форму представления данных в них, а также проблемы, возникающие при непосредственном анализе этих данных методом космического спектрометрического анализа.

1.Библиотека цифровых спектральных данных USGS. Библиотека создана в лаборатории спектроскопии USGS (текущая версия splib07a - март 2018 г.). Она содержит данные о спектральной отражательной способности минералов, горных пород и почв в диапазоне от 0,2

до 150 микрометров. Всего более 1300 спектральных кривых [17].

Использованный спектрометры. Для измерения спектров в библиотеке использовались четыре различных типа спектрометров: (1) Beckman™ 5270, охватывающий спектральный диапазон от 0,2 до 3 мкм, (2) стандартные, высокого разрешения (hi-res) и высокого разрешения следующего поколения (hi-resNG) модели полевых портативных спектрометров ASD, охватывающие диапазон от 0,35 до 2,5 мкм, (3) интерферометрические спектрометры с преобразованием Фурье в инфракрасной области спектра (FTIR) Nicolet™, охватывающие диапазон примерно от 1,12 до 216 мкм, и (4) бортовой спектрометр видимого/инфракрасного изображения NASA AVIRIS, охватывающий диапазон от 0,37 до 2,5 мкм (примеры спектров отражения из библиотеки показаны на рис 4).



#2401 Aluminosilicate Gel Si:Al 5.6

Рис. 4. Алумосиликатный гель Si:Al 5.6

Проблема: Для измерения спектров в библиотеке использовались четыре различных типа спектрометров. Эти четыре типа спектрометров необходимы для подтверждения надежности кривых при прямом космическом спектрометрическом анализе в конкретных полевых условиях в Узбекистане.

2. Спектральная библиотека JPL (Jet Propulsion Lab). Библиотека включает спектральные кривые отражения для 160 минералов в диапазоне от 0,4 до 2,5 микрометров. Основная цель библиотеки – показать влияние размера зерна на спектральную отражательную способность минералов [12,13].

Использованный спектрометры. Измерения полусферической отражательной способности в видимой и коротковолновой области электромагнитного спектра (от 0,4 до 2,5 мкм) проводились с использованием спектрофотометра Beckman UV5240 (примеры спектров отражения из библиотеки горных пород JPL показаны на рис 5).

Проблема: Для измерения спектров в библиотеке проводились с использованием спектрофотометра Beckman UV5240. Этот спектрофотометр Beckman UV5240 необходим для подтверждения надежности кривых при прямом космическом спектрометрическом анализе в конкретных полевых условиях в Узбекистане.

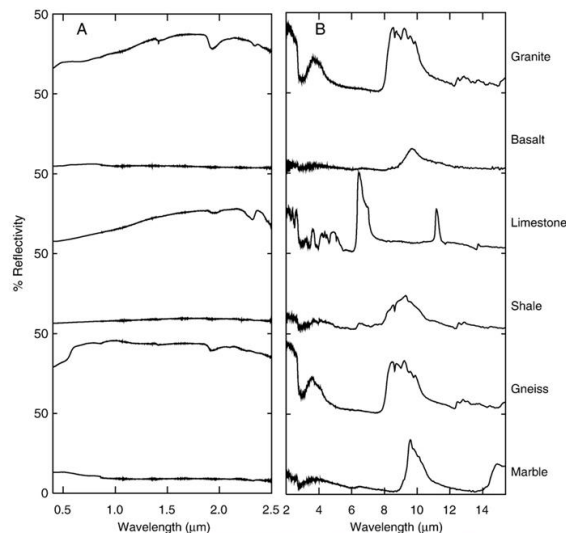


Рис 5. Примеры спектров отражения из библиотеки горных пород JPL для магматических, осадочных и метаморфических пород, показывающие изменение спектральных форм в видимом и коротковолновом инфракрасном (0,4–2,5 мкм) (A) и инфракрасном (2,0–15,4 мкм) диапазонах длин волн (Bs). Спектры смещены для наглядности.

3. Спектральная библиотека ASTER. Спектральная библиотека ASTER (текущая версия 2.0 - декабрь 2008 г.) создана для поддержки

использования изображений Terra/ASTER и содержит данные из спектральных библиотек, перечисленных выше. Всего она содержит более 2400 спектральных кривых природных и

искусственных материалов в диапазоне от 0,4 до 15,4 мкм [11]

Гиперспектральные данные, полученные с помощью космических снимков ASTER, полученные 14 различными диапазонами электромагнитного спектра и разрешения. 4 диапазона с помощью видимого и ближнего инфракрасного (VNIR) с разрешением 15 м., 6 диапазонов с помощью коротковолнового инфракрасного (SWIR) с разрешением 30 м. и 5 каналов с помощью теплового инфракрасного (TIR) с разрешением 90 м. Ширина полосы захвата для всех сенсоров 60 км.

Ценность этой пространственной спектральной информации заключается в том, что при наведении курсора на любой пиксель в каждом канале, во-первых, координаты x и y этого пикселя появляются под экраном, а во-вторых, 14-канальные единицы спектрального разрешения этого пикселя появляются полностью над пикселем.

Как видно, мульти- и гиперспектральные минералогические данные изображены графический, а гиперспектральные данные, полученные с помощью космических снимков ASTER в виде карт фототонов.

Универсальный фототонometr способен преобразовать любые данные космической спектрометрии в 10-балльные космические фотометрические карты, а такие карты являются наиболее оптимальным вариантом для космического спектрометрического анализа.

Но для эффективного их использования необходимо учитывать особенности дешифровочных признаков палеозойских отложений Узбекистана в видимом и инфракрасном диапазонах спектра в конкретных полевых условиях.

Определение координат дорогостоящей разведочной скважины осуществляется путем решения следующих трех задач на точках спектрометрических наблюдательный.

1. Независимость и устойчивость критериев спектрального прогноза полей минерализации, разработанных на основе лабораторного и космического спектрометрического анализа в конкретных полевых условиях Узбекистана, проверяются и определяются с помощью полевых гиперспектральных приборов.

2. На точках спектрометрических наблюдательный также решаются:

Во-первых, закономерность изменения и генерализации особенностей самостоятельности и устойчивости критериев спектрального прогноза полей минерализации в зависимости от масштаба и во-вторых, те же итентичные закономерности будут определены в зависимости от спектрального диапазона.

Эти две важные проблемы исследуются и решаются с помощью гиперспектральных приборов, установленных на дронах. Для поиска полного ответа на этот вопрос оптимальными являются гиперспектральные данные, полученные с вертикальных высот 5, 10, 25, 50 и 100 м.

3. А координаты дорогостоящей разведочной скважины будут определены современными оптико электронными аппаратами, установленных точках спектрометрических габлюдений.

Таким образом, при разработкн надежных критериев космогеологического спектрального прогноза полей минерализации необходимым универсальный фототонometr, а для определения координат поисковых скважен требуется современные оптико электронные приборы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня мультиспектральные изображения ASTER эффективно используются для обнаружения и картографирования железистых, глинистых, карбонатных и кварцевых минералов. Новейшие картографические материалы существенно сокращают площадь поиска. Но в любых материалах, основанных на соотношениях каналов, точный спектральный диапазон каждого канала становится безразмерной единицей. И теряется возможность проверить их результаты в реальных полевых условиях.

Сегодняшнее развитие комплекса спектрометрических исследований в науке и технике и возможность считывания их уникальных результатов с помощью универсального фототонометра позволяют разрабатывать прямые поисковые дешифровочные признаки рудных месторождений, тестировать их в полевых условиях, а также определять координаты (x и y) проектируемых скважин с точностью до одного пикселя.

THE IMPORTANCE OF A UNIVERSAL PHOTOTONOMETER IN APPLYING SPECTROMETRIC STUDIES IN GEOLOGY

B.G. Azimov, A.R. Almordonov, Y.J.Javliyev

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

The article presents the results of space-based spectrometric analysis of small-scale multispectral space images using a unified phototonometer, which provides a scientific explanation for the independence and stability of phototons. The expected results of spectrometric analysis of

ASTER satellite imagery channels based on a universal photometer with computational capabilities are also described.

KEYWORDS Spectrum, spectral analysis, field and aerial spectrometers, space spectrometer, development, unified universal photometer, complex of spectrometric studies.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Азимов Б.Г. Относительная геологическая информативность мелкомасштабных многозональных космических изображений (на примере Ферганской впадины и ее горного обрамления) // "Исследование Земли из космоса" 1984, №3, –44-49 с.
- 2.Азимов Б.Г. Применение аэрокосмических изображений в структурно-геологических исследованиях // Автор, дисс. на соис. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. М., 1988. –21 С.
- 3.Азимов Б.Г., Абидханов А., Ботирова Н.У., Тургунбаев А. Унифицированный фотометр как основа при составлении спектральных геологических образов и классификаторов площадей полезных ископаемых // Международная научно-практическая Конференция «ИННОВАЦИЯ-2017». Сборник статей / – Т. Изд. «Наврӯз». с. 204-205.
- 4.Азимов Б. Г., Бобохонов Ж.У., Алимухамедова М.Р., Даминова М.К., Мадibraгимов М.М. Унифицированный фотометр // Advances in Science and Technology Часть I Сборник статей XVIII международной научно-практической конференции ISBN 978-5-6042299-2-7 Научно-издательский центр «Актуальность.РФ» –М.: 2019. с.58
- 5.Азимов Б.Г., Жавлиев Ю.Ж., Расулов А.Х. Унифицированный фотометр как основа для разработки поисковых спектральных классификаторов рудных и нерудных месторождений. CENTRAL ASIAN ACADEMIC JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH. ISSN: 2181-2489 VOLUME 2 | ISSUE 5 | 2022. p.356-364.
- 6.Кирсанов А. А. Новый метод выявления окolorудных гидротермально измененных пород по космическим гиперспектральным данным на примере Ломамского потенциально золоторудного района, Республика Саха (Якутия) // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 86. – С. 97–106. DOI: 10.52349/0869-7892_2021_86_97-106
- 7.Панин В.М., Скобелов С.Ф. Опыт проведения многозональных сканерных космических снимков для изучения геологической структуры (на примере восточных районов Ферганы и Таджикской депрессии) –В кн: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология, т.5, М.:ТВИНИТИ, 1976, с.61-71.
- 8.A.R. Asadov, SH.I. Akhmadov, A.B. Goipov, Z.M. Musakhonov, A.R. Almordonov. Creation of a spectral library of rocks and minerals of the Bukantau mountains (Central Kyzilkum). DOI 10.5281/zenodo.7271174. The Seybold Report Journal (TSRJ). 17 (№10(2022).), P.1856-1864.
- 9.A.R.Asadov, A.R. Almordonov. Spectral analysis of the Landsat 8 image of the Nurata Mountains by the PCA method. International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences. Vol. 11. 2021 p.227-232
- 10.A.R.Asadov, A.R.Almordonov, S.A.Rabbimkulov, A.I.Tangirov. Identification of intrusive massifs in the Nurata mineralized zones based on satellite images. Technical science and innovation. №1(11). 2022 p. 78-83.
- 11.Baldrige, A. M., S.J. Hook, C.I. Grove and G. Rivera, 2009... The ASTER Spectral Library Version 2.0. Remote Sensing of Environment, vol 113, pp. 711-715.
- 12.Clark, R. N., T. V. V. King, M. Klejwa, G. A. Swayze, and N. Vergo (1990), High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals, J. Geophys. Res., 95, No. B-8, 12653-12680.
- 13.Hunt, G. R. (1977), Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near- infrared, Geophysics, 42, No 3, 501-513.
- 14.Henrich, V., Jung, A., Götze, C., Sandow, C., Thürkow, D., Gläßer, C. (2009): Development of an online indices database: Motivation, concept and implementation. 6th EARSeL Imaging Spectroscopy SIG Workshop Innovative Tool for Scientific and Commercial Environment Applications Tel Aviv, Israel, March 16-18, 2009
- 15.F. Feizi and E. Mansuri, "Separation of Alteration Zones on ASTER Data and Integration with Drainage Geochemical Maps in Soltanieh, Northern Iran," Open Journal of Geology, Vol. 3 No. 2, 2013, pp. 134-142. doi: 10.4236/ojg.2013.32017
- 16.Kanlinowski, A. and Oliver, S. (2004) ASTER Mineral Index Processing, Remote Sensing Application, Geo-Science Australia, Internal Report, 39 p. http://www.ga.gov.au/image_cache/GA7833.pdf
- 17.Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., and Klein, A.J., 2017, USGS Spectral Library Version 7 Data: U.S. Geological Survey data release, <https://dx.doi.org/10.5066/F7RR1WDJ>
18. Azimov B.G., Erkinova K., Almordonov A.R. Оценка геологической информативности многоспектральных космических изображений на основе инструментального оптического фотометра // European Journal of Interdisciplinary Research and Development [2025] 118-125 b.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Azimov Botir Ganiyevich	– Associate professor of the department, PhD; at Tashkent State Technical University named after I. Karimov, 100095, Uzbekistan, Tashkent, Almazar district, University str. 2, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7687-7827 , g-mail: g.batir@yandex.ru .
Almordonov Abdulla Rovilovich	– Senior Lecturer at Tashkent State Technical University named after I. Karimov, 100095, Uzbekistan, Tashkent, Almazar district, University str. 2, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8527-6311 , g-mail: AlmordonovA@gmail.com :
Zhavliyev Yusufjon Zhavli o'g'li	– base doctoral student, at Tashkent State Technical University named after I. Karimov, 100095, Uzbekistan, Tashkent, Almazar district, University str. 2, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5663-5849 , g-mail: yusufjonjavliyev@gmail.com ,

35/0.4 kV HAVO VA KABEL ELEKTR UZATISH TARMOQLARI ORQALI TRANSFORMATOR PUNKTLARIGA KUCHLANISH BERISH AFZALLIKLARI

D.K. Abduxalilov

Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O'zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.20280237

ANNOTATSIYA Energetika tizimining asosiy bo'g'ini hisoblangan transformator punktlari (TP) iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ishonchli ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Hozirgi kunda O'zbekistonda elektr ta'minoti tizimlarida 35/0,4 kVli transformator punktlari qishloq va shahar hududlarida keng qo'llanilmoqda. Bu punktlarga elektr energiyasini yetkazib berish havo yoki kabel elektr uzatish tarmoqlari orqali amalga oshiriladi. Har ikki usulning afzallik va kamchilik tomonlarini o'rganish elektr ta'minoti tizimining ishonchliligi va samaradorligini belgilaydi.

KALIT SO'ZLAR

Kuchlanish, transformator, energetika, texnologiya, havo va kabel tarmoqlari

KIRISH

Respublikamizda oxirgi yillarda amalga oshirilayotgan isloxtalar natijasida, ya'ni xayot tarzi rivojlanib borishi, turli innovatsion zamonaviy texnologiyalarni qo'llanilishi natijasida elektr energiyasiga bo'lgan talab yanada orib bormoqda. Iqtisodiyotini jadal rivojlantirish uchun mamlakatimiz energetika tizimini modernizatsiya qilishning ustuvor yo'nalishlarini amalga oshirish maqsadida elektr ta'minoti tizimini rivojlantirish, yetkazib berilayotgan elektr energiyasini samarali yetkazib berish, tizimda hosil bo'ladigan energiya isroflarni kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlar ishlab chiqilib, dasturlashtirilmoqda [1].

Har qanday davlatning rivojlanish darajasini belgilovchi asosiy ko'rsatkichlardan biri bu uning energetika rivojlanishi hisoblanadi. Qishloq xo'jaligida, sanoatda, mashinasozlik va ishlab chiqarishda, jumladan, energetikada jadal rivojlanish natijasida iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashda energiya tejamkorligiga erishish va yangi innovatsion texnologiyalardan foydalangan holda ularning elektr ta'minoti tizimining ishonchliligini oshirish asosiy vazifalardan biri hisoblanadi.

Ayni paytda elektr ta'minoti tizimida kutilayotgan ehtiyojlarni qondirish, shuningdek, tizimda samaradorlik va energiya tejashga erishish maqsadida hukumat darajasida dasturiy ishlar amalga oshirilmoqda. Amalda muddati o'tab bo'lgan va foydalanish muddati o'tgan elektr jihozlari va tarmoqlarini rekonstruksiya qilish, almashtirish va qayta jihozlash ishlari amalga oshirilmoqda. Shuni inobatga olgan holda, elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojni qondirish, shuningdek, elektr ta'minoti tizimining ishonchliligi va energiya samaradorligini oshirish maqsadida xorijiy davlatlar tajribasi asosida yangi qurilgan zavod va fabrikalar, muassasalar, turar-joy binolari tizimida zamonaviy innovatsion qurilmalar va tarmoqlardan foydalaniladi xamda, tizimda uzluksiz elektr energiya ta'minotiga yerishiladi [2].

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Elektr ta'minoti tizimining ishonchliligini va energiya samaradorligini oshirish uchun Rossiya Federatsiyasida tadbiq qilingan tajribalaridan kelib chiqib, chuqur kiritilgan tarmoq (ChKT) asosida, amalga oshirish mumkin. Bu usulda, nim stansiyalardan 35 kVli kuchlanishni havo va kabel tarmoqlari orqali to'g'ridan - to'g'ri transformatorlarga yo'naltirish orqali amalga oshiriladi. Bunga asosan, 6-10 kVli havo va kabel tarmoqlaridan foydalanish ehtiyojiga zaruriyat qolmaydi. Natijada elektr ta'minoti tizimi ishonchliligini, energiya samaradorligi oshishiga, energiya isrofini kamayishiga va sarflanayotgan mablag'larning tejalishiga erishiladi.

Hozirgi kunda elektr energetika tizimlarida elektr energiyasini samarali va ishonchli uzatish muhim masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, **35/0.4 kVli havo va kabel tarmoqlari** orqali transformator punktlariga kuchlanish berish masalasi aholi punktlari, sanoat korxonolari va infratuzilma ob'ektlarini barqaror elektr ta'minoti bilan ta'minlashda katta ahamiyat kasb etadi. Zamonaviy sharoitda elektr tarmoqlarida energiya yo'qotishlarni kamaytirish, xavfsizlik darajasini oshirish, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini qisqartirish va ekologiyaga ta'sirni minimallashtirish kabi omillar eng muhim maqsadlardandir [3].

MUHOKAMA

35 kVli elektr tarmoqlari, qoida tariqasida, shahar va qishloq elektr ta'minotida o'rta kuchlanishli tarmoqlar sifatida qo'llaniladi. Bu tarmoqlar orqali 0.4 kVli past kuchlanishli transformator punktlariga energiya yetkaziladi. Bunday tizimning asosiy vazifasi - energiyani uzoq masofalarga minimal yo'qotish bilan uzatish va uni iste'molchiga yaqin joyda transformator orqali past kuchlanishga aylantirishdir 35 kVli havo tarmoqlari quyidagi afzalliklarga ega:

- Qurilish arzonligi - havo tarmoqlarining investitsiyaviy qiymati kabel tarmoqlariga nisbatan 2-3 barobar arzon.

- Montaj va ta'mir osonligi - ustunlar, izolyatorlar va simlar ochiq joyda bo'lgani sababli ta'mir ishlari tez amalga oshiriladi.

- Ishonchlilik va uzoq xizmat muddati - zamonaviy alyuminiy yoki kompozit simlar 30 yildan ziyod xizmat qila oladi.

- Sovuq va issiq iqlimga moslashuvchanligi - havo tarmoqlari har xil iqlim sharoitida (-40°C dan +50°C gacha) barqaror ishlaydi.

- Quvvatni oshirish imkoniyati - quvvat talabi oshganda qo'shimcha fiderlar yoki yangi ustunlar o'rnatish orqali tizimni kengaytirish mumkin.

O'zbekistonda qishloq hududlaridagi 35 kVli havo tarmoqlari orqali 10-20 km masofadagi transformator punktlariga energiya yetkazilib, yo'qotishlar 6-8% dan oshmaydi.

Kabel tarmoqlari orqali uzatish afzalliklari:

35 kVli kabel tarmoqlari ko'pincha aholi zich joylashgan shahar hududlarida va sanoat korxonalarida qo'llaniladi. Ular quyidagi ustunliklarga ega:

- Yuqori xavfsizlik ochiq tok o'tkazuvchi qismlar yo'q, shok yoki yong'in xavfi minimal.

- Ekologiyaga ta'siri past kabellar yer ostida joylashgani uchun atrof muhitga ta'sir qilmaydi.

- Himoyalangan tizim shamol, chang, yomg'ir va barf ta'siridan himoyalangan.

- Estetik ko'rinish shahar arxitekturasiga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi, vizual tozalikni saqlaydi.

- Ishonchlilik darajasi yuqori sifatli XLPE izolyatsiyali kabellar bilan 40 yilgacha xizmat qila oladi.

- Yo'qotishlar kamligi ichki qarshilik pastligi tufayli energiya yo'qotishlar 3-5% dan oshmaydi.

1. Havo elektr uzatish tarmoqlari aosiy ko'rsatkichlari:

№	Parametr nomi	Tavsifi
1	Kuchlanish darajasi (U)	0,4 kV, 6-10 kV, 35 kV, 110 kV va undan yuqori bo'lishi mumkin.
2	O'tkazgich turi va kesimi (S)	Alyuminiy, bolot-alyuminiy (AS) yoki mis simlar. Kesimi 16-240 mm ² oralig'ida.
3	Tok yuklanishi (I)	O'tkazgich orqali o'tishi mumkin bo'lgan maksimal tok miqdori (Amperlarda). Bu miqdor simning kesimi va materialidan bog'liq.
4	Cho'zilish uzunligi (L)	O'tkazgich simlar orasidagi masofa. Odatda 25-100 m gacha.
5	Izolyatsiya darajasi	Odatda havo tarmoqlarida izolyatsiya ochiq, faqat izolyatsiyalangan SIP (samonosnaya izolirovannaya provoloka) turlari ham bor.
6	Energiya yo'qotishlari (ΔP)	Havo orqali uzatishda yo'qotishlar nisbatan yuqori (0,5-2%).
7	Iqlim ta'siri	Shamol, yomg'ir, qor, muzlamalar ta'siriga ochiq. Shunga ko'ra montaj balandligi va tirgaklar mustahkamligi muhim.
8	Montaj balandligi	6-10 kV liniyada 6-7 m, 35 kV liniyada 8-10 m atrofida bo'ladi.
9	Xizmat ko'rsatish muddati	25-40 yil.

2. Kabel elektr uzatish tarmoqlari asosiy aosiy ko'rsatkichlari:

№	Parametr nomi	Tavsifi
1	Kuchlanish darajasi (U)	0,4 kV dan 110 kV gacha (yoki yuqoriroq).
2	Kabel o'tkazgichi (S)	Mis yoki alyuminiy jilkalari (1-5 jilali). Kesimi 10-630 mm ² .
3	Izolyatsiya materiali	PVX (polietilen vinil xlorid), PE (polietilen), XLPE (to'yintirilgan polietilen) - zamonaviy izolyatsiyalar.
4	Tok yuklanishi (I)	Qizish haroratiga bog'liq. Masalan, 150 mm ² mis kabelda 250-300 A.
5	Qizish harorati (t)	Nominal ishlashda 70-90°C, qisqa tutashuvda 160-250°C gacha.
6	Erga yotqizish chuqurligi	0,7-1,2 m, shahar ichida maxsus quvurlarda yotqiziladi.
7	Energiya yo'qotishlari (ΔP)	Kam — 0,1-0,5%, chunki izolyatsiya va muhit ta'siri kam.
8	Muhofaza va germetiklik	Namlik va kimyoviy ta'sirlardan himoyalangan.
9	Xizmat ko'rsatish muddati	30-50 yil.

3. Havo va kabel tarmoqlarini solishtirma tavsifi

Ko'rsatkich	Havo tarmoqi	Kabel tarmoqi
Qurilish qiymati	Arzon	Qimmat
Ta'mir va nazorat	Oson	Murakkab

Xavfsizlik darajasi	O'rta	Yuqori
Yo'qotishlar	6–8%	3–5%
Ekologiya va estetika	Past	Yuqori
Xizmat muddati	30 yil	40 yil
Iqlimga ta'sir	Kuchli ta'sirda	Deyarli ta'sirsiz

35/0.4 kVli havo va kabel tarmoqlari orqali kuchlanish berishning umumiy afzalliklari quyidagicha:

- Energiyani uzatish samaradorligi energiya yo'qotishlar kamayishi hisobiga umumiy tizim samaradorligi 10-12% ga oshadi.

- Ishonchli ta'minot - har bir transformator punkt mustaqil tarmoq orqali energiya olishi tizimni barqaror qiladi.

- Quvvat taqsimoti barqarorligi yuklamani avtomatik tarzda balanslash imkoni mavjud.

- Ekologik barqarorlik kabel tarmoqlari va zamonaviy materiallar atrof muhitga zarar yetkazmaydi.

- Qurilish va ekspluatatsiya xarajatlarining optimalligi shaharlarda kabel, qishloqlarda havo tarmoqlarini aralash qo'llash orqali iqtisodiy samara erishiladi.

35/0,4 kVli transformator punktlarining vazifasi:

Bunday punktlar 35 kVli yuqori kuchlanishni qabul qilib, uni 0,4 kVli past kuchlanishga aylantiradi va aholi yoki ishlab chiqarish ob'ektlariga uzatadi. Shu sababli ularning elektr ta'minotida uzatish tarmoqlarining sifati va ishonchliligi juda muhimdir [4].

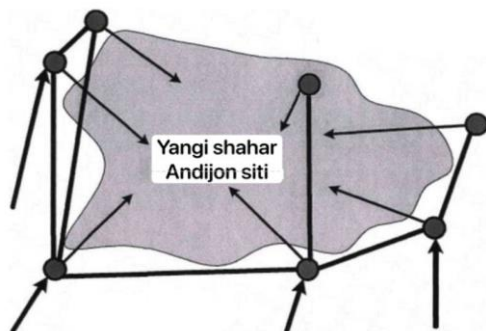
Transformator punktlariga kuchlanish berishda qo'llaniladigan sxemalar:

- To'liq havo tarmoqsi orqali kuchlanish berish - arzon va uzoq masofalarda samarali.

- To'liq kabel tarmoqsi orqali kuchlanish berish - shahar va sanoat hududlarida xavfsiz.

- Kombinirlangan (gibrid) sxema - ishonchlilik va iqtisodiylik o'rtasida optimal yechim.

Andijon shahridagi yangi “Yangi Andijon” massivida 35 kVli yer osti kabel tarmoqlari orqali transformator punktlariga energiya yetkazilmoqda. Bu hududda havo tarmoqlariga nisbatan 15% ga kamroq texnik yo'qotish qayd etilgan.



1-rasm. Katta shaharga energiya oqimlarining bir - xilligini ta'minlash uchun 35 kV li tarmoqlari (ChKT) ni joylashuvi.

Shahar elektr tarmoqlari kompleksda, 35 kV va undan yuqori elektr ta'minoti tarmoqlari va 6-10 kV taqsimlash tarmoqlari shahar va unga tutash hududlarning barcha iste'molchilarini hisobga olgan holda o'zaro bog'langan holda amalga oshirilishi kerak. Umuman olganda, shaharlarda quyosh elektr stantsiyalari (QES) ni loyihalash kerak va shahar haqidagi ma'lumotlarning bir qismining dinamikasi hisobga olgan holda, shaharni kelajakka (20-30 yil) rivojlantirishning bosh rejasi bilan kelishilgan muddatga amalga oshirilishi kerak bo'ladi [1.3.4.8].

Elektr tarmoqlari yeng katta samaradorlikni, elektr ta'minotining talab qilinadigan ishonchliligini belgilangan elektr energiyasi sifati standartlariga muvofiqligini hisobga olgan holda amalga oshirilishi kerak.

Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash uchun atigi 6-10 kV kuchlanishdan foydalangan holda iqtisodiy jihatdan foydali shahar elektr tarmog'ini qurish mumkin yemas, chunki bu uzoq manbalardan iste'molchilarga yuzlab kilometr 6-10 kV elektr uzatish tarmoqlarini qurishni talab qiladi. Bunday tarmoqlarni shahar hududining cheklangan hududida mumkin yemas.

Bundan tashqari, yuqori quvvatni uzatishda ko'p miqdorda rangli metall sarf qilinadi. Buni quyidagi misolda ko'rib chiqamiz. Sirtqi yuklama zichligi 30 MVA / km² bo'lgan shahar hududida 1 km² maydonni elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun qancha kabel kerakligini hisoblaylik. Ushbu hududning yuklamasi = 30 MVA. 10 kV kuchlanishda elektr uzatishda tok oqimi

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1732 \text{ A} \quad (1)$$

Kabel tarmog'ining quvvat hajmi izolyatsiyaning issiqlik rejimi bilan belgilanadi. 240 mm² kesimli alyumin o'tkazgichli to'qilgan polietilen izolyatsiyali 10 kV kabellar uchun uzoq muddatli ruxsat yetilgan isitish oqimi.

$$I_{un\ ret}^{240mm^2} = 530\ A$$

Yotqizish sharoitlarini yerning harorati, bitta xandaqda yotqizilgan kabellar soni, kabellarning ruxsat yetilgan yukini hisobga olgan holda, normal va nosozlikdan keyingi rejimlarda kerakli quvvatning elektr energiyasini uzatishni ta'minlaydigan 10 kV kabellarning kerakli soni;

$$n_{kab} = 10$$

Xuddi shu quvvat 110 kV kuchlanishdagi alyuminiyning ancha past iste'moli bilan uzatilishi mumkin. 110 kV kuchlanishda elektr energiya-sini uzatishda yuklama toki.

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1732\ A \quad (2)$$

185 mm² kesimli alyumin alyumin o'tkazgichli to'qilgan polietilen izolyatsiyali 110 kV kabellar uchun uzoq muddatli ruxsat yetilgan isitish tok oqimi

$$I_{dl\ dop}^{185mm^2} = 395\ A$$

Oddiy va nosozlikdan keyingi rejimlarda kerakli quvvatni elektr energiyasini uzatishni ta'minlaydigan 110 kV kabellarning kerakli soni;

$$n_{kab} = 2$$

10 kVga nisbatan 110 kV kuchlanishdan foydalanganda rangli metallni tejash aniqlanadi [3].

Yuqori kuchlanishli elektr energiyasini uzatish va taqsimlashning afzalliklari elektrotexnikaning asosiy qonunlaridan kelib chiqadi va elektr tarmoqlari va inshootlarida energiya yo'qotishlarini kamaytirishga, uskunaning o'tkazuv-chanligini oshirishga va elektr energiyasini iste'mol qilishni kamaytirishga yordam beradi. Elektr tarmoqlarini rivojlantirishning zamonaviy jahon tendentsiyalari ko'plab rivojlangan mamlakatlarning yuqori kuchlanish sinflarini joriy yetish istagidan dalolat beradi [5.6].

Shu sababli, shahar elektr ta'minotining zamonaviy va kelajakdagi rivojlanishining asosiy va xarakterli xususiyatlaridan biri bu shaharlarda yuqori kuchlanishli chuqur kirish tarmoqlari va podstansiyalarning rolini oshirishdir.

XULOSA

35/0.4 kVli havo va kabel elektr uzatish tarmoqlari orqali transformator punktlariga kuchlanish berish zamonaviy energetika tizimining asosiy yo'nalishlaridan biridir. Bu usul nafaqat energiyani uzatish samaradorligini oshiradi, balki ishonchlik, xavfsizlik va iqtisodiy foydani ham ta'minlaydi. 35/0,4 kVli havo va kabel elektr uzatish tarmoqlari transformator punktlariga kuchlanish berishda muhim rol o'ynaydi. Havo tarmoqlari arzon va qurilishi oson bo'lsa, kabel tarmoqlari xavfsiz va estetik jihatdan afzaldir. Amalda gibridd tizimlarni qo'llash orqali ishonchlik, energiya samaradorligi va uzluksiz ta'minotga erishish mumkin.

ВОЗДУШНЫЕ И КАБЕЛЬНЫЕ СЕТИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 35/0,4кВ ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПУНКТАХ

Д.К.Абдухалилов

Андижанский государственный технический институт

АННОТАЦИЯ Трансформаторные подстанции (ТП), являясь основным звеном энергосистемы, играют важную роль в обеспечении потребителей надежной электроэнергией. В настоящее время трансформаторные подстанции напряжением 35/0,4 кВ широко используются в сельской и городской местности энергосистем Узбекистана. Электроснабжение этих подстанций осуществляется по воздушным или кабельным линиям электропередачи. Изучение преимуществ и недостатков обоих методов определяет надежность и эффективность работы системы электроснабжения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА Напряжение, трансформатор, энергия, технология, воздушные и кабельные сети

REFERENCES:

1. O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2019-yil 1-avgustdagi 2020–2030-yillarda O'zbekiston Respublikasini elektr energiyasi bilan ta'minlash konsepsiyasi.
2. Allaev, K.R., O'zbekiston elektr energetikasi. Toshkent: Fan va texnologiya, 2009.
3. Акчурина С.А. «Многокритериальная оптимизация параметров систем электроснабжения. Пригородные зоны крупных городов с использованием глубоких высоковольтных вводов». Диссертация. М. -2013.-С. 38-67.

4. Бадалян Н. П., Колесник Г.П., Андрианов Д.П., Чебрякова Ю.С. Кабельные и воздушные линии электропередачи : учеб. пособие. Н. П. Бадалян [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 260 с.

5. Taslimov A.D., Abduxalilov D.K. "Chuqur ajratilgan tarmoq asosida elektr ta'minoti tizimining energiya samaradorligini joriy etish." Elektr ta'minoti tizimining dolzarb muammolari. Maqola - Toshkent: Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, 2022. - 48-50 b.

6. Рахимов Ф., Рахимов Ф., Самиев Ш., Абдухалилов Д. «Обоснование технико-экономической эффективности применения напряжения 35 кВ в воздушных сетях» [Текст]. APL Energy Latest Articles Online, AIP Conf. Proc. 3152, 030023 (2024) 030023-1-030023-6 - стр. <https://doi.org/10.1063/5.0218921>

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Dilshodbek Abduxalilov – Researcher, PhD, Andijan State Technical Institute, 170100, Andijan, Boburshokh Str.56, Republic of Uzbekistan
E-mail: dilshodbekabduhalilov67@gmail.com

KONCHILIK KORXONALARINING YUQORI KUCHLANISHLI HAVO ELEKTR UZATISH LINIYALARIDA TOJLANISH HODISASINI MONITORING QILISHNING NAZARIY ASOSLARINI BAHOLASH

A.N.Tovboyev, I.B.Tog'ayev

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.20280288

ANNOTATSIYA Ushbu maqolada har qanday moddiy obyektning bir joydan ikkinchi joyga ko'chirilishi ma'lum miqdordagi energiya sarfini talab qilishi ta'kidlanadi. Elektr tarmoqlari orqali uzatiladigan elektr energiyasi esa o'z tabiatiga ko'ra iste'mol qiluvchi yagona mahsulot bo'lib, uning uzatilishi uchun qo'shimcha moddiy resurslar zarur emas. Elektr energiyasining amaldagi yo'qotishlari elektr tarmog'iga uzatilgan energiya miqdori bilan foydali tarzda iste'molchilarga yetkazib berilgan energiya o'rtasidagi farq sifatida aniqlanadi. Bunday yo'qotishlar elektr uzatish jarayonining ajralmas qismi bo'lib, ular bir qator fizik, texnik hamda tashkiliy omillar bilan belgilanadi. Elektr energiyasi yo'qotishlari tarkiban bir necha guruhlarga bo'linadi. Texnik yo'qotishlar elektr tarmoqlarining asosiy elementlarida sodir bo'lib, ular elektr tokining o'tishi natijasida o'tkazgichlarning qizishi, havo elektr uzatish liniyalarida yuzaga keladigan tojlanish hodisasi, izolyatorlar orqali sodir bo'ladigan yo'qotishlar, shuningdek transformatorlar, avtotransformatorlar, statik va sinxron kompensatorlar, shunt reaktorlari hamda muz qoplamasini erituvchi qurilmalarda hosil bo'ladigan energiya yo'qotishlarini o'z ichiga oladi. Bundan tashqari, tarmoqdagi energiyani uzatish jarayonini ta'minlaydigan podstantsiya uskunalarining o'z ehtiyojlari uchun sarflaydigan elektr energiyasi ham texnik yo'qotishlarga kiradi. Shunday qilib, elektr energiyasining uzatish va taqsimlash tizimlarida yo'qotishlarni chuqur tahlil qilish, ularni aniqlash, hisoblash va korona hamda yuklama yo'qotishlarini minimallashtirish orqali elektr tarmoqlarining texnik-iqtisodiy samaradorligini oshirishga erishish mumkin ekanligi ta'kidlangan.

KALIT SO'ZLAR umumiy yo'qotishlar, tojlanish hodisasi natijasidagi elektr energiyasi yo'qotishlari, quvvat yo'qotishlari, maksimal yuklama davridagi yo'qotishlar, ob-havo parametrlarining o'zgarishi, meteorologik hodisalar ta'siri, tojlanish yo'qotishlarini o'lchash natijalari hamda yuklama yo'qotishlari.

KIRISH

Mazkur maqolada elektr uzatish va taqsimlash tarmoqlarida yuzaga keladigan tojlanish hodisasi natijasida paydo bo'ladigan aktiv energiya yo'qotishlarini hisobga olgan holda elektr ta'minoti tizimlarini optimallashtirish masalalariga bag'ishlangan. Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida elektr maydonining kritik qiymatdan oshishi natijasida hosil bo'ladigan tojlanish

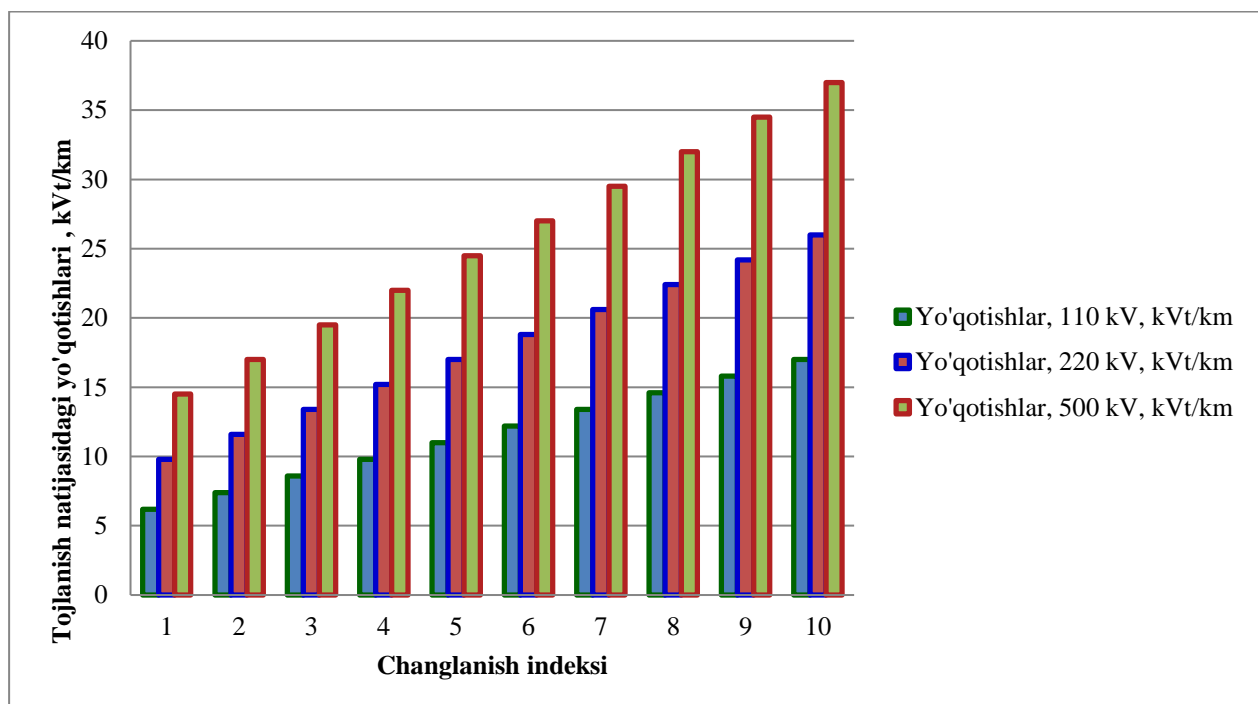
razryadlari energiya samaradorligining pasayishiga, qo'shimcha quvvat yo'qotishlariga hamda ekspluatatsiya xarajatlarining ortishiga olib keladi [1-3]. Tadqiqot doirasida tojlanish yo'qotishlariga ta'sir etuvchi asosiy omillar, jumladan o'tkazgichlarning geometrik parametrlari, fazalararo masofa, sirt holati, atrof-muhit sharoitlari (namlik, changlanish, havo bosimi va harorat) hamda elektr yuklama rejimlari kompleks tarzda tahlil qilingan.

Cho'l hududlari sharoitida 110, 220 va 500 kV havo elektr uzatish liniyalarida turli kesimli AC o'tkazgichlar uchun tojlanish va aktiv quvvat yo'qotishlarining hisobiy ko'rsatkichlari

Kuchlanis kV	O'tkazgich turi	Kesim mm ²	O'tkazgich radiusi, mm	Tojlanish boshlanish kuchlanishi U _с , kV
110	AC-150	150	7.0	125
	AC-185	185	7.9	132
220	AC-150	150	7.0	210
	AC-185	185	7.9	220
	AC-210	210	8.4	230
500	AC-500	500	13.0	480

Cho'l hududlarida havo zichligining kamayishi va o'tkazgich sirtining chang bilan qoplanishi natijasida elektr maydonining notekisligi kuchayadi. Bu holat tojlanish boshlanish kuchlanishining pasayishiga va aktiv quvvat yo'qotishlarining ortishiga olib keladi. Jadvaldan ko'rinadiki, o'tkazgich kesimi ortishi bilan sirt elektr maydoni gradienti kamayadi, natijada

tojlanish intensivligi va unga mos aktiv quvvat isroflari sezilarli darajada pasayadi. Ayniqsa, 500 kV tarmoqlarda katta kesimli (AC-500 mm²) o'tkazgichlardan foydalanish energetik samaradorlikni oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi [4].



1-rasm. Tojlanish yo'qotishlarining changlanish indeksi va kuchlanishga bog'liqligi

Elektr ta'minoti tizimlarida energiya samaradorligini oshirish masalasi zamonaviy elektroenergetikaning ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida yuzaga keladigan tojlanish hodisasi uzatish jarayonida qo'shimcha aktiv quvvat yo'qotishlariga sabab bo'lib, elektr energiyasi balansining yomonlashuviga olib keladi. Shu bois, elektr tarmoqlarini loyihalash va ekspluatatsiya

qilishda tojlanish yo'qotishlarini hisobga olish tizimni optimallashtirishning muhim sharti hisoblanadi [5]. Elektr tarmoqlarida tojlanish yo'qotishlari, avvalo, aktiv quvvat isroflarining ortishiga olib keladi. Bu holat elektr energiyasini uzatish samaradorligini pasaytirib, kuchlanish rejimlarining barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa, yuqori kuchlanishli tarmoqlarda tojlanish hodisasi uzatish liniyalarining umumiy energetik ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir

etadi. Bundan tashqari, tojlanish natijasida elektromagnit shovqinlar yuzaga kelib, aloqa tizimlariga xalaqit berishi, izolyatsiya elementlarining tezroq eskirishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu jihatdan, tojlanish yo'qotishlarini kamaytirish nafaqat energetik, balki ekspluatatsion va ekologik ahamiyatga ham ega. Elektr ta'minoti tizimini tojlanish yo'qotishlarini hisobga olgan holda optimallashtirishning asosiy maqsadi elektr energiyasini uzatish jarayonida minimal aktiv quvvat isroflariga erishishdan iborat. Bu jarayon elektr maydoni kuchlanganligini pasaytirishga qaratilgan texnik va rejimli yechimlarni qo'llash orqali amalga oshiriladi. Optimallashtirish yondashuvi tizimning elektr parametrlari, yuklama rejimlari va atrof-muhit sharoitlarining o'zaro bog'liqligini kompleks tarzda hisobga olishni talab etadi. Bunda elektr tarmoqlarining nominal kuchlanish darajalarini tanlash, uzatish liniyalarining konstruktiv yechimlari va ekspluatatsiya rejimlari muhim rol o'ynaydi. Tojlanish yo'qotishlarini kamaytirish elektr ta'minoti tizimining umumiy energiya samaradorligini oshiradi. Aktiv quvvat isroflarining qisqarishi natijasida elektr energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti ortadi, elektr uzatish jarayonida qo'shimcha quvvat zaxiralari qo'llanilgan ehtiyoj kamayadi va tizimning ishonchligi oshadi. Bundan tashqari, optimallashtirilgan elektr tarmoqlari uzoq muddatli ekspluatatsiyada iqtisodiy jihatdan ham samarali bo'lib, elektr energiyasini ishlab chiqarish va uzatish bilan bog'liq umumiy xarajatlarning kamayishiga xizmat qiladi.

TADQIQOT USULLARI

Mazkur tadqiqot elektr ta'minoti tizimlarida tojlanish hodisasi natijasida yuzaga keladigan aktiv quvvat yo'qotishlarini chuqur tahlil qilish va ularni hisobga olgan holda tizimni optimallashtirishga qaratilgan bo'lib, ish jarayonida nazariy, matematik, hisobiy-analitik hamda tizimli yondashuvlarga asoslangan tadqiqot usullari majmuasidan foydalanildi. Tadqiqotning dastlabki bosqichida tojlanish hodisasining fizik mohiyati elektr maydonlar nazariyasi, gazlar fizikasi va yuqori kuchlanish texnikasi qonuniyatlari asosida tahlil qilindi. O'tkazgich sirtida elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishi, havoning ionlashuv shartlari va tojlanish boshlanish mezonlari analitik usullar orqali o'rganildi. Ushbu bosqichda tojlanish

yo'qotishlarining elektr ta'minoti tizimining umumiy energiya balansiga ta'siri konseptual darajada asoslab berildi. Tojlanish jarayonini miqdoriy baholash maqsadida elektr maydon, ionlashuv va zaryad tashuvchilarning harakati bilan bog'liq jarayonlar matematik modellar orqali ifodalandi. Bunda o'tkazgich atrofidagi elektr maydon taqsimoti, ionlashuv intensivligi va tojlanish sharoitlarining o'zaro bog'liqligi uzluksiz muhit modeli doirasida tavsiflandi. Matematik modellashtirish elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymatga yetishi va tojlanishning barqaror rejimga o'tishini tavsiflovchi bog'lanishlarni aniqlash imkonini berdi. Tojlanish natijasida yuzaga keladigan aktiv quvvat yo'qotishlarini aniqlashda hisobiy-analitik yondashuvdan foydalanildi. Ushbu usulda tojlanish yo'qotishlari elektr uzatish liniyalarining parametrlariga, kuchlanish darajasiga va tashqi muhit sharoitlariga bog'liq holda baholandi. Hisobiy natijalar asosida tojlanish yo'qotishlarining elektr ta'minoti tizimidagi ulushi aniqlanib, ularning optimallashtirish jarayonidagi ahamiyati asoslab berildi. Elektr ta'minoti tizimi murakkab texnik obyekt sifatida qaralib, tojlanish yo'qotishlari tizimning boshqa yo'qotish turlari bilan o'zaro bog'liqlikda tahlil qilindi. Tizimli yondashuv orqali elektr uzatish liniyalari, transformatorlar, reaktiv quvvat manbalari va yuklama rejimlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar aniqlanib, tojlanish hodisasining butun tizim samaradorligiga ta'siri baholandi. Tadqiqotda elektr ta'minoti tizimini optimallashtirish masalasi tojlanish yo'qotishlarini hisobga olgan holda qo'yildi. Bunda optimallashtirishning maqsad funksiyasi sifatida umumiy aktiv quvvat yo'qotishlarini minimallashtirish mezonini qabul qilinib, texnik va ekspluatatsion cheklavlar inobatga olindi. Ushbu usul elektr ta'minoti tizimining energiya samaradorligini oshirishga yo'naltirilgan optimal texnik yechimlarni aniqlash imkonini berdi. Qo'llanilgan tadqiqot usullari majmuasi tojlanish hodisasini elektr ta'minoti tizimining ajralmas energetik omili sifatida har tomonlama o'rganish imkonini berdi. Nazariy tahlil, matematik modellashtirish va optimallashtirish yondashuvlarining uyg'un qo'llanilishi elektr tarmoqlarida tojlanish yo'qotishlarini hisobga olgan holda energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy asoslangan xulosalar chiqarishga imkon yaratdi.

3-jadval

Tojlanish yo'qotishlarini hisoblash namunasi

Belgilanishi	Parametri	Namunaviy qiymat
K	Doimiy (o'zgarmas) koeffitsient	243
D	Havodagi dielektrik teshilish gradiyenti	21.2 kv/sm
m_d	Teshilishning kritik kuchlanishi uchun notekislik koeffitsienti	0.85
m_v	Ko'rinadigan tojlanish boshlanish kuchlanishi uchun notekislik koeffitsienti	0.72

t	Atrof-muhit harorati” yoki “Muhitning harorati	45°C
P	Atmosfera bosimi” yoki “Atrof-muhitning havo bosimi	750 torr
δ	“Havo zichligini tuzatish koeffitsienti	0.9104
R	O‘tkazgich radiusi	0.54sm
d	O‘tkazgichlar orasidagi masofa”	300sm
f	Chasota	50Hz
V ₁	Fazalararo kuchlanish	132
E _{dv}	Teshilishning kritik kuchlanishi	Neytralga nisbatan 55,98 kV kuchlanish
E _{vd}	Ko‘rinadigan tojlanish boshlanish kuchlanishi	Neytralga nisbatan 67.72 kV kuchlanish
L	O‘tkazgich uzunligi	100 km
P _{uf}	Tojlanish yo‘qotilishi odatdagi (yaxshi) ob-havo sharoitida	347.34 kVt/faza
P _{us}	Bo‘ronli yoki yomg‘irli ob-havo sharoitidagi tojlanish yo‘qotilish	838.53 kVt/faza

Teshilishning kritik kuchlanishi (U_0) bu havo izolyatsiyasida elektr maydon kuchlanishi shunchalik ortadiki, havo molekulari ionlashadi va tojlanish boshlanadigan eng past kuchlanish qiymatidir. Boshqacha aytganda, bu kuchlanish qiymati havo muhitining dielektrik mustahkamligini yengib o‘tuvchi chegaraviy nuqtani bildiradi. Peek formulasi orqali aniqlanadi:

$$U_0 = gm_0 \cdot r\delta \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{r\delta}}\right) \ln\left(\frac{D}{r}\right) \quad (1)$$

Bu kuchlanish qiymati teshilishning kritik kuchlanishidan (U_0) biroz yuqori bo‘ladi, chunki ko‘rinadigan yorug‘lik effekti (ionlarning qayta birikishi natijasida) faqat kuchliroq elektr maydonlarda paydo bo‘ladi.

$$U = g_v m_0 \cdot r\delta 21.1 \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{r\delta}}\right) \ln\left(\frac{D}{r}\right) \quad (2)$$

4-jadval

Metereologik ta’sirlarning tojlanish jarayoniga bo‘g‘liqligi

Parametr	Ta’sir yo‘nalishi	Izoh
Havo namligi	Kamayadi	Namlilik past bo‘lsa, tojlanish kechroq boshlanadi
Bosimning ortishi	Yo‘qotish kamayadi	Yuqori bosimda ionlanish uchun ko‘proq kuchlanish kerak bo‘ladi
Haroratning ortishi	Yo‘qotish ortadi	Harorat oshganda havo zichligi kamayadi
Chastotaning ortishi	Yo‘qotish ortadi	Tez o‘zgaruvchi maydonlarda ko‘proq energiya sarflanadi

$$P_f = 242.5 \times 10^{-5} \times (50 + 25) \times \sqrt{\frac{0.5}{300}} \times (100 - 85)^2 \quad (3)$$

5-jadval

Keskin o‘zgaruvchan havoda tojlanish jarayoni

Ko‘rsatkich	Odatdagi ob-havo	Bo‘ronli ob-havo
Havo dielektrik mustahkamligi	Yuqori	Past
Ionlanish chegarasi (U_0)	Katta	Kichik
Elektr maydon notekisligi	Kichik	Katta
Tojlanish quvvat yo‘qotilishi (P_{ch})	Kam (masalan 0.2 kW/faza)	Yuqori (masalan 1.5–3.0 kW/faza)

O'tkazgich yuzasida shovqin	Past	Yuqori
Ozon hosil bo'lishi	Kam	Ko'p

6-jadval

Turli ob-havo sharoitlarida havo elektr uzatish liniyalarida AC turdagi o'tkazgichlar uchun tojlanish natijasida yuzaga keladigan solishtirma aktiv quvvat yo'qotishlari

O'tkazgich markasi	Yaxshi ob-havo, kVt/km	Quruq qor sharoitida, kVt/km	Yomg'ir paytida, kVt/km	Muzlash (izmoroz) paytida, kVt/km
AC-70	0,022–0,080	0,088–0,393	0,311–1,345	1,250–4,487
AC-95	0,022–0,057	0,094–0,243	0,270–0,915	1,160–3,388
AC-120	0,027–0,047	0,117–0,183	0,329–0,675	1,422–2,652
AC-150	0,038	0,157	0,474–0,476	2,010–2,015
AC-240	0,020–0,035	0,065–0,120	0,210–0,480	0,980–1,850

Tojlanish hodisasi yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida energiya samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri bo'lib, u elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymatdan oshishi natijasida yuzaga keladi. Mazkur jarayon aktiv quvvat yo'qotishlari, elektromagnit shovqin va ekspluatatsion salbiy oqibatlarga olib keladi.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida yuzaga keladigan tojlanish hodisasi elektr energiyasini uzatish jarayonida sezilarli aktiv quvvat yo'qotishlariga sabab bo'luvchi muhim fizik omillardan biridir. Tojlanish jarayoni o'tkazgich sirtida elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymatdan oshishi natijasida yuzaga kelib, gaz muhitida ionlashuv va zaryad tashuvchilarning harakati orqali energiyaning dissipatsiyalanishiga olib keladi. Tadqiqot natijalari shuni tasdiqlaydiki, tojlanish yo'qotishlari elektr tarmog'ining kuchlanish darajasi, o'tkazgichlarning geometrik parametrlari, fazalararo masofa hamda tashqi muhit sharoitlariga kuchli nolinear bog'liqdir. Ayniqsa, yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish yo'qotishlarini hisobga olmasdan elektr ta'minoti tizimini loyihalash va ekspluatatsiya qilish energiya samaradorligining pasayishiga hamda ekspluatatsion xarajatlarning ortishiga olib kelishi

mumkin. Tojlanish yo'qotishlarini hisobga olgan holda elektr ta'minoti tizimini optimallashtirish elektr maydon kuchlanganligini kamaytirishga qaratilgan kompleks yondashuvni talab etadi. Bunda o'tkazgich kesimini ratsional tanlash, fazalararo masofani optimallashtirish, bundle o'tkazgichlardan foydalanish, kuchlanish rejimlarini barqarorlashtirish hamda reaktiv quvvatni boshqarish choralarining uyg'un qo'llanilishi muhim ahamiyat kasb etadi. Olib borilgan tahlillar asosida aniqlanishicha, tojlanish yo'qotishlarini kamaytirish nafaqat aktiv quvvat isroflarini qisqartiradi, balki elektr ta'minoti tizimining umumiy ishonchligini oshiradi, kuchlanish sifatini yaxshilaydi va uzatish liniyalari elementlarining xizmat muddatini uzaytiradi. Shu bilan birga, optimallashtirilgan elektr tarmoqlari uzoq muddatli ekspluatatsiyada iqtisodiy jihatdan samarali bo'lib, elektr energiyasidan oqilona foydalanish imkonini beradi. Umuman olganda, elektr tarmoqlarida tojlanish yo'qotishlarini hisobga olgan holda elektr ta'minoti tizimini optimallashtirish zamonaviy elektroenergetikaning dolzarb ilmiy-texnik masalalaridan biri bo'lib, ushbu yo'nalishda ishlab chiqilgan ilmiy asoslangan yechimlar energiya samaradorligini oshirish va elektr ta'minoti tizimlarining barqaror rivojlanishini ta'minlashga xizmat qiladi.

ОЦЕНКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ МОНИТОРИНГА КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Товбоев А.Н., Тогаев И.Б.

Навоийский государственный горно – технологический университет,
Навои, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

В данной работе подчёркивается, что перемещение любого материального объекта из одного пространства в другое неизбежно сопровождается затратами определённого количества энергии. Электрическая энергия, передаваемая по электрическим сетям, по

своей физической природе представляет собой особый вид продукции, потребляемой исключительно в момент её выработки и передачи, при этом для её транспортирования не требуется дополнительных материальных носителей. Фактические потери электрической энергии определяются как разность между объёмом энергии, поданной в электрическую сеть, и количеством энергии, реально и полезно доставленной конечным потребителям. Потери электрической энергии являются неотъемлемым элементом процесса передачи и распределения электроэнергии и формируются под воздействием совокупности физических, технических и организационных факторов. В структуре потерь электрической энергии принято выделять несколько основных групп, среди которых ведущую роль занимают технические потери. Данный вид потерь возникает в основных элементах электрических сетей и обусловлен протеканием электрического тока, вызывающим нагрев токоведущих частей, а также специфическими электрофизическими процессами, происходящими в высоковольтных установках. К числу технических потерь относятся потери, обусловленные коронным разрядом на воздушных линиях электропередачи, утечки энергии через изоляционные элементы, а также потери мощности в трансформаторах, автотрансформаторах, статических и синхронных компенсаторах, шунтирующих реакторах и устройствах плавления гололёда. Существенную долю в общем балансе технических потерь составляет также электрическая энергия, потребляемая на собственные нужды подстанционного оборудования, обеспечивающего функционирование процессов передачи и распределения электроэнергии. Таким образом, детальный анализ потерь электрической энергии в системах передачи и распределения, их выявление, расчёт и структурирование, а также целенаправленное снижение коронных и нагрузочных потерь позволяют существенно повысить технико-экономическую эффективность электрических сетей. Комплексный подход к управлению потерями электроэнергии рассматривается как важнейшее условие повышения энергетической эффективности и надёжности современных электроэнергетических систем.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

Общие потери, Потери электрической энергии, обусловленные коронным разрядом, Потери мощности, Потери в период максимальной нагрузки, Изменение метеорологических параметров, Влияние метеорологических явлений, Результаты измерений потерь, обусловленных коронным разрядом, Нагрузочные потери.

**ASSESSMENT OF THE THEORETICAL FOUNDATIONS OF CORONA DISCHARGE
MONITORING IN HIGH-VOLTAGE OVERHEAD TRANSMISSION LINES OF MINING
ENTERPRISES****A.N.Tovboev, I.B.Togaev***Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan***ABSTRACT**

This scientific work In this study, it is emphasized that the transfer of any material object from one location to another inevitably requires the expenditure of a certain amount of energy. Electrical energy transmitted through power networks, by its physical nature, represents a specific type of product that is consumed exclusively at the moment of its generation and transmission, while its transportation does not require additional material carriers. Actual electrical energy losses are defined as the difference between the amount of energy supplied to the electrical network and the amount of energy that is effectively and usefully delivered to end consumers. Electrical energy losses constitute an inherent component of the processes of power transmission and distribution and are formed under the influence of a combination of physical, technical, and organizational factors. In the structure of electrical energy losses, it is customary to distinguish several main groups, among which technical losses play a dominant role. This type of loss occurs in the principal elements of electrical networks and is caused by the flow of electric current, which leads to the heating of current-carrying components, as well as by specific electrophysical processes taking place in high-voltage installations. Technical losses include losses due to corona discharge on overhead transmission lines, energy leakage through insulation elements, as well as power losses in transformers, autotransformers, static and synchronous compensators, shunt reactors, and de-icing devices. A significant share of the overall balance of technical losses is also accounted for by electrical energy consumed for the auxiliary needs of substation equipment that ensures the operation of power transmission and distribution processes. Thus, a detailed analysis of electrical energy losses in transmission and distribution systems, their identification, calculation, and classification, as well as the targeted reduction of corona and load-related losses, make it possible to significantly improve the technical and economic efficiency of electrical

networks. A comprehensive approach to managing electrical energy losses is regarded as a key prerequisite for enhancing the energy efficiency and reliability of modern power supply systems.

KEY WORDS Total losses, corona power losses, power losses, maximum losses, variations in weather parameters, meteorological phenomena, corona loss measurements, load losses.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Tovbaev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model// Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing.
2. Tog'ayev I.B., Tursunova A.A., Eshmirzayev M.A. Monitoring of overhead power lines.// Problems and scientific solutions. Vol.6, Issue 4, 2022 Australia, Melbourne. 267-271pt.
3. Dorosinsky, A.Yu. Algorithms and methods for determining the error of means simulating electrical signals of sine-cosine rotating transformers / Dorosinsky A.Yu.// XXI century: results of the past and problems of the present: scientific. Penza State Technical University, 2012. No. 6. pp. 42-46.
4. Baldenko D.F., Baldenko F. D., Gnoev A.N. Screw downhole engines (Reference manual). M.: Nedra, 1999. 375 p.
5. Milovzorov G.V. Analysis of instrumental errors of inclinometric devices. – Ufa, ed. "Gilem", 1997. 184 pp
6. Safronov V.A. Theory and practice of using angle sensors based on sine-cosine rotating transformers. Components and Technologies Magazine, Moscow, 2014, №.4. pp.58-62

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Tovboyev Akram Nurmonovich	– Acting Professor. Navoi State University of Mining and Technologies, 210100, Republic of Uzbekistan, Navoi city, 76V G'alaba branch street. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2677-6977 , e-mail: tovboyev70@mail.ru .
Togayev Islom Bekpulat ugli	– Senior Lecturer. Navoi State University of Mining and Technologies, 210100, Republic of Uzbekistan, Navoi city, 76V G'alaba branch street. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4481-874X , e-mail: togayev.islom@mail.ru

PODSTANSIYA ELEKTR JIHOZLARINING TEXNIK HOLATINI ISSIQLIK OMILLARI TA'SIRI ASOSIDA BAHOLASH USULLARI

Mavlonov J.A., Sayidov M.K.

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.20280313

ANNOTATSIYA Ushbu maqolada podstansiya elektr jihozlarining texnik holatini baholashda issiqlik omillari va harorat me'zonlariga asoslangan diagnostik yondashuv ko'rib chiqilgan. Elektr jihozlarining ekspluatatsiya jarayonida yuzaga keladigan rejimli va nuqsonli qizish holatlari fizik jihatdan tahlil qilinib, ularning yuklama toki bilan bog'liqligi o'rganilgan. Haroratning texnik holat indikator sifatidagi roli asoslab berilib, nisbiy harorat ko'rsatkichi orqali jihoz holatini tezkor va ishonchli baholash imkoniyati ko'rsatib berilgan. Grafik va jadval tahlillari asosida normal ish rejimi, kontakt nuqsonlari va avariya oldi holatlarini aniqlash mezonlari taklif etilgan. Olingan natijalar elektr jihozlarning holatga asoslangan texnik xizmat ko'rsatish tizimlarini takomillashtirishda amaliy ahamiyatga ega.

KALIT SO'ZLAR podstansiya elektr jihozlari; texnik holatni baholash; issiqlik omillari; harorat mezonlari; rejimli qizish; nuqsonli qizish; kontakt nuqsonlari; issiqlik balansi modeli; ishonchlilik; diagnostika.

KIRISH

Elektr jihozlarining texnik holatini harorat orqali baholash me'zoni diagnostika tizimida markaziy o'rinni egallaydi, sababi harorat ekspluatatsion hamda degradatsion jarayonlarini aks ettiruvchi parametrlardan biri hisoblanadi. Podstansiya elektr

jihozlarida haroratning ko'tarilishi nafaqat nuqsonlarning mavjudligini ko'rsatadi, balki eskirish omilini hamda degradatsiya jarayoni va issiqlik holati o'rtasida yopiq ijobiy teskari aloqa g'alqasini yaratadi. Qisqa muddatli kuchlanish yoki yuklamaning o'zgarishi mexanik ta'siridan farqli o'laroq issiqlik

ta'siri kumulyativ va qaytarilmas bo'lib, asta – sekin materiallarning degradatsiyasiga, ishonchlilikning pasayishiga va favqulodda nosozliklar ehtimolining oshishiga olib keladi. Kommutatsion qurilmalar, shinalar va kontakt ulanishlar issiqlik yuklanishlariga nisbatan zaif hisoblanadi. Bu holat ularga yuqori tok zichligi paydo bo'lishi, kontakt joylarida qarshiliklar o'zgarishi hamda issiqlikni tashqariga chiqarish imyoniyati yo'qligi bilan izohlanadi. Ushbu elementlarda haroratning ortishi tezkor kuzatiladi va bu ularning texnik holati hamda ishonchligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Podstansiya elektr jihozlarining tok o'tkazgich qimlarida haroratning oshishi aktiv qarshilikka ega elementlarda elektr energiyasini bir qismi issiqlikka aylanadi. Bu esa o'tkazgichlarda va kontaktli ulanishlarda tok energiyasi tarqalib uskunaning elementlarini qizishiga olib keladi [1, b. 39–41].

Energetik nuqtai nazaridan, issiqlik tarqalishini tezkor hodisa sifatida emas, balki ish rejimiga va elementlarning jisimiy holatiga qarab vaqt o'tishi bilan to'plangan ta'sir sifatida ko'rib chiqish kerak. Umuman olganda cheklangan vaqt oralig'ida chiqarilgan issiqlik miqdori Joule – Lens qonunining ajralmas shakli bilan tavsiflanadi:

$$Q = R \int_{t_1}^{t_2} i^2(t) dt \quad (1)$$

bu yerda i – tok vaqt funksiyasi sifatida, R – elementning aktiv qarshiligi t_1 va t_2 kuzatish davriga to'g'ri keladi.

Qonunning ushbu shakli eng umumiy va jisimiy jihatdan asoslangan hisoblanadi, chunki tok oqimining haqiqiy xususiyati hamda o'tkinchi jarayoni va oritqcha yuklama rejimlarini hisobga oladi. Shuning uchun ushbu qonun asosida olinadigan harorat ma'lumotlarini to'g'ri talqin qilishda qizib ketishning jarayonini chuqur anglash muhim ahamiyat kasb etadi. Harorat ma'lumotlarini to'g'ri talqin qilish uchun rejimli va nuqsonli qizib ketishni farqlash juda muhim hisoblanib, hodisalarning jisimiy tabiati va ekspluatatsion oqibatlarini sezilarli darajada farq qiladi.

Rejimli qizish. Ushbu elektr jihozlar tokning yuklamasi oshishi bilan yoki teskari bo'lishi hisobiga o'zgaradi. Bunday holatda tokning pasayishi jihozning harorati qayta standart holatiga qaytadi, lekin uzoq vaqt ta'sir qilishi bilan podstansiya elektr jihozlarning qarish jarayonini tezlashtiradi.

Nuqsonli qizish. Elektr jihozlarning elementlaridagi tarkibiy va konstruktiv o'zgarishlari tufayli yuzaga keladi. Bu standart qiymatlarga nisbatan haroratning barqaror oshib ketishi bilan tavsiflanadi va hatto nominal yoki doimiy yuklama holatida ham texnik o'zgarishi saqlanib qoladi. Bu esa degradatsiya jarayonlarining rivojlanishiga olib keladi.

Ushbu jarayonlarni tahlil qilishda xaroratning og'ish jarayoni ko'rib chiqamiz:

$$\Delta T = T(t) - T_{norm}(I) \quad (2)$$

bu yerda $T_{norm}(I)$ – yuklama tokining ma'lum qiymatida elementning standart harorati

Zamonaviy energetikada elektr jihozlarining tok o'tkazuvchi elementlarda haroratning texnik holatini baholashda integral ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi, chunki harorat konstruktiv xususiyatlari va degradatsiya jarayoniga, elektr rejimiga ta'sirini aks ettiradi. Podstansiya elektr jihozlaridan tok o'tkazgichlari qismining harorat holatini tahlil qilish uchun atrof – muhit harorati $T_{a.m.} = 25^\circ\text{C}$ qabul qilinadi. Ushbu qiymat yopiq taqsimlochi qurilmalarida va podstansiya elektr jihozlarining standart ish sharoitiga mos keladi va xalqaro standartlarda issiqlik hisob – kitoblar uchun nominal atrof – uhit harorati sifatida ishlatiladi [2].

Elementlarning yaroqli holati harorat ko'tarilishi birinchi navbatda yuklama tokining kattaligi bilan belgilanadi. Ushbu tok o'tkazgich elementning harorati yuklama toki $T = f(I)$ bilan bog'liqligi texnik holatning diagnostik me'zoni sifatida qaraladi, sababi kontakt qismlarida aktiv issroflarining oritish elektr qarshilikning o'sishiga olib keladi. Klassik yondashuvga ko'ra, aktiv yo'qotishlar I^2R ifodasi bilan aniqlanadi, ya'ni boshqa shartlar o'zgarimas deb olinganda qiymatining ortishi issiqlik ajralishi miqdorining chiziqli o'sishi hisobiga element haroratining ko'tarilishiga olib keladi [3] Normativ hujjatlarda uskunaning issiqlik rejimi belgilangan ekologik va yuklama sharoitida harorat ko'tarilishi nuqtai nazaridan tavsiflanadi, bu taqqoslanadigan hisoblar va og'ishlarning keyinchalik aniqlash uchun mon yondashuv shartlaridan foydalanishga imkon beradi [4]. Shu bilan birga, kontakt ulanishlar bo'yicha tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatadiki, kontakt degradatsiyasi doimiy tok oqimida ham mahalliy qizish jarayoniga va me'yoriy bog'liqlikdan barqaror harorat ortiqchaligini paydo qiladi [5]. Ishonchlik nuqtai nazaridan ish haroratining oshishi nosozliklar ehtimoli va favqulodda vaziyatgacha bo'lgan sharoitlar havfni oshishi bilan bog'liq bo'lgan sharoitlar havfning oishi bilan bog'liq bo'lgan omillardan biri hisoblanib, bu elektr jihozlarning ishonchligini oshirish va bag'olash bo'yicha tavsiyalarda aks etadi [6]. Issiqlik jarayonlarining nazariy tavsifi va tartibga soluvchi cheklovlar amaliy diagnostika qiymatini faqat bir xil yuklama sharoitida tartibga soluvchi, rejimli va nuqsonli qizishni taqqoslashga imkon beradigan qiymatlarda aniqlanadi. Tahlil qilish uchun rejimli va nuqsonli qizib ketishning xarakterli xonalarini aniqlash bilan yuklama toklarining keng diapazonda elementning haroratini hisoblangan baholash amalga oshiriladi. Olingan natijalar jadval shaklida taqdim etiladi, bu harorat darajasini taqqoslashning ravshanligini ta'minlaydi va qaramlikni keyingi grafik tahlil qilish uchun asos yaratadi.

1 – jadvalda normal rejimda yuklama toki ortishi bilan harorat chiziqli qonun asosida zsadi, bu esa aktiv yo'qotishlarning qonuniyatlariga to'liq mos keladi. Ruxsat etilgan chegara $T_{rux.et}(I)$ haroratning ekspluatatsiya davomida yo'l qo'yiladigan yuqori qiymati sifatida kiiritilgan bo'lib, qizib ketish havfi ortib borayotgan sohani ajratib ko'rsatish hamda harorat xolatini nazorat qilish uchun mezon vazifasini

$$\lambda(T) = \lambda_0 \exp\left(\frac{T - T_0}{k}\right) \quad (5)$$

bu erda $\lambda(T)$ – Xarorat intensivlik darajasi T;
 λ_0 – harorat T_0 da bazaviy intensivligi;
 k – izolyacion materialning xususiyatlari bilan belgilanadigan haroratt koeffitsiyenti

Elektr jihozlarining texnik holati ko‘p parametrlil bo‘lib, uni to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘lchash imkoni mavjud emas. Shu sababli diagnostika amaliyotida texnik holatni baholash uchun o‘lchanadigan fizik kattaliklar asosida integral ko‘rsatkichlar qo‘llaniladi. Podstansiya elektr jihozlari uchun eng ishonchli diagnostik parametrlardan biri-elementlar harorati hisoblanadi.

Harorat rejimi elementning elektr yuklamasi, kontakt holati, issiqlik chiqarish sharoiti va konstruktiv holati haqida bir vaqtning o‘zida ma’lumot beradi. Shu bois texnik holatni baholash uchun nisbiy harorat mezoni kiritiladi:

$$K_T = \frac{T_{real}}{T_{norm}} \quad (6)$$

bu erda T_{real} – o‘lchangan harorat; T_{norm} – normative harorat

Agar $K_T > 1$ bo‘lsa degradatsiya jarayoni mavjud deb baholanadi.

Elektr jihozlarining ishonchligi ko‘p jihatdan izolyatsiya materiallari holatiga bog‘liq. Izolyatsiya esa yuqori harorat ta’sirida tez qariydi. Harorat oshishi material strukturasi kimyoviy va mexanik o‘zgarishlarni tezlashtiradi.

Bu jarayon ishonchlik nazariyasida Arrenius qonuniga asoslangan eksponensial bog‘lanish orqali tavsiflanadi:

$$\lambda(T) = \lambda_0 e^{\beta(T-T_0)} \quad (7)$$

bu erda λ – nosozlik intensivligi; β – material koeffitsiyenti; T_0 –normativ harorat

Haroratning hatto kichik ortishi ham nosozlik ehtimolini eksponensial tarzda oshiradi. Agar harorat har 6–10°C ga oshganda izolyatsiya xizmat muddati taxminan ikki barobar qisqaradi.

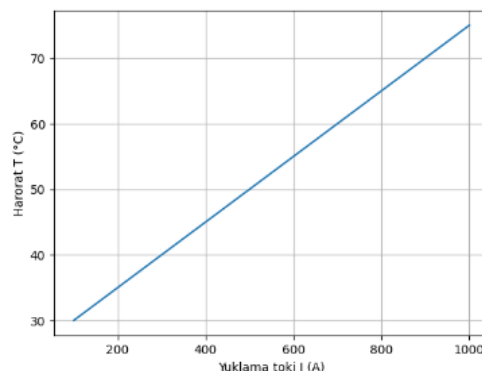
Podstansiya elektr jihozlarida tok o‘tkazuvchi elementlar harorati asosan ular orqali o‘tayotgan yuklama toki bilan belgilanadi. Tok ortishi o‘tkazgich va kontakt ulanishlarda aktiv yo‘qotishlarning ortishiga, bu esa harorat ko‘tarilishiga olib keladi.

Aktiv quvvat yo‘qotishlari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_y = I^2 R \quad (8)$$

bu yerda I-yuklama toki; R –o‘tkazgich va kontakt qarshiligi

Normal ekspluatatsiya sharoitida element harorati yuklama tokiga mutanosib ravishda o‘zgaradi. Bu holatda issiqlik ajralishi va tashqi muhitga issiqlik chiqarilishi o‘rtasida muvozanat saqlanadi. 2-rasmda normal ekspluatatsiya sharoitida yuklama toki ortishi bilan element haroratining deyarli chiziqli qonun asosida o‘sishi aks ettirilgan.



2 – rasm. Tok ortishi bilan harorat chiziqli ravishda o‘sadi-normal rejim.

Bu holatda harorat o‘zgarishi asosan aktiv yo‘qotishlar ortishi bilan bog‘liq bo‘lib, kontakt qarshiligi va issiqlik chiqarish sharoiti o‘zgarmas deb qabul qilinadi. Tok kamayganda haroratning me’yoriy qiymatga qaytishi kuzatiladi, bu esa ushbu rejimning xavfsiz va ruxsat etilgan ish holati ekanini ko‘rsatadi.

Barqaror holatda element harorati:

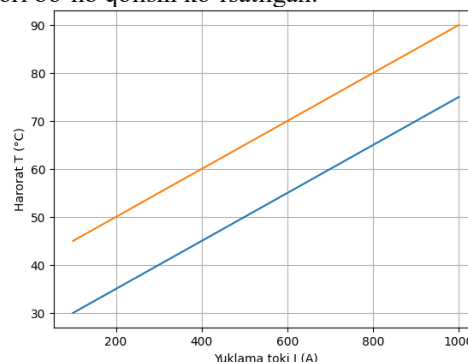
$$T = T_{a.m.} + I^2 \cdot R \cdot R_{is} \quad (8)$$

Bu erda

$T_{a.m.}$ – atrof muhit harorati

R_{is} – issiqlik qarshiligi

3-rasmda bir xil yuklama toki qiymatlarida ham haroratning normal rejimga nisbatan barqaror ravishda yuqori bo‘lib qolishi ko‘rsatilgan.



3 – rasm. Bir xil tokda ham harorat yuqori bo‘lib qolish grafi.

Bu holat kontakt ulanishlarda qarshilikning ortishi, oksidlanish yoki mexanik bo‘shashish kabi degradatsiya jarayonlari mavjudligini bildiradi. Bunday holatda tok qiymati o‘zgarmasa ham haroratning pasaymasligi texnik nuqson mavjudligining ishonchli belgisi hisoblanadi va jihozni qo‘shimcha diagnostika qilishni talab etadi. Bunda tok ortishi bilan harorat ham mutanosib ravishda oshadi va tok kamayganda harorat qayta me’yoriy holatga qaytishi kuzatiladi. Bu holat rejimli qizish deb yuritiladi va odatda xavfli hisoblanmaydi. Agar kontakt birikmalarda bo‘shashish, oksidlanish yoki degradatsiya kuzatilsa, kontakt qarshiligi ortib ketadi:

$$R = R_0 + \Delta R \quad (9)$$

Shunda baraqaror harorat

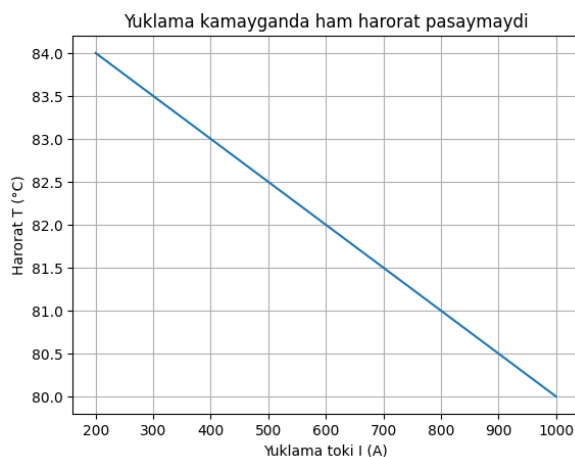
$$T = T_{a.m.} + I^2(R_0 + \Delta R) \cdot R_{is} \quad (10)$$

Bu holatda hatto tok o'zgarmagan taqdirda ham harorat yuqori bo'lib qoladi. Shu bois haroratning normal rejimdan og'ishi texnik nuqson belgisi hisoblanadi.

Nuqsonli holatni aniqlash uchun harorat og'ishi kiritiladi:

$$T = (T_{real} - T_{norm}) \quad (11)$$

4-rasmda yuklama toki kamayishiga qaramasdan element haroratining yuqori qiymatlarda saqlanib qolishi aks ettirilgan.



4 – rasm. Avariya oldi holatida yuklamaning kamayishida ham haroratning tushmaslik grafigi

Ushbu holat issiqlik chiqarish sharoitining keskin yomonlashganini, kontakt qarshiligining ortib ketganini yoki konstruktiv nuqsonlar mavjudligini ko'rsatadi. Bunday rejim avariya oldi holat sifatida baholanadi va zudlik bilan ekspluatatsiya rejimini cheklash yoki ta'mir ishlarini amalga oshirish zarurligini anglatadi.

XULOSA

Mazkur maqolada podstansiya elektr jihozlarning texnik holatini baholash masalasi issiqlik omillari va harorat mezonlari asosida tahlil qilindi. Tadqiqot natijalarida, elektr jihozlarda haroratning oshishi faqat yuklama tokining ortishi bilan izohlanmaydi, balki kontakt ulanishlarining eskirishi, issiqlik chiqarish sharoitlarining yomonlashuvi hamda konstruktiv nuqsonlar bilan ham bevosita bog'liqligini ko'rsatadi. Shu sababli harorat ko'rsatkichi texnik holatni baholashda muhim diagnostik mezon hisoblanadi. Grafik va jadval tahlillari rejimli hamda nuqsonli qizish holatlarini aniq farqlash imkonini berishini tasdiqladi va bu nisbiy harorat koeffitsiyentidan texnik holatni tezkor baholashda foydalanish mumkinligini ko'rsatdi. Harorat oshishi bilan elektr jihozlar ishonchligining pasayishi o'rtasidagi bog'lanish Arrenius model orqali asoslandi. Olingan natijalarga tayangan holda podstansiya elektr jihozlarda harorat monitoringini uzluksiz tashkil etish, haroratning me'yoriy qiymatlardan barqaror og'ishi aniqlanganda rejalashtirilmagan tekshiruv va profilaktik ta'mirlash ishlarini amalga oshirish, shuningdek issiqlik balansi modeli asosida jihozlarning xizmat muddatini prognozlash maqsadga muvofiq deb hisoblanadi.

METHODS FOR ASSESING THE TECHNICAL CONDITION OF SUBSTATION ELECTRICAL EQUIPMENT BASED ON THE INFLUENCE OF THERMAL FACTORS

J.A. Mavlonov, M.K. Sayidov

Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

ABSTRACT

This article considers a diagnostic approach based on thermal factors and temperature criteria for assessing the technical condition of substation electrical equipment. The normal and faulty heating states that occur during the operation of electrical equipment are physically analyzed and their relationship with the load current is studied. The role of temperature as an indicator of technical condition is substantiated, and the possibility of a quick and reliable assessment of the condition of the equipment using the relative temperature indicator is shown. Based on graphical and tabular analysis, criteria for determining normal operating conditions, contact defects, and pre-accident conditions are proposed. The results obtained are of practical importance in improving condition-based technical maintenance systems for electrical equipment.

KEY WORDS

substation electrical equipment; technical condition assessment; thermal factors; temperature criteria; mode heating; defective heating; contact defects; heat balance model; reliability; diagnostics.

REFERENCES:

1. Gonen T. Electric Power Distribution Engineering. — 3rd ed. — Boca Raton: CRC Press, 2014. — 862 p.
2. IEC 60076-2:2011. Power transformers — Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers. — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2011. — 74 p.

3. Gonen T. Electric Power Distribution Engineering. — 3rd ed. — Boca Raton: CRC Press, 2014. — 862 p.
4. IEC 60076-2:2011. Power transformers — Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers. — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2011. — 74 p.
5. Salnikov M. A. Contact resistance degradation and thermal effects in power equipment // Electric Power Systems Research. — 2019. — Vol. 170. — P. 213–221. — DOI: 10.1016/j.epsr.2019.01.012.
6. IEEE Std 493-2007 (Reaffirmed 2018). IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems (Gold Book). — New York: IEEE, 2018. — 548 p.
7. J.A. Mavlonov, M.K. Sayidov “Konchilik korxonalarida elektr jihozlarini ta’irlash tizimining ekspluatatsion ishonchliligi va samaradorligini oshirishda uskunaning texnik holatini zamonaviy baholash usullari” Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. Buxoro Ilmiy jurnal - №5 2024 30 – 35 betlar.
8. Tovbaev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model// Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing.
9. Tog‘ayev I.B., Tursunova A.A., Eshmirzayev M.A. Monitoring of overhead power lines.// Problems and scientific solutions. Vol.6, Issue 4, 2022 Australia, Melbourne. 267-271pt.
10. Dorosinsky, A.Yu. Algorithms and methods for determining the error of means simulating electrical signals of sine-cosine rotating transformers / Dorosinsky A. Yu.// XXI century: results of the past and problems of the present: scientific. Penza State Technical University, 2012. No. 6. pp. 42-46.
11. Baldenko D.F., Baldenko F. D., Gnoev A.N. Screw downhole engines (Reference manual). M.: Nedra, 1999. 375 p.
12. Asqar I. Karshibayev, and Zavqiyor I. Jumayev * Expanding the level of forecasting and operational planning of electric consumption at mining enterprise E3S Web of Conferences 417, 03015 (2023) GEOTECH-2023
13. A.I. Karshibayev, Z.I. Jumayev, Sh.Sh. Abdullayev, Konchilik korxonalarida elektr energiyasidan foydalanish samaradorligini oshirishning zamonaviy usullarini ishlab chiqish // Journal of Advances in Engineering Technology 2022. – C. 39-42.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Mavlonov Jonibek Ashurovich	– Acting Professor, Department of Electric Power Engineering, Navoi State University of Mining and Technologies, 210100, Republic of Uzbekistan, Navoi city, 76B G‘alaba Avenue. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-1682-7339 , e-mail: jonibek_nsmi@gmail.com
Sayidov Muzaffar Karimtoshevich	– Senior Lecturer in Electric Power Engineering, Navoi State University of Mining and Technologies, 210100, Republic of Uzbekistan, Navoi city, 76B G‘alaba Avenue. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7186-084X , e-mail: sayidov2024@mail.ru

МУНДАРИЖА/ОГЛАВЛЕНИЕ

КОНЧИЛИК МАШИНАЛАРИ ВА ЖИҲОЗЛАРИ

- Аннакулов Т.Ж., Хакбердиев А.Л., Азизкулов М.А., Тогаев А.С.** Анализ применения механизированных комплексов при разработке крутонаклонных угольных пластов 3
- Makhmudov A., Makhmudov Sh.A., Axmedov S.T., Raximova N.A.** Methodology for diagnostic assessment of the condition and wear of engine parts using an indicator of metal and solid particles in exhaust gases..... 13
- Отажонов Б.О., Аннакулов Т.Ж., Юнусов Ж.Ф.** Математическое моделирование и разработка поршней-ударников поликатеноидной формы для пневматических перфораторов с использованием компьютерных программ 20

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ВА МЕТАЛЛУРГИЯ

- Муносибов Ш.М., Илхамов М.А., Маткаримов С.Т., Каримжонов Б.Р., Максудов Ш.А.** Исследования по восстановительному обжигу сталеплавильной пыли, содержащей цинк и железо..... 26
- Очилов Ш.А., Кушназоров И.С., Аббосхонова О.Х., Тухтаева М.М.** Разработка методики комплексного мониторинга и анализа деформаций бортов карьеров на основе современных цифровых технологий и геоинформационного моделирования 33
- Халикулов У.М., Мухаметджанова Ш.А., Худояров С.Р., Убайдуллаев М.З., Руклинская Е.И.** Влияние горячебрикетированного железа на распределение вредных примесей в процессе выплавки стали 37
- S.S. Sayyidqosimov, M.R. Xakberdiyev, R.O. Abduvxbobov, Z.R. Ermanov, B.Z. Vaxromov.** Konchilik ishlarini strategik rejalashtirishning marksheyderlik ta'minoti 41
- Mirzajanova S.B., Mansurova D.A., Boymirzayeva J.I., Yarqulova N.I., Navro'zova M.K.** Mis ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan texnogen chiqindilar turlari hamda ularning kimyoviy va tahliliy tarkibi..... 45
- Умаров Ф.Я., Каримов Ш.В., Норов Д.Ш.** Управление устойчивостью многоярусных отвалов карьеров путём оптимизации геометрических параметров криволинейного фронта в плане..... 54

ГЕОЛОГИЯ-ҚИДИРУВ ВА НЕФТЬ-ГАЗ МАШИНАЛАРИ

- Muratov N.D., Shadiyev M.I., Masobirov M.U.** Burg'ilash reagentining yuqori tezliklarida psevdoplastik xususiyatlarinig namoyon bo'lishi..... 64
- Yarboboyev T.N., Qosimova K.Y., Jamilov V.B.** Yer osti suvlarini geologik-qidirish ishlarida innovatsion texnologiyalar: xorijiy davlatlar va O'zbekiston tajribasi 68
- Рахимов З.З., Жураев М.Н., Мухаммадиев Б.У., Тураев Ш.Б., Салимов И.М.** Олтин маъданлашувини масофадан ўрганишда космогеологик қидирув тадқиқотлар таҳлили..... 72
- Азимов Б.Г., Алмордонов А.Р., Жавлиев Ю.Ж.** Значение универсального фототонметра в применении спектрометрических исследований в геологии 79

ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИК ВА АВТОМАТЛАШТИРИШ

- Abduxalilov D.K.** 35/0.4 kV havo va kabel elektr uzatish tarmoqlari orqali transformator punktlariga kuchlanish berish afzalliklari..... 88
- Tovboyev A.N., Tog'ayev I.B.** Konchilik korxonalarining yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasini monitoring qilishning nazariy asoslarini baholash..... 92
- Mavlonov J.A., Sayidov M.K.** Podstansiya elektr jihozlarining texnik holatini issiqlik omillari ta'siri asosida baholash usullari..... 98
- Мундарижа/Оглавление..... 104**