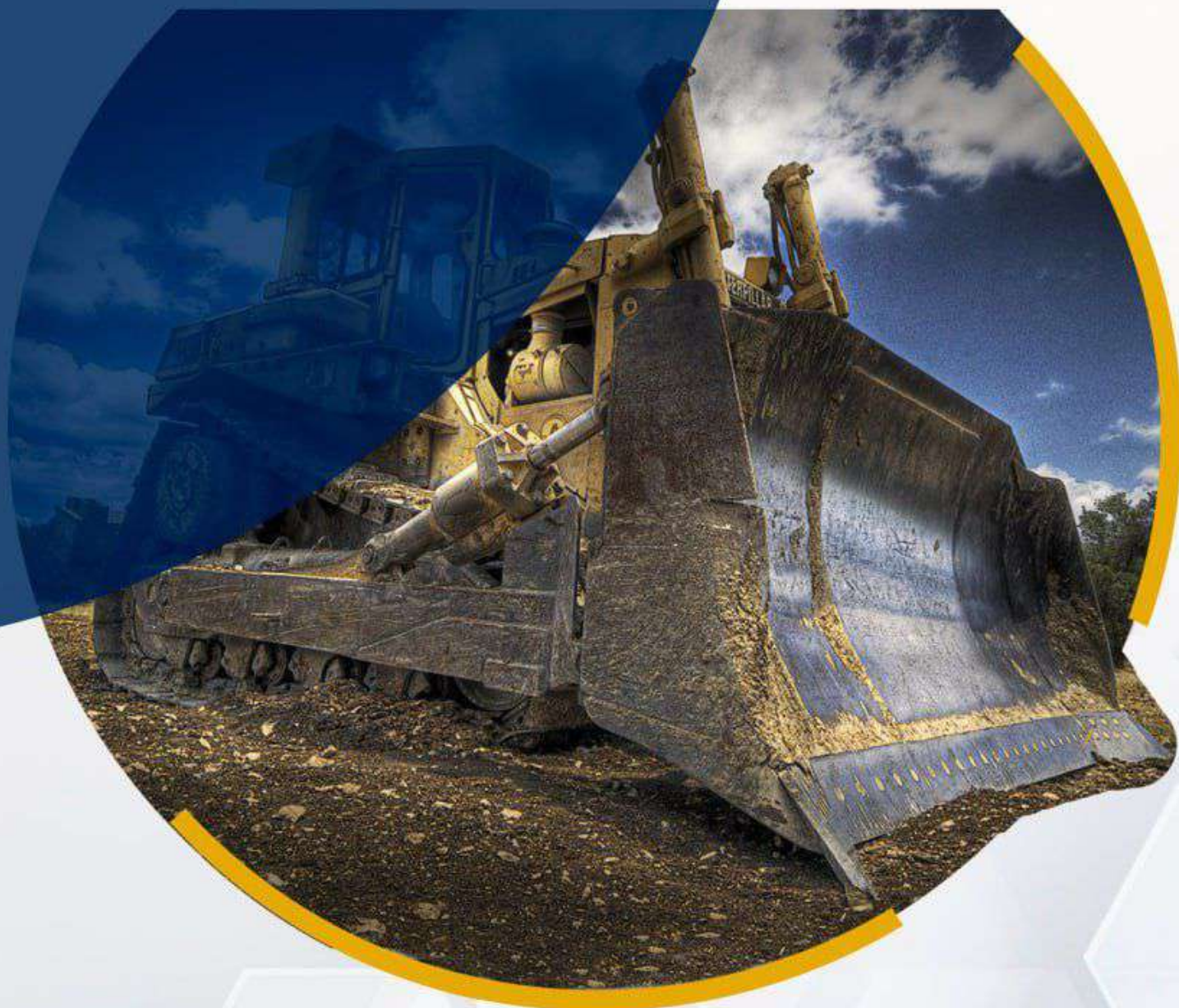


MINING MACHINES AND TECHNOLOGY

ISSN: 2181-3442
4 [14] 2025
OKTABR-DEKABR



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**

2025, №4 (14) _____

Тошкент – 2025

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

С.С.Сайидқосимов

Ш.М.Худойбердиев

Масъул котиб

Т.Ж.Аннакулов

Кончилик машиналари ва жихозлари:

Н.А.Абдуазизов, Л.Н.Атакулов, И.П.Эгамбердиев,
А.М.Махмудов, Б.Р.Тошов, Ш.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 масъул. Тахририят фикри ҳар доим ҳам муаллифлар фикрига мос келавермайди. Тахририятга келиб тушган қўлёзмалар 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 2025 йил 28 декабрда руҳсат этилди.

“Кончилик машиналари ва технологиялари” № 4 (14) – 2025 й.

Қоғоз бичими 60x84,1/8. **Хажми:** 11,75 босма табоқ.

Адади: 20 нусха.

Главный редактор

Ж.Б.Тошов

Заместитель главного редактора

С.С.Сайидқосимов

Ш.М.Худойбердиев

Ответственный секретарь

Т.Ж.Аннакулов

Горные машины и оборудования:

Н.А.Абдуазизов, Л.Н.Атакулов, И.П.Эгамбердиев,
А.М.Махмудов, Б.Р.Тошов, Ш.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: 28 декабря 2025 г.

“Горные машины и технологии” № 4 (14) – 2025 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/

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРОВ
ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ НА ОСНОВЕ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
МАССИВА**

Махмудов А.

*Навоийский государственный горно-технологический университет,
Навои, Узбекистан.*

Doi: 10.5281/zenodo.18092531

АННОТАЦИЯ

В работе исследованы закономерности формирования параметров системы разработки месторождений природного облицовочного камня и методика расчёта геометрических элементов карьера. Особое внимание уделено влиянию структуры массива, трещиноватости и блочности на эффективность вскрышных и добычных работ. Приведены аналитические выражения для определения длины фронта горных работ при различных системах разработки — однобортовой, двухбортовой, продольно-поперечной и кольцевой. Предложена комплексная методика проектирования параметров карьера, включающая горно-геометрическое моделирование, расчёт коэффициента вскрыши и выхода блоков, а также выбор рациональной высоты уступов и глубины разработки. Установлены зависимости между экономической целесообразностью и техническими параметрами карьера. Полученные результаты позволяют повысить точность проектных решений, снизить себестоимость добычи, обеспечить устойчивость откосов и увеличить выход товарных блоков.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

карьер облицовочного камня, трещиноватость, блочность, коэффициент вскрыши, коэффициент выхода блоков, высота уступа, глубина карьера, горно-геометрический анализ, экономическая целесообразность.

ВВЕДЕНИЕ

Карьеры природного камня при относительно небольшой годовой производительности и значительных запасах месторождения характеризуются низкими скоростями подвигания фронта горных работ и линий забоев. Средний коэффициент вскрыши на таких месторождениях облицовочного камня, как правило, составляет 0,8–1,2 м³/м³ и менее. Из-за малых скоростей подвигания фронта горных работ значение текущего коэффициента вскрыши в течение года изменяется незначительно либо остаётся постоянным. Следовательно, данный показатель не может использоваться в качестве критерия при проведении геометрического анализа месторождений облицовочного камня.

Горные породы, используемые для производства облицовочного камня, должны обладать высокими декоративными свойствами, достаточной прочностью, долговечностью, а также необходимой блочностью — объёмом естественных монолитов без трещиноватости. Неразрабатываемые месторождения часто представлены породами, разделёнными на блоки различного размера и формы, при этом количество монолитов в массиве существенно варьирует.

Экономическая целесообразность разработки месторождений облицовочного камня при условии соответствия декоративных и физико-технических свойств породы требованиям промышленности определяется размерами и содержанием

естественных монолитов в массиве. Именно этот показатель обуславливает выход кондиционных блоков при эксплуатации месторождения. Основные параметры блоков регламентируются стандартом ГОСТ 9497–84.

Показатели трещиноватости и блочности массива определяют выход блоков и оказывают решающее влияние на выбор схемы вскрытия, направление подвигания фронта горных работ на уступе, параметры системы разработки, схемы заходок и другие элементы технологии добычи.

При проектировании и планировании развития горных работ на действующих карьерах необходимо устанавливать объёмы добычных и вскрышных работ по годам и этапам эксплуатации. При этом процессы горных работ рассматриваются с учётом изменения формы, размеров карьера и динамики объёмов горных работ. Режим эксплуатации карьера блочного камня считается установленным, если определены начальное положение горных работ, основное направление их развития, а также распределение объёмов блоков по промышленным группам ГОСТ в пределах рабочей зоны по годам функционирования предприятия.

Исходным материалом для анализа горных работ на карьерах облицовочного камня служит горно-геометрическая модель полезной толщи, представляющая собой совокупность графических, аналитических и текстовых материалов, отражающих объективную

информацию о структурных особенностях массива.

На стадии сбора данных проводится изучение месторождения, горных выработок и буровых скважин. Определяются форма залежи, её размеры, условия залегания, а также выделяются участки, осложнённые крупными разломами, зонами повышенной трещиноватости и карстовыми включениями. На действующих предприятиях используется геолого-маркшейдерская документация, включающая журналы съёмки, геологические и маркшейдерские планы, разрезы, а также материалы учёта потерь и извлечений полезных ископаемых.

Планирование и учёт движения запасов осуществляются на основе генерального плана карьера (масштаб 1:2000–1:5000), сводного плана горных работ (1:1000–1:2000), поуступных планов (1:1000–1:500), вертикальных разрезов (1:1000–1:2000) и продольных профилей рабочих площадок (горизонтальный масштаб 1:1000–1:2000, вертикальный — 1:100–1:200).

Для определения объёмов добычных и вскрышных работ используются материалы подсчёта запасов, выполненные при разведке месторождения, а также текущие геологические документы: горизонтальные и вертикальные разрезы, послойные качественные планы и другие источники.

Графические материалы включают горизонтальные планы с изолиниями интенсивности трещиноватости, выраженной в трещинах на метр (тр/м), либо с указанием среднего расстояния между трещинами и показателей блочности. На их основе строятся вертикальные разрезы карьерного поля по направлениям, соответствующим основным системам трещин и ориентации фронта горных работ.

Аналитические данные формируются по результатам измерений трещин, определению средних значений азимутов простирания, углов падения, межтрещинных расстояний и параметров блочности массива. Текстовые материалы содержат геологическое описание полезной толщи и вскрышных пород, основанное на отчётных, проектных и маркшейдерских данных предприятия.

Совокупность этих данных позволяет разделить карьерное поле на зоны, отличающиеся по интенсивности трещиноватости, азимутам простирания и углам падения главных систем трещин. В пределах каждой зоны определяется блочность массива — объёмы и содержание природных блоков в полезной толще, что достигается посредством горно-геометрического анализа структуры массива.

Данный метод включает определение пространственных параметров систем трещин, аналитический расчёт межтрещинных расстояний, построение картограмм блочности и определение

направлений горных работ. Направление подвигания фронта должно совпадать либо быть перпендикулярным простиранию основных круто падающих систем трещин. Выбор расположения забоев и фронта горных работ в целом по карьере выполняется на основе графического анализа ожидаемого выхода блоков различных промышленных групп с выбором оптимального направления.

Результаты геометрического анализа трещиноватости позволяют рассчитать параметры блочности как для всего карьера, так и для его отдельных участков, различающихся по размерам и количеству природных блоков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Технология открытых горных работ, применяемая при разработке месторождений облицовочного камня, включает те же основные этапы, что и при добыче других полезных ископаемых: подготовку поверхности, вскрытие рабочих горизонтов, проведение вскрышных и добычных работ, а также рекультивацию. Однако, в силу небольшой производительности таких карьеров, необходимости получения блоков строго определённых размеров, использования специализированных машин и механизмов, а также других особенностей, последовательность ведения горных работ и технология выемки блоков облицовочного камня существенно отличаются от технологий добычи рудных, угольных и иных месторождений.

Выбор рациональной технологической схемы и способа разработки месторождения определяется совокупностью факторов — горно-техническими условиями залегания, свойствами пород, параметрами оборудования, требованиями к качеству готовой продукции и др. — и обосновывается на стадии проектирования.

Интенсивность разработки месторождений природного камня, как правило, невелика. Этот фактор оказывает существенное влияние на порядок выполнения подготовительных работ и объём горно-геологических изысканий [1,4,6].

Одним из важнейших элементов открытой разработки является уступ. Его высота определяет объём горно-подготовительных работ, сроки строительства карьера, общую протяжённость фронта горных работ и угол откоса бортов. Рациональной считается такая высота уступа, при которой обеспечиваются:

1. безопасность ведения горных работ;
2. проектная производственная мощность карьера по горной массе;
3. высокая производительность вскрышного и добычного оборудования;
4. минимизация затрат на вспомогательные операции и снижение себестоимости добычи.

При определении высоты уступа для месторождений облицовочного камня высокой прочности необходимо учитывать горно-геологические условия залегания, степень

трещиноватости и блочность массива, а также направление главных систем трещин. Высота уступа должна быть равна или кратна расстоянию между горизонтальными трещинами (при разработке слоями) либо наклонными трещинами (при слоевой выемке под углом).

Если расстояние между трещинами превышает 3–4 м, уступ может быть разделён на подуступы, высота которых кратна высоте товарного блока — монолита максимального объёма.

Согласно требованиям техники безопасности, при ручной отработке крепких пород (например, гранитов) высота уступа не должна превышать 1,5 м, а при механизированной добыче — 20 м. Это ограничение вызвано не столько необходимостью обеспечения устойчивости уступа, угол откоса которого допускается принимать равным 90°, сколько требованиями к безопасному осмотру и разборке уступов [2,9,10].

Расчёты показывают, что для гранитных карьеров высота уступа, определяемая из условий устойчивости, может превышать 100 м. Однако из-за необходимости сохранения механической целостности блоков высота рабочей зоны ограничивается. Для определения допустимой мощности слоя при падении монолитов используется выражение:

$$H_{cl} = \frac{P_{упр}^2}{2E\gamma}, \text{ м (1)}$$

где $P_{упр}$ — предел упругости (предел прочности при сжатии), МПа; E — модуль Юнга для гранита, МПа; γ — объёмная масса гранита, г/см³.

Для условий украинских гранитных карьеров расчёты показывают, что высота уступа не должна превышать 10–12 м. На практике она обычно определяется расстоянием между постельными трещинами.

Проектная глубина карьера определяется разведанной мощностью залежи. Экономически целесообразная глубина добычи определяется граничным коэффициентом вскрыши, который характеризует максимально допустимый объём вскрышных пород, перемещаемых из массива в отвалы при сохранении рентабельности добычи.

Гранитные толщцы могут залегать на глубину десятков километров, однако разведанные мощности месторождений облицовочного камня обычно ограничиваются десятками метров. Исследования М. М. Чеснокова показали, что с увеличением глубины разработки контурный коэффициент вскрыши снижается, а интенсивность трещиноватости уменьшается, что улучшает блочность массива. Следовательно, с увеличением глубины повышается качество добываемого камня, и развитие фронта горных работ должно осуществляться вглубь месторождения [3,5,8].

По методике М. М. Чеснокова экономически целесообразная глубина карьера при применении кабельных кранов для перемещения блоков определяется по выражению [3]:

$$H_{max} = 224\eta\eta_n \frac{kC_B}{C_3} - \frac{d}{3 \cot \beta}, \text{ м (2)}$$

где η — выход блоков из массива, м³; η_n — КПД крана; k — коэффициент вскрыши, м³/м³; C_B — себестоимость 1 м³ вскрышных пород, у.е./м³; γ — плотность гранита, тс/м³; C_3 — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, у.е.; d — ширина дна карьера, м; β — угол наклона рабочих бортов, град.

Расчёты показывают, что глубина карьеров природного камня может достигать 450–500 м, при оптимальных значениях — 100–150 м.

Экономические показатели и коэффициент выхода блоков

Рентабельность работы карьера обеспечивается при выполнении условия:

$$a \cdot b + v_1 p + v_2 p + v_3 V_b \leq cb + c_1 p$$

где a — себестоимость добычи 1 м³ товарных блоков, у.е./м³; v_1 — себестоимость добычи 1 м³ некондиционного сырья, окола и скальной вскрыши, у.е./м³; v_2 — затраты на дополнительную переработку некондиционного сырья, окола и скальной вскрыши, у.е./м³; v_3 — себестоимость 1 м³ рыхлой вскрыши, у.е./м³; b — объём добываемых товарных блоков, м³; p — объём некондиционного полезного ископаемого, окола и скальной вскрыши, м³; v_b — объём пород рыхлой вскрыши, м³; c — отпускная цена товарных блоков, у.е./м³; c_1 — отпускная цена продукции из некондиционного полезного ископаемого, у.е./м³.

Коэффициент выхода блоков из массива определяется выражением:

$$K = \frac{B}{B+p}, \text{ где } P=Q+N+C \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ (3)}$$

где B — объём товарных блоков; Q — объём скола; N — объём неконденционных полезных ископаемых; C — объём вскрышных пород.

Минимальное значение K соответствует границе рентабельности предприятия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для каждого горизонта определяется экономически целесообразный коэффициент выхода блоков.

По геологическим данным устанавливаются высоты уступов рыхлой и скальной вскрыши.

Углы откосов рабочих и нерабочих уступов принимаются по углам падения систем трещин массива.

Рассчитывается ширина рабочих площадок для принятых комплексов оборудования.

Определяется необходимое количество добычных забоев:

$$N_3 = \frac{Q_k \cdot 100 \cdot K_p}{Q_3 \cdot K}, \text{ (4)}$$

где Q_k — сменная производительность карьера, Q_3 — производительность оборудования, K_p — коэффициент резерва.

Рассчитывается длина фронта горных работ.

Устанавливаются количество рабочих горизонтов и проектная глубина карьера.

Расчетные зависимости для определения протяженности фронта горных работ карьеров облицовочного камня

№	Система разработки	Расчетная зависимость
1	Однобортовая продольная или поперечная	$L_{фр}=n[B_{к}-2H_{в}ctg\alpha_{в}-(n-1)B]-2(n-1)[H_{с}ctg\alpha_{с}+(n-2)H_{н}ctg\alpha]$
2	Двухбортовая продольная или поперечная	$L_{фр}=2n[B_{к}-2H_{в}ctg\alpha_{в}-(n-1)B]-2(n-1)[H_{с}ctg\alpha_{с}+(n-2)H_{н}ctg\alpha]$
3	Продольно – поперечная двухбортовая	$L_{фр}=n[2B_{к}-4H_{в}ctg\alpha_{в}-(n-1)B]-[(n-1)(2ш_{в}+H_{с}ctg\alpha_{с}+2(n-1)H_{н}ctg\alpha)]-n_1[ш_{с}+(n-1)ш_{рп}]$
4	Продольно – поперечная трехбортовая	$L_{фр}=n(2B_{к}+B_{к1}-6H_{в}ctg\alpha_{в}-(n-1)(4ш_{в}+нв))-2(n-1)^2[H_{с}ctg\alpha_{с}+(n-2)^2 H_{н}ctg\alpha]-n_1[3ш_{с}+n_1(n-1)^2 ш_{рп}]$
5	Кольцевая центральная	$L_{фр}=4\{n[B_{к1}-2H_{в}ctg\alpha_{в}]-2(n-1)[ш_{в}+H_{с}ctg\alpha_{с}+(n-2)H_{н}ctg\alpha]-n_1[2ш_{с}+(n-1)ш_{рп}]\}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны аналитические зависимости для определения длины фронта горных работ при различных системах разработки, позволяющие повысить точность расчётов и рациональность проектных решений.

Показано, что параметры уступов и глубина карьера напрямую зависят от структуры массива и взаимного расположения систем трещин.

Применение предложенной методики обеспечивает экономическую целесообразность

разработки, минимизацию вскрышных объёмов и повышение выхода кондиционных блоков.

Установлено, что наиболее рациональной при больших запасах и низкой трещиноватости является продольно-поперечная двухбортовая схема, обеспечивающая равномерное развитие фронта.

Практическое применение методики позволит повысить надёжность проектирования, безопасность ведения горных работ и эффективность использования минерально-сырьевой базы.

BEZAK TOSH KARYERLARINI QAZIB OLISH TIZIMI PARAMETRLARINI KON-GEOMETRIK TAHLIL ASOSIDA ANIQLASH METODIKASI

Maxmudov A.

*Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O'zbekiston.*

ANNOTATSIYA

Ushbu ishda tabiiy qoplama tosh konlarini qazib olish tizimi parametrlarining shakllanish qonuniyatlari va karyerning geometrik elementlarini hisoblash metodikasi o'rganilgan. Tog' jinslari massivi tuzilmasi, yoriqlilik darajasi va blokliligining qoplama qatlamini ochish hamda foydali qazilmani qazib olish samaradorligiga ta'siri alohida ko'rib chiqilgan. Turli ishlab chiqish tizimlari — bir bortli, ikki bortli, bo'ylama-ko'ndalang va halqasimon tizimlar uchun kon ishlari frontining uzunligini aniqlashga doir analitik ifodalar keltirilgan. Karyer parametrlarini loyihalashning kompleks metodikasi taklif etilgan bo'lib, u kon-geometrik modellashirish, qoplama koeffitsientini va blok chiqish darajasini hisoblash, shuningdek, ustunlarning oqilona balandligi va qazib olish chuqurligini tanlashni o'z ichiga oladi. Karyerning iqtisodiy maqsadga muvofiqligi bilan texnik parametrlar o'rtasidagi bog'liqliklar aniqlangan. Olingan natijalar loyihaviy yechimlarning aniqligini oshirish, qazib olish tannarxini kamaytirish, qiyaqliklarning barqarorligini ta'minlash va tovar bloklar chiqishini ko'paytirish imkonini beradi.

KALIT SO'ZLAR

bezak toshi karyeri, yoriqlilik, bloklilik, ochish koeffitsienti, blok chiqish koeffitsienti, ustun balandligi, karyer chuqurligi, geometriya tahlili, iqtisodiy samaradorlik.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF DECORATIVE STONE QUARRY DEVELOPMENT SYSTEMS BASED ON MINING-GEOMETRIC ANALYSIS OF THE ROCK MASS

Makhmudov A.

*Navoi State Mining and Technological University,
Navoi, Uzbekistan*

ABSTRACT

The study investigates the regularities in the formation of parameters of the development system for natural facing stone deposits and presents a methodology for calculating the geometric elements of a quarry. Special attention is given to the influence of rock mass structure, fracturing, and blockiness on the efficiency of overburden removal and extraction operations. Analytical expressions are provided for determining the length of the mining front under various development systems — single-sided, double-sided, longitudinal-transverse, and ring systems. A comprehensive methodology for quarry design is proposed, incorporating mining-geometric modeling, calculation of the stripping ratio and block recovery rate, as well as the selection of optimal bench height and mining depth. Relationships between economic feasibility and technical parameters of the quarry have been established. The obtained results improve the accuracy of design solutions, reduce mining costs, ensure slope stability, and increase the yield of marketable stone blocks.

KEYWORDS

dimension stone quarry, jointing, blockiness, stripping ratio, block recovery coefficient, bench height, quarry depth, mining-geometric analysis, economic feasibility

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. - М.: Недра, 1980. - 510 с.
2. Ржевский В.В., Сиренко В.Н. Основные задачи развития промышленности нерудных строительных материалов на основе научных достижений. // Сб. науч. трудов ТашПИ. - Ташкент, 1979. – С. 3-10.
3. Чесноков М.М. Исследование рациональных способов разработки гранитных месторождений для получения штучного камня.: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М.: - 18 с.
4. Махмудов А. Теоретическое исследование способа подготовки горных пород к выемке на основе ударного действия // Науч. – техн.и произв.журнал «Горный вестник Узбекистана» – Навои, 2022. - №2 (89). – С. 13-16. DOI:10.54073/GV.2022.2.89.003
5. Махмудов А. Исследования массива и основных параметров системы разработки сложноструктурных месторождений облицовочного камня Узбекистана // Наука и инновационное развитие 3/2022 ISSN 2181-9637 С 54-63
6. Makhmudov A. Energy parameters for fracturing rocks with wedge-shaped tools // Наука и инновационное развитие 1/2023 ISSN 2181-9637 С 10-16, <https://dx.doi.org/10.36522/2181-9637-2023-1-2>
7. Махмудов А. Исследование энергетических параметров разрушения горных пород клиновидным инструментом // Науч. – техн.и произв.журнал «Горный вестник Узбекистана» – Навои, 2023. - №2 (93). – С. 23-27. DOI:10.54073/GV.2023.2.93.005
8. Николаевский В.Н. Динамическая прочность и скорость разрушения // Удар, взрыв и разрушение. Сер. Механика. Новое в зарубежной науке. – М.: Мир, 1981. – 214 с.
9. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород: – М.: МГУ, 1995. – 450 с.
10. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. -231 с.

Information about authors:

Makhmudov Azamat	–	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
-------------------------	---	---

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕСУРСА И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

М.К. Куанышев¹, А.К.Каукаров¹, Б.У.Жаманбаев², А.Ж.Мурзагалиев¹, И.С.Утебаев¹

¹*Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актюбе, Казахстан,*

²*Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан*

Doi: 10.5281/zenodo.18092561

АННОТАЦИЯ В данной статье всесторонне рассматриваются конструктивные особенности поршневых колец, являющихся очень важным элементом в структуре цилиндро-поршневой группы, которая представляет собой основной узел двигателей внутреннего сгорания в горных машинах обычно работают в более тяжёлых условиях, что требует поршневых колец с увеличенной толщиной, что помогает улучшить износостойкость и увеличить срок службы. В ходе исследования были проанализированы основные функциональные типы поршневых колец: компрессионные, маслосъёмные и двойные комбинированные, а также описано влияние их геометрической формы (бочкообразный, конический, прямоугольный профиль), конфигурации боковой поверхности и модификации контактной поверхности на уровень герметизации и трения в цилиндрической зоне.

Кроме того, были проанализированы результаты патентных исследований современных вариантов компрессионных колец. Инновационные решения в мировых патентных базах данных включают переменную толщину, специальные канавки, уменьшающие термоупругую деформацию, технологии обработки поверхности с низким коэффициентом трения, оптимизацию трещин и конструктивные инновации, повышающие газонепроницаемость. Проведенные анализы показали, что улучшение структурных параметров поршневых колец играет важную роль в повышении эффективности двигателей внутреннего сгорания.

Главная цель научной работы — выявление способов снижения трения и износа, увеличения ресурса цилиндро-поршневой группы и повышения энергоэффективности двигателя путем оптимизации конструкции поршневых колец с использованием современных материалов и инженерных методов проектирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двигатель внутреннего сгорания, поршень, компрессионное кольцо, трение, цилиндро-поршневая группа, анализ международных и мировых патентов.

ВВЕДЕНИЕ

Двигатели делятся по устройству, назначению, виду используемого топлива и другим критериям. Одни созданы для наземного транспорта, другие для авиации, а есть и такие, которые могут работать вне атмосферы.

Двигатели горных машин работают, как правило, по четырехтактному циклу Отто, который совершается за два оборота коленчатого вала или четыре хода поршня и состоит из тактов впуска, сжатия, расширения (рабочего хода) и выпуска.

Цилиндропоршневая группа (ЦПГ) является центральной частью двигателя внутреннего сгорания (ДВС) горных машин, определяя его эффективность, мощность и надежность работы. В состав ЦПГ входят несколько важных деталей, каждая из которых выполняет определенную функцию в процессе преобразования тепловой энергии сгорания топлива в механическую работу.

ЦПГ работает в экстремальных условиях, сталкиваясь с высокими температурами, значительными нагрузками и постоянным трением, которые существенно влияют на её

функциональность и долговечность. При воспламенении рабочей смеси в цилиндре ДВС выделяется значительное количество теплоты, резко увеличивается температура (до 2500 градусов по Цельсию). Такая высокая температура может вызывать термическое расширение деталей, деформацию и даже структурные изменения материалов. Под давлением поршень перемещается к НМТ. Давление внутри цилиндра может достигать 80-100 бар и выше, особенно при работе на высоких оборотах, что создает интенсивные усилия на поршень, шатун и коленчатый вал.

Эффективность и надежность работы ДВС зависят от правильного взаимодействия всех компонентов ЦПГ. Поршень является ключевым элементом, преобразующим механическую энергию через возвратно-поступательное движение. Сгорание топлива происходит над поршнем в камере сгорания, герметично закрытой набором поршневых колец, особенно верхним компрессионным кольцом. На рисунке 1 представлены основные компоненты системы силового цилиндра.

Целью исследований является разработка и апробация новых методов и технологий, направленных на повышение износостойкости, снижение трения и улучшение герметичности поршневых колец двигателя внутреннего сгорания, используемых в горной машине.

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Основные причины возникновения проблем при эксплуатации двигателя внутреннего сгорания следующие возможные причины [2] поршневых колец:

- абразивный износ- это частицы пыли и других загрязнений, попадающие в двигатель, действуют как абразив, вызывая износ колец и цилиндров. В условиях горной добычи это особенно актуально из-за высокой запыленности.
- адгезионный износ (схватывание) - когда возникает при недостаточной смазке, высоких температурах и давлениях, приводя к образованию сварочных мостиков между кольцом и цилиндром, которые затем разрушаются, снимая материал.
- коррозионный износ- это агрессивные химические вещества, образующиеся при сгорании топлива, а также влага, могут вызывать коррозию поверхности колец.
- усталостный износ- это циклические нагрузки приводят к образованию микротрещин и разрушению материала колец.

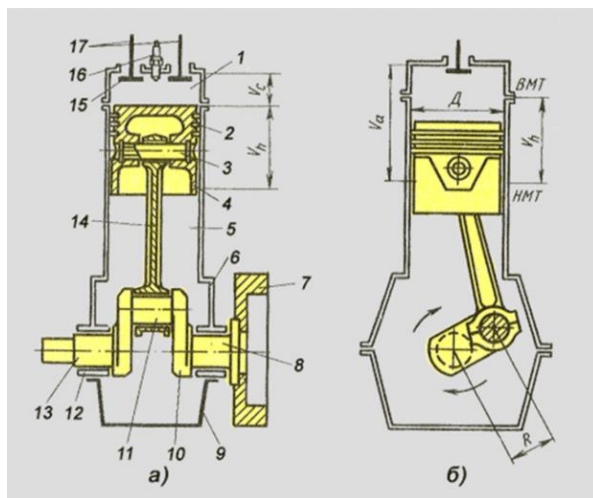


Рис. 1. Схема устройства поршневого двигателя внутреннего сгорания горных машин:

- a - продольный вид, б - поперечный вид;
- 1 - головка цилиндра, 2 - поршневая кольца,
- 3 - палец, 4 - поршень, 5 - цилиндр, 6 - картер,
- 7 - маховик, 8 - коленчатый вал, 9 - поддон,
- 10 - щека, 11 - шатунная шейка, 12 - коренной подшипник, 13 - коренная шейка, 14 - шатун,
- 15, 17- клапаны, 16 – топливная форсунка.

Внутри цилиндра перемещается поршень 4 с компрессионными (уплотнительными) кольцами 2, имеющий форму стакана с днищем в верхней части. Поршень через поршневой палец 3 и шатун

14 связан с коленчатым валом 8, который вращается в коренных подшипниках, расположенных в картере. Коленчатый вал состоит из коренных шеек 13, щек 10 и шатунной шейки 11. Цилиндр, поршень, шатун и коленчатый вал составляют так называемый кривошипно-шатунный механизм, преобразующий возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала (рис. 1).

Основная задача компрессионных поршневых колец (КПК) заключается в обеспечении герметичности камеры сгорания. Это предотвращает утечки отработавших газов в картер, поддерживает давление и повышает эффективность работы двигателя. Компрессионные кольца создают так называемый "газовый лабиринт," который препятствует проникновению газов из камеры сгорания и улучшает уплотнение за счет давления на каждый слой колец.

Обеспечение герметичности камеры сгорания: Компрессионные кольца предотвращают прорыв газов из камеры сгорания в картер двигателя, что обеспечивает максимальную компрессию и мощность.

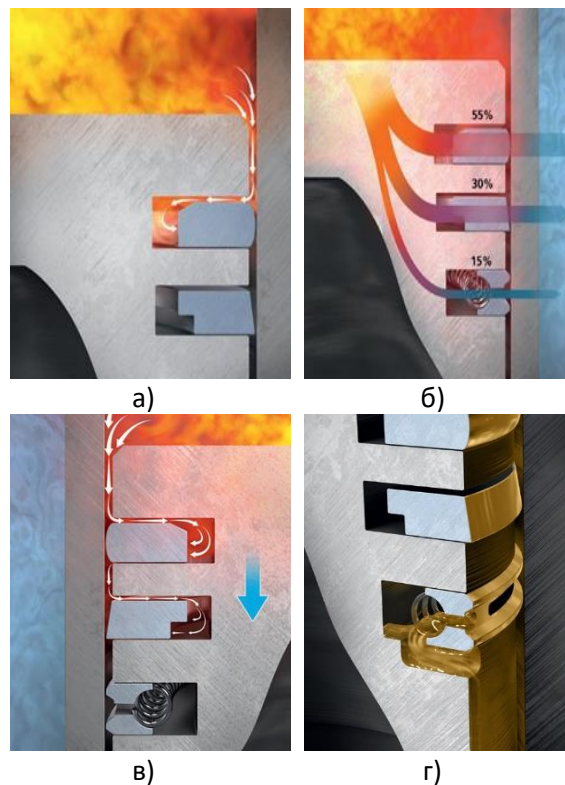


Рис. 2. Принципы работы поршневых колец
 а) уплотнение от прорыва отработанных газов.
 б) отвод тепла в) давление газов на коническое кольцо г) сьем и распределение масла.

Положительное и отрицательное скручивание колец проявляется тогда, когда на кольцо не действует давление сгорания (Рис. 2. а, б, в). Как только давление сгорания начинает действовать в кольцевой канавке, поршневое кольцо плотно

прижимается к её нижней боковой поверхности, за счет чего улучшается контроль расхода масла (Рис. 2, г).

Под способностью поршневого кольца прилегать к стенкам цилиндра понимают его адаптацию к форме стенки цилиндра для обеспечения эффективного уплотнения. Эта способность зависит от эластичности коромыслового кольца (у маслосъемных поршневых колец рис. 2. г) или, соответственно, стальных пластинок, а также от давления прижима кольца/кольцевой детали к стенке цилиндра.

Маслосъемные кольца контролируют количество масла на стенках цилиндра, удаляя излишки и предотвращая его попадание в камеру сгорания. Это предотвращает сгорание масла и минимизирует его расход.

Трение между поршнем, цилиндром и кольцами неизбежно при их движении, что приводит к износу и снижению эффективности работы ЦПГ. Поршневые кольца особенно подвержены износу, так как они должны обеспечить плотное прилегание поршня к стенкам цилиндра.

Современные двигатели внутреннего сгорания, несмотря на их высокую эффективность, преобразуют лишь около 40% произведённой энергии в выходную мощность. Около 4–15% этой энергии теряется из-за механических потерь на трение, а почти половина химической энергии рассеивается в других формах – например, в виде теплопередачи и потерь от прорыва газов, как показано на рисунке 3 в исследовании Ричардсона [2].

Примерно половина механических потерь на трение приходится на систему силового цилиндра, включая поршень, поршневые кольца и шатун, как представлено на рисунке 4 [2]. Остальные потери

обусловлены трением в других компонентах, таких как система клапанного механизма и подшипники коленчатого вала.



Рис. 3. Распределение мощности двигателей внутреннего сгорания

Около половины механических потерь на трение приходится на трение в системе силового цилиндра, включая поршень, поршневые кольца и шатун, как показано на рисунке 5 [2]. Остальные потери обусловлены трением в других компонентах, таких как система клапанного механизма, подшипники коленчатого вала и другие элементы.

Распределение потерь на трение между поршнем, поршневыми кольцами и шатуном в системе силового цилиндра можно увидеть на рисунке 6 [2]. Как видно, поршень и поршневые кольца вносят больший вклад в потери на трение по сравнению с шатуном.



Рис. 4. Распределение мощности механических потерь на трение

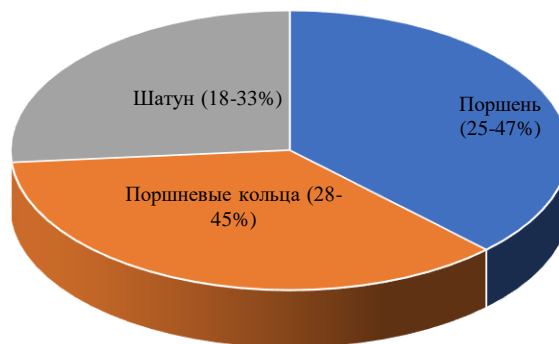


Рис. 5. Распределение мощности потерь на трение в системе силового цилиндра

Распределение потерь на трение между поршнем, поршневыми кольцами и шатуном в системе силового цилиндра можно увидеть на рисунке 5 [2]. Из него следует, что наибольшие потери на трение приходятся на поршень и поршневые кольца по сравнению с шатуном.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В результате исследований было разработано техническое решение направленных на повышение износостойкости, снижение трения и улучшение герметичности поршневых колец двигателя внутреннего сгорания, используемых в горной машине.

Материалы и конструкция поршневых колец. Выбор оптимального материала: Необходимо подбирать материалы, обладающие высокой износостойкостью, термостойкостью и коррозионной стойкостью, учитывая условия эксплуатации. Конструкция колец: Конструкция колец должна обеспечивать эффективное уплотнение, минимальное трение и хорошую теплопередачу. Необходимо учитывать форму, ширину и количество колец.

Покрyтия: Применение износостойких и антифрикционных покрытий на кольцах может значительно увеличить их ресурс.

На поршнях устанавливаются кольца: компрессионные- для задержки прорыва газов из цилиндра через тепловой зазор -и маслосъемные, снимающие излишки масла со стенок цилиндра и не пропускающие масло в камеру сгорания. Для того чтобы маслосъемное кольцо плотнее прилегло к стенкам цилиндра, под него с внутренней стороны устанавливается специальное разжимное кольцо (эспандер).

Поршень смещает верхнее компрессионное кольцо, уменьшая расстояние от вершины коронки с обычных 7,5–8 мм до 3–3,5 мм. Эта конструктивная особенность была внедрена в конструкцию поршня в конце 90-х годов и может быть обнаружена во многих автомобилях, выпущенных в 95 году. Уменьшение расстояния между кольцами в процессе сжатия снижает вероятность неполного сгорания топлива. Когда начинается процесс горения, эта зона не участвует в нём, что приводит к значительным потерям энергии. Однако изменение положения кольца может повлиять на структурную целостность поршня. Это один из двух основных факторов, которые следует учитывать при проектировании. Прежде всего, кольцо и верхняя часть поршня могут испытывать воздействие температуры до 500°C. В условиях высоких температур повышается вероятность деформации материала и микросварки на поверхностях. По мере уменьшения толщины материала коронки в области канавки, увеличивается вероятность образования трещин. Это связано с тем, что в процессе работы поршень испытывает меньшую поддержку из-за меньшего количества материала (см. рис. 6) [Error! Reference source not found.].

Для того чтобы предотвратить это, верхняя часть поршня подвергается анодированию. Это может увеличить срок службы детали. Однако даже анодированный поршень может выйти из строя при температуре, превышающей оптимальную. Расс Хейс подчеркнул, что при разработке поршней для эффективной передачи тепла была создана коническая поверхность, идущая от верхней части поршня к нижней. В процессе работы поршня происходит сгорание, и он постепенно нагревается, образуя на своей поверхности тонкую изношенную полосу.

В настоящее время в производстве поршней используется эллиптический профиль, который

проходит от юбки до маслосъемного кольца. Для обработки этого профиля применяются станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

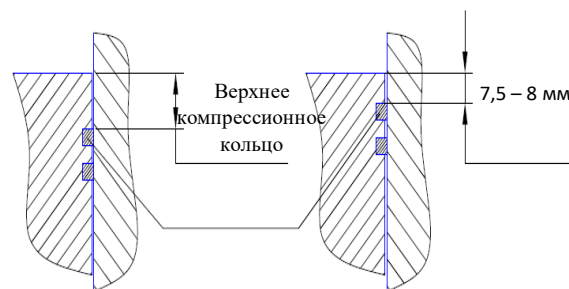


Рис. 6. Изменение положения поршневого кольца

Это позволяет обеспечить сохранение круглой формы юбки при тепловом расширении. Такой профиль поршня способствует повышению эффективности работы двигателя. Особенностью конструкции поршня является наличие верхней части с меньшим диаметром по сравнению с нижней половиной. Это позволяет верхней части поршня иметь больше пространства для теплового расширения во время работы. Благодаря этому поршень может выдерживать более высокие температуры без деформации. В результате изменения конструкции поршня D=92 мм удалось снизить его вес с 750 г до 600 г. Также было разрешено перемещение поршневого пальца с 38,1/43,18 мм до 30,48/33,02 мм. Это позволило использовать более крупные шатуны, что, в свою очередь, улучшило крутящий момент двигателя и снизило нагрузку на подшипники и кольца. В обычной конструкции поршня юбки имеют большую длину, примерно 38,1 мм. Однако в новых поршнях длина юбки уменьшена до 30,48 мм. Это может дать ряд преимуществ для успешного развития поршня. Благодаря уменьшению длины юбки зазоры от отверстия до поршня теперь составляют всего 0,01–0,005 мм. Ещё одним важным аспектом при проектировании поршня является головка. Она имеет сложную конструкцию, которая не только обеспечивает эффективное сгорание топлива, но и контролирует соотношение топлива и воздуха. Одной из самых больших проблем, с которыми столкнулись разработчики двигателей, была детонация. Однако благодаря достижениям в области разработки поршней, инженеры могут создавать специальные профили короны сгорания, которые позволяют двигателю безопасно справляться с детонацией на более высоком уровне.

Овальность кольца. В течение многих лет в сфере исследований и разработок поршневых двигателей применяется термин, который обозначает распределение контактного давления [4]. Для расчёта овальности кольца необходимо определить разницу между зазорами кольца на 180 градусов и 180 градусов со смещением на 90 градусов. Если овальность положительная, то это указывает на более высокое давление вокруг

зазора (S). Если же овальность отрицательная, то давление, наоборот, ниже. Это можно увидеть на рисунке 7.



Рис. 7. Овальность кольца

Различные задачи, стоящие перед поршневыми кольцами, больше не могут быть решены с помощью одного типа колец. Таким образом, имело смысл классифицировать типы поршневых колец, используемые в настоящее время. Эта классификация была приведена в Стандарте DIN ISO 6621, соответствующем рисунку 8.

За последние годы ширина поршневых колец значительно уменьшилась. Сегодня компрессионные кольца в бензиновых двигателях легковых автомобилей обычно имеют ширину 1,2–1,0 мм. Для сравнения: в 1930- годах ширина кольца была в два-три раза больше. Нижние поршневые кольца имеют меньшую массу, занимают меньше места для установки и обеспечивают меньшую высоту сжатия поршня [5].

Они также демонстрируют лучшие эксплуатационные характеристики с точки зрения трения, трепетания колец и продувки.

Поэтому чрезвычайно важна точная обработка канавок поршневых колец. При экстремальном соотношении ширины радиального поршневого кольца к ширине аксиально-поршневого кольца поршневые кольца становятся нестабильными.

Отдельные типы двигателей – бензиновые двигатели для легковых автомобилей, дизельные двигатели для легковых автомобилей и коммерческих автомобилей, а также среднеоборотные четырехтактные двигатели и тихоходные двухтактные дизельные двигатели - оснащаются пакетами поршневых колец, в которых общая эффективность соответствует конкретным условиям эксплуатации за счет сочетания различных типов поршневых колец.

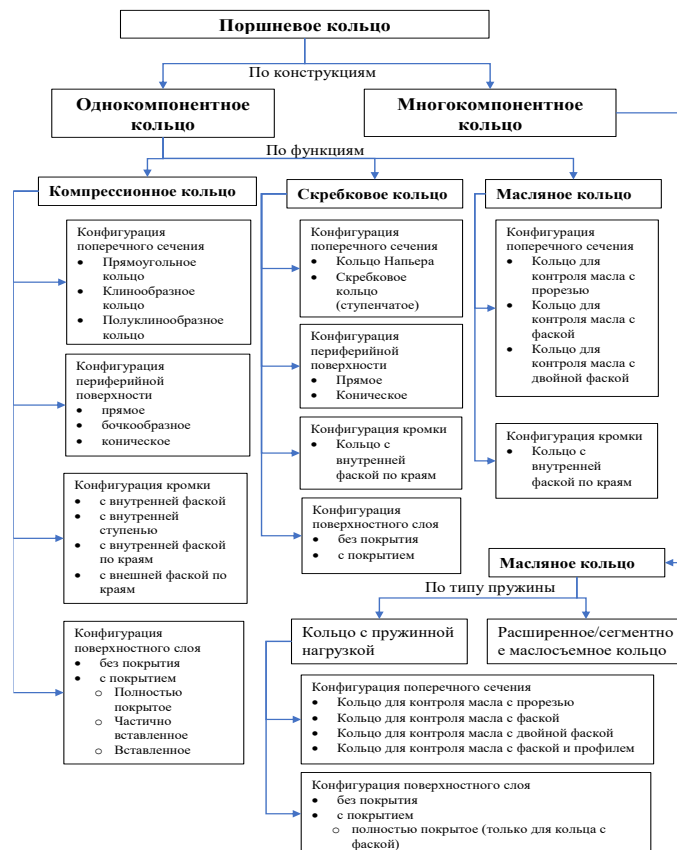


Рис. 8. Классификация поршневых колец по DIN ISO 6621

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами для решения выше приведенных проблем и поставлена следующая задача, которая предусматривает по повышению ресурса и эффективности эксплуатации поршневых колец двигателя внутреннего сгорания горных машин.

Поставленная задача решается на основе разработки способа увеличения ресурса поршневых колец. Компрессионное кольцо с прямоугольным сечением – это один из самых узнаваемых профилей колец. Благодаря своей форме, оно обеспечивает достаточный уровень герметичности при нормальных условиях эксплуатации. Кольцо может быть покрыто и изготовлено с параболической поверхностью или иметь плоские кромки с фасками. Это позволяет создать условия для непрерывной смазки.

Эти детали обычно используются в моторах легковых машин и мотоциклов, которые применяются в дорожном строительстве (см. рис. 8). Это конструктивное решение используется для защиты гильзы цилиндра от повреждений. В некоторых двигателях, работающих с небольшим зазором цилиндра, скос зазора может занимать до 50% от общей площади зазора. Однако из-за небольшого размера этих скосов конструктивная особенность может быть недооценена.

Допускается, чтобы поршневые кольца вызывали лишь минимальный износ отверстия цилиндра.

Первое поршневое кольцо для дизельных двигателей коммерческих горных машин, подверженных высокому нагрузкам, обычно имеет форму трапецеидального кольца. Рабочая поверхность может быть бочкообразной и симметричной или асимметричной.

Даже если прямоугольность кольцевой канавки слегка отклоняется, поршневое кольцо остается на своей линии соприкосновения с поверхностью цилиндра. Когда поршневое кольцо меняет направление в конце хода, контакт между рабочей поверхностью поршневого кольца и цилиндром сохраняется.

Многие авторы технической литературы отмечают, что для обеспечения хорошей термостойкости в качестве основного материала этих поршневых колец используются чугун с шаровидным графитом или сталь. Они также имеют специальное покрытие или обработаны специальным образом, чтобы уменьшить трение и износ.

В будущем технологии 3D-печати могут позволить создавать поршневые кольца с высокой точностью и индивидуальной настройкой под особенности конкретного двигателя.

Современные поршневые кольца могут быть спроектированы с целью минимизации утечек масла и газов, что положительно сказывается на выбросах двигателя и общей экологии.

Эти рекомендации являются общими, и для

более точных решений нужно учитывать специфику самого двигателя и условия эксплуатации. Однако они могут служить ориентиром для дальнейших улучшений в конструкции поршневых колец для ДВС горных машин.

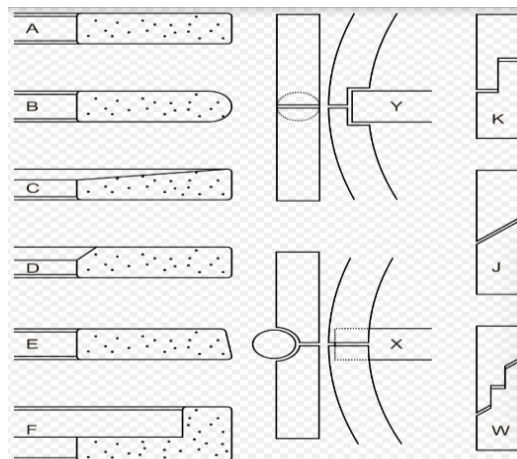


Рис. 9. Типы поршневых колец

Конфигурации поршневых колец: А) Прямоугольное сечение; В) Бочкообразная поверхность; С) замковый камень; D) Торсионный скручивающий элемент; Е) Коническая поверхность; F) Бортики. Они также различаются по типу стопорной ленты: Y) За лентой; X) Над лентой или под лентой. Или по типу концов, которые работают без жёстких упоров: K) Ступенька; J) Наклон; W) Наклон со ступенькой.

При рассмотрении мер по оптимизации трибологической системы поршневого кольца и поверхности цилиндра покрытия для поршневых колец играют все более важную роль, поскольку они могут напрямую влиять на характеристики износа и трения и возникающую в результате стойкость к истиранию.

Типичная осевая ширина маслосъемного кольца для дизельных двигателей составляет от 2,0 до 3,5 мм, в зависимости от области применения (легковой автомобиль, коммерческий транспорт). Как и в случае с беспружинными поршневыми кольцами, здесь имеется скошенное кольцо с винтовой пружиной (DSF-кольцо) и маслосъемное кольцо с пружиной с двойным скосом (GSF-кольцо) [4].

Настоящий обзор представляет результаты углубленного патентного анализа по теме компрессионных поршневых колец для ДВС. При анализе не вводилось ограничений по типам двигателей (рассмотрены четырехтактные и двухтактные поршневые двигатели, двигатели с искровым зажиганием и дизели, а также альтернативные конструкции), по странам и регионам (глобальный охват) и по времени (исторически все годы публикации патентов).

Также учитывались патенты независимо от их текущего статуса – действующие, истекшие, аннулированные и пр.

Целью анализа было выявить все значимые запатентованные решения, связанные с конструкцией компрессионных колец, их геометрией, материалами, покрытиями, технологиями производства, а также специальными решениями для нетипичных двигателей.

В ходе работы были использованы разнообразные источники патентной информации:

- глобальные базы данных Espacenet (Европейское патентное ведомство) и WIPO Patentscope,
- национальные патентные базы (USPTO (США), JPO, CNIPA (Китай), Роспатент и др.),
- поисковые системы (Google Patents, freepatent.ru).

По результатам нашего глобального поиска выявлено около 2,5–3 тысяч релевантных патентов и заявок на изобретение по теме компрессионных поршневых колец (в широком смысле — включая решения для верхних уплотнительных колец поршня), из которых 320 отобраны как релевантные, из которых изучено 69 для анализа непосредственно относящихся к компрессионным кольцам ДВС [5].

На диаграмме (рис. 10) представлено ориентировочное распределение патентов по основным странам (по стране основного заявителя):

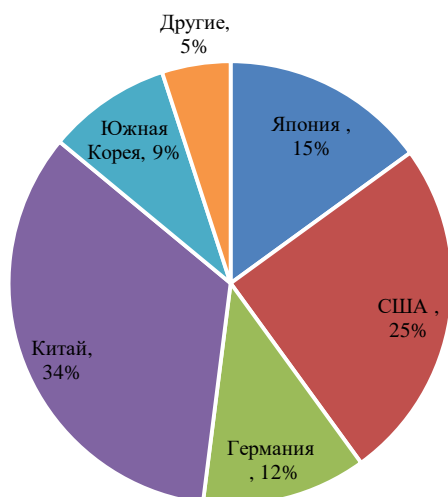


Рис. 10. Распределение патентного массива по странам заявителей

Например, патенты, посвященные улучшению взаимодействия кольца с поршневой канавкой (специальные вставки или упорные элементы в канавке, предотвращающие прорыв газов за кольцом), системы смазки в зоне кольца, комбинированные маслоъемно-компрессионные кольца и т.д.

На диаграмме (рис. 11) приведено условное распределение патентного фонда по основным категориям (замечание: многие патенты относятся сразу к 2–3 категориям, поэтому отнесение сделано по доминирующему признаку):

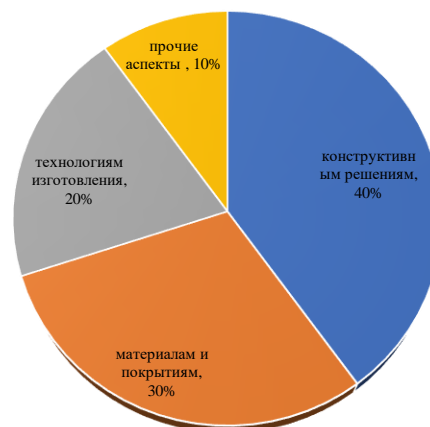


Рис. 11. Структура патентной активности по технологическим направлениям (оценочно, на основе анализа рефератов и классификации)

В следующие рассмотрим несколько наиболее релевантных патентов, представляющих интересные решения по материалам (медные сплавы), использованию графита и конструкциям полуколец.

Название: “Piston compression rings of copper-nickel-tin alloys”. Предложен сплав меди, легированный никелем и оловом, для поршневых колец (европейский патент, приоритет 2017, выдан 2021).

Поршневое компрессионное кольцо по патенту US20180195611A1. (2018) изготавливается из медного сплава на основе Cu-Ni-Si-Cr (5-9% Ni, 1-3% Si, 0,2-2% Cr, остальное – Cu медь), обладающего высокой теплопроводностью (130-200 Вт/(м·К)), износостойкостью и термической стабильностью. Использование современных сплавов с добавлением других элементов может значительно увеличить износостойкость колец. Помимо конструкции самих колец, важно учитывать и систему смазки, чтобы избежать перегрева и износа колец.

Ранее медные сплавы практически не использовались для упругих колец из-за низкой упругости и ползучести при высоких температурах, но современные легирования и термообработка позволяют создать материал, способный работать в поршневом двигателе.

Патентный анализ компрессионных поршневых колец ДВС показывает непрерывное совершенствование этого узла на протяжении десятилетий. Динамика по годам свидетельствует о нарастающем количестве изобретений, особенно в последние 20 лет, что обусловлено ростом требований к эффективности двигателей и появлением новых технологий. География патентов расширяется: от доминирования нескольких индустриальных стран в середине XX

века к глобальной активности сегодня, где заметную долю занимает Азия (Китай, Япония).

ВЫВОДЫ

Цилиндропоршневая группа (ЦПГ) является ключевым компонентом двигателей внутреннего сгорания горных машин, играющим важную роль в преобразовании энергии и обеспечении надежности работы двигателя. Условия эксплуатации этих деталей, включая высокие температуры, динамические нагрузки и трение, приводят к их износу, что негативно сказывается на работе двигателя. Наибольшие потери на трение приходится именно на поршень и поршневые кольца.

Первоначально необходимо отметить важность высокой геометрической точности изготовления поршневых колец и их геометрической формы, которая должна обеспечивать плотное прилегание и минимальные зазоры для предотвращения утечек газов и уменьшения расхода масла. Минимальная толщина колец способствует снижению силы трения, что улучшает общую эффективность работы двигателя и продлевает срок службы деталей.

С точки зрения материала, поршневые кольца должны обладать высокими теплопроводными свойствами для эффективного отвода тепла от поршня и снижения температуры элементов цилиндра-поршневой группы. Для машин,

работающих в условиях повышенной запыленности, важен выбор поршневых колец, которые обладают повышенной устойчивостью к абразивному износу, вызванному пылью и загрязняющими веществами.

Использование многослойных конструкций с различными покрытиями, например, с защитой от коррозии, износа или для улучшения герметичности. Это также поможет улучшить компрессию в цилиндре и снизить утечку газов.

Медно-графитовые сплавы, благодаря своей высокой прочности, термостойкости, износостойкости и самосмазывающим свойствам, являются отличным материалом для применения в компрессионных поршневых кольцах (КПК) и других высоконагруженных компонентах. Они могут эффективно работать в условиях высоких температур (до 350°C) и агрессивных сред, обеспечивая долговечность и надежность в двигателях внутреннего сгорания и других механизмах, где требуется высокая износостойкость и устойчивость к перегреву.

Таким образом, понимание функций и условий работы компрессионных поршневых колец, а также требований к их конструкции и материалам, является необходимым для разработки более надежных и эффективных систем уплотнения и повышения общего ресурса двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов Ю. А., Коган Я. Д. Теория и расчет двигателей внутреннего сгорания. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – 520 с.
2. Горные машины. Устройство и эксплуатация проходческого комбайна ПКС-8М / В.А. Данилов, И.А. Конопляник, П.А. Дворник, А.Н. Леончик, В.Д. Михаленя, В.Я. Прушак, В.Я. Щерба. Под ред. В.Я. Прушака – Минск : Тэхналогія, 2010. -175 с.
3. Горные машины для калийных рудников / А.Б. Морев, А.Д. Смычник, Г.В. Казаченко. –Минск: Интегралполиграф, 2009, - 544 с.
4. Скубачевский С. Е. Двигатели внутреннего сгорания. Конструкция, теория, расчет. – Москва: Лань, 2016. – 480 с.
5. Dickinson M. Dynamic Modelling of Compression Ring Conformability in High Performance Engines. – PhD Thesis. – London: Imperial College London, 2014. — 207 p.
6. Hayes R. Modern Piston Design for High-Performance Engines // Mechanical Engineering Journal. – 2020. – Vol. 7, № 2. – P. 34–42.
7. Fedorov A., Ivanov S. Analysis of Piston Ring Wear in Diesel Engines // Journal of Tribology. – 2021. – Vol. 143, № 3. – P. 1–9.
8. DIN ISO 6621. Piston Rings –Terminology. – Berlin: ISO, 2019. – 55 p.
9. Eureka. Патентная и аналитическая платформа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eureka.patnap.com/application-patents-piston-rings> (дата обращения: 10.10.2025).
10. Патент на изобретение класса МПК F02F 5/00 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ipqwery.com> (дата обращения: 24.10.2025).
11. Патент на изобретение класса МПК F16J 9/00 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ipqwery.com> (дата обращения: 07.11.2025).
12. Espacenet Patent Database (European Patent Office) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://worldwide.espacenet.com> (дата обращения: 21.11.2025).

Об авторах:

Куанышев Мурат Кулынтаевич – Кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительства», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова Актюбе, 030030, Республика Казахстан,
e-mail: k-murat-57@mail.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8307-3675>

Каукаров Алтынбек Кубашевич	– PhD, старший преподаватель кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительства», Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актобе, 030012, Республика Казахстан, e-mail: altynbek-79@mail.ru, ORCID https://orcid.org/0000-0001-5681-5469 .
Жаманбаев Бауржан Уалиханович	– PhD, старший преподаватель кафедры «Транспорт, транспортная техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, 010012, e-mail: zhaman78@mail.ru, ORCID https://orcid.org/0000-0001-9027-9540
Мурзагалиев Ахмет Жакиевич	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительства», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актобе, 030012, Республика Казахстан, e-mail: akhmet-zhakiyevich@mail.ru, ORCID https://orcid.org/0000-0002-4964-681X .
Утебаев Исатай Сейтович	– кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительства», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актобе, 030012, Республика Казахстан, e-mail: utisa@mail.ru, ORCID https://orcid.org/0000-0003-1101-3600

ANGREN KO‘MIR KONI MISOLIDA LENTALI KONVEYERLARGA TEXNIK XIZMAT KO‘RSATISH VA DIAGNOSTIKA TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH

T.J. Annaqulov, N.R. Ziyadov

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O‘zbekiston.

Doi: 10.5281/zenodo.18092603

ANNOTATSIIYA Mazkur maqolada Angren ko‘mir konida foydalanilayotgan lentali konveyerlarning texnik xizmat ko‘rsatish va diagnostika tizimini takomillashtirish masalalari yoritilgan. Lentali konveyerlarning ishonchliligi va ekspluatatsion samaradorligi ularning texnik xizmat ko‘rsatish tizimining mukammalligiga bevosita bog‘liq. Ish davomida roliklar, lenta, baraban va tortish mexanizmlarida turli darajadagi eskirish, deformatsiya va nosozliklar yuzaga keladi. Shuning uchun, texnik xizmat ko‘rsatish ishlarini rejalashtirishda diagnostika natijalari asosida profilaktik yondashuv qo‘llanilishi tavsiya etiladi. Maqolada lentali konveyerlarning texnik holatini baholovchi parametrlar, diagnostika tizimi elementlari hamda ularni Angren ko‘mir koniga moslashtirish bo‘yicha takliflar berilgan.

KALIT SO‘ZLAR Lentali konveyer, texnik xizmat ko‘rsatish, diagnostika, monitoring, ishonchlilik, taranglik, rolik yuklamasi, Angren ko‘mir koni, SCADA.

KIRISH

Konchilik sanoatida uzluksiz transport vositalari ishlab chiqarish samaradorligini belgilovchi asosiy tizimlardan biri hisoblanadi. Lentali konveyerlar foydali qazilmalarni qazib olish, tashish va yuklash jarayonlarida eng keng tarqalgan mexanik transport vositalaridir. Ularning asosiy afzalliklari — katta hajmdagi materiallarni uzoq masofaga uzluksiz tashish, energiya tejamliligi va xizmat ko‘rsatish qulayligidir.

Angren ko‘mir koni sharoitida lentali konveyerlar doimiy yuklama ostida, yuqori changlilik va namlikka ega muhitda ishlaydi. Bunday sharoitda konveyer elementlarining mexanik yeyilishi tezlashadi, bu esa ularning ishonchliligini pasaytiradi.

Shu bois, konveyerlarning texnik xizmat ko‘rsatish (TXK) tizimini samarali tashkil etish va diagnostika vositalarini joriy etish zarur. Bu jarayon konveyerning ishlash muddatini uzaytirish, to‘xtashlar sonini kamaytirish va energiya sarfini kamaytirish imkonini beradi. Angren ko‘mir konida ko‘mir qazib olish va

tashish jarayonida lentali konveyerlar asosiy transport vositasi sifatida qo‘llaniladi. Kon texnologik sxemasida jami 18–24 ta konveyer ishlaydi, ularning aksariyati K-1 dan K-20 gacha raqamlar bilan nomerlangan. Har bir konveyer ma‘lum texnologik uchastkada joylashgan bo‘lib, ular o‘zaro uzluksiz transport zanjirini hosil qiladi.

Konveyerlarning uzunligi o‘rtacha 150 dan 1200 metrgacha, tasmalarining eni esa 800–1200 mm oralig‘ida bo‘ladi. Uzatish unumdorligi 200 dan 4000 t/soat gacha o‘zgaradi. Barcha konveyerlar asosan elektr dvigatellar bilan harakatga keltiriladi.

Ekspluatatsion tahlillar shuni ko‘rsatadiki, Angren konida ishlatilayotgan lentali konveyerlarning texnik xizmat ko‘rsatish tizimini ilmiy asosda rejalashtirish uchun quyidagi omillarni hisobga olish talab etiladi:[1]

- konveyer lentasiga tushadigan yuklama miqdori;
- roliklar soni va ularning aylanish qarshiligi;
- lenta tarangligi va harakat tezligi;

- barabanlarning diametri va ishqalanish koeffitsienti;
- texnik xizmat ko'rsatish oralig'i va usullari.

So'nggi yillarda konchilikda avtomatlashtirilgan diagnostika va monitoring tizimlari joriy etilishi natijasida, roliklarning haroratini va aylanish tezligini nazorat qilish imkoniyati yaratilgan. Bu esa texnik xizmat ko'rsatish davriyligini optimallashtirish va nosozliklarni erta aniqlashga yordam bermogda. Ushbu maqolada yuqoridagi omillar tahlil qilinib, Angren ko'mir konida qo'llanilayotga konveyerlar uchun texnik xizmat va diagnostika tizimini takomillashtirish bo'yicha texnik yechimlar taklif etiladi.

1. Lentali konveyerlarning texnik xizmat ko'rsatish turlari

Texnik xizmat ko'rsatish lentali konveyerlarning ishlash ishonchliligini ta'minlovchi asosiy mexanizmdir. Amaliyotda uchta asosiy turdagi xizmat ko'rsatish qo'llaniladi:[4]

Rejalashtirilgan (profilaktik) texnik xizmat. Ushbu turdagi xizmat oldindan belgilangan davr oralig'ida amalga oshiriladi. Maqsad – ishlayotgan elementlarning yeyilish darajasini tekshirish va muhim qismlarni almashtirish orqali avariya holatlarining oldini olishdir.

Joriy ta'mirlash. Joriy ta'mir ishlari konveyerning ayrim qismlarida aniqlangan nosozliklarni bartaraf etish uchun o'tkaziladi. Masalan, rolik podshipniklaridagi ishqalanish oshganda yoki lenta yuzasida yirtilish paydo bo'lganda.

Kapital ta'mir. Kapital ta'mirda konveyerning asosiy agregatlari – baraban, lenta, ramalar, tortish mexanizmlari to'liq tekshiriladi va zarur hollarda yangisiga almashtiriladi.

1.1. Texnik xizmat ko'rsatish oralig'ini aniqlash

Texnik xizmat ko'rsatish oralig'i quyidagi formuladan aniqlanishi mumkin:

$$T_{txk} = \frac{N_{ish}}{n_{ts}}$$

bu yerda: T_{txk} – texnik xizmat oralig'i (soat), N_{ish} – konveyerning umumiy ishlash muddati (soat), n_{ts} – xizmat ko'rsatish soni (yilda).

Masalan, agar lentali konveyer yiliga 7200 soat ishlasa va rejalashtirilgan xizmat soni 12 marta bo'lsa, u holda:

$$T_{txk} = \frac{7200}{12} = 600 \text{ soat.}$$

Demak, har 600 soatda (taxminan 25 kunda) profilaktik xizmat o'tkazish zarur.

1.2. Roliklarga tushadigan yuklamani aniqlash

Konveyerning ishonchliligi ko'p jihatdan roliklarning yuklanish darajasiga bog'liq. Har bir rolikka tushadigan statik yuk quyidagicha hisoblanadi:

$$Q_r = \frac{G_l + G_m}{n_r}$$

bu yerda: Q_r – bitta rolikka tushadigan yuk (N), G_l – lenta og'irligi (N), G_m – tashilayotgan material og'irligi (N), n_r – roliklar soni.

Agar 60 metr uzunlikdagi konveyerda 180 ta rolik mavjud bo'lib, lenta og'irligi 5400 N va material og'irligi 12600 N bo'lsa, unda:

$$Q_r = \frac{5400 + 12600}{180} = 100N.$$

Bu roliklarga o'rtacha 100 N yuk tushishini bildiradi. Agar diagnostika natijalarida ayrim roliklarda bu qiymat 130–150 N ga oshsa, ularning podshipniklarini almashtirish tavsiya etiladi.

2. Lentali konveyerlarning texnik holatini baholash va diagnostika usullari

Konveyer tizimlarining uzluksiz ishlashi ularning texnik holatini doimiy kuzatish va tahlil qilishga bevosita bog'liqdir. Diagnostika usullari yordamida mexanik, elektr hamda avtomatik tizimlardagi nosozliklarni erta aniqlash mumkin. Angren ko'mir konlarida asosan quyidagi diagnostika turlari qo'llaniladi:[5]

Vibratsion diagnostika. Roliklar, barabanlar va podshipniklarning tebranish chastotasi o'lchanadi. Tebranish tezligi V_t quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$V_t = A \cdot \omega$$

bu yerda: A — tebranish amplitudasi, m; $\omega = 2\pi f$ — burchak tezlik, rad/s; f — tebranish chastotasi, Hz.

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, agar $V_t > 4.5$ mm/s bo'lsa, rolik podshipnikida mexanik nosozlik ehtimoli mavjud.

Termik diagnostika. Lentani yo'naltiruvchi rolik va barabanlarning ish harorati maxsus infraqizil sensorlar yordamida o'lchanadi. Normativ qiymatlar 45–55 °C oralig'ida bo'lishi kerak. Agar harorat 70°C dan oshsa, bu podshipnikda ishqalanishning ortishini bildiradi.

Akkustik diagnostika.

Ishlayotgan roliklarning chiqarayotgan tovushi tahlil qilinadi.

Spektral analiz yordamida rolikda nuqson (yoriq, deformatsiya) mavjudligi aniqlanadi. Spektral analiz — bu tovush (yoki tebranish) signallarini chastotalarga ajratib, grafik tarzda tahlil qilish usuli. Akkustik diagnostika — bu uskunaning eshitiladigan yoki ultratovush (yuqori chastotali) tovushlari orqali texnik holatini aniqlash usuli.

3. Texnik hisob-kitoblar

3.1. Lenta taranglik kuchini aniqlash

Lentali konveyerning asosiy mexanik yuklamasi — lenta tarangligi. U quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$T = \frac{Q \cdot L \cdot g \cdot \cos \alpha}{1000 \cdot \eta}$$

bu yerda: Q — konveyer bo'yicha tashilayotgan yuk massasi, t/soat;

L — konveyer uzunligi, m; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ — erkin tushish tezlanishi; α — konveyer burchagi, gradus; η — mexanik tizimning foydali ish koeffitsienti (0.85–0.95).

Demak, lenta tarangligi 1050 kN atrofida bo'lib, bu lenta markasini tanlashda muhim ko'rsatkichdir.

4. Texnik xizmat ko'rsatish oralig'ini aniqlash va ishonchlilik koeffitsienti

Lentali konveyerlarning uzluksiz ishlashini ta'minlash uchun ularning **ishonchliligi** va **texnik xizmat ko'rsatish oralig'i** to'g'ri tanlanishi lozim. Konveyer elementlarining eskirishi, yuklamaning o'zgaruvchanligi va tashish sharoitlari xizmat oralig'iga ta'sir etadi.[7]

4.1. Ishonchlilik funksiyasi

Mashina yoki mexanizmning ishonchliligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

bu yerda: $R(t)$ — ma'lum vaqt davomida ishonchli ishlash ehtimolligi; λ — nosozliklar oqimi intensivligi, 1/soat; t — ishlash vaqti, soat.

Agar konveyerning o'rtacha nosozlik chastotasi $\lambda=0.0002\text{soat}^{-1}$ bo'lsa, 1000 soat ishlaganda ishonchlilik:

$$R(1000) = e^{-0,0002 \cdot 1000} = e^{-0,2} \approx 0,819$$

Demak, konveyerning 81,9 % ehtimollik bilan uzluksiz ishlash imkoniyati mavjud.

- Vibratsion va akustik diagnostika tizimlari yordamida rolikdagi mikron darajadagi yoriqlar erta aniqlanib, roliklar avariya bo'lmasdan almashtiriladi.
- Termik nazorat orqali harorat ortishidan keladigan ishqalanish kamayadi.

SCADA tizimi bu ma'lumotlarni onlayn qayd etib, xizmat ko'rsatish jadvalini optimallashtiradi.

Tahliliy taqqoslash jadvali

№	Ko'rsatkich	Avvalgi holat (diagnostikasiz)	Taklif etilgan holat (SCADA + diagnostika)	O'zgarish
1	Rolikka tushadigan o'rtacha yuk	100 N	100 N	—
2	Tebranish tezligi (o'rtacha)	4,6 mm/s	3,9 mm/s	-15 %
3	Harorat (podshipnik)	68 °C	53 °C	-22 %
4	Rlikni moylash oralig'i	14 kun	10 kun	-28 % (optimal)
5	Rolikning o'rtacha ishlash muddati	8 oy	10 oy	+25 %
6	Yillik rolik almashtirish soni	52 dona	39 dona	-25 %
7	Konveyerning ishonchlilik darajasi $R(t)$	0,82	0,86	+4 %
8	To'xtab qolish vaqti (yiliga)	39 soat	32 soat	-18 %
9	Energiya sarfi	100 %	91 %	-9 %

5. Diagnostika natijalari va takomillashtirish bo'yicha tavsiyalar

Texnik diagnostika natijalari shuni ko'rsatadiki, konveyerlarning ishonchliligi eng ko'p quyidagi omillarga bog'liq:[9]

- rolik podshipniklarining yeyilishi (27–35%);
- lentaning cho'zilishi va yirtilishi (20–25%);
- harakatlanuvchi qismlarda muvozanatsizlik (10–15%);
- elektr dvigatellarning qizib ketishi (8–10%).

5.1. Taklif etilayotgan chora-tadbirlar:

Vibratsion nazorat tizimini avtomatlashtirish, tebranish sensorlarini SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) — bu ishlab chiqarish jarayonlarini markaziy kompyuter orqali onlayn nazorat va boshqarish tizimiga ulash.

Termik monitoring orqali baraban va rolik podshipniklari haroratini onlayn kuzatish.

Podshipniklar uchun moylash intervalini 2 haftadan 10 kunga qisqartirish.

Energiyani tejoychi konveyer lentalarini joriy etish (friksion yo'qotishlar 8–12% kamayadi).

Diagnostika natijalarini raqamlashtirish — servis jurnallarini elektron shaklga o'tkazish.[8]

XULOSA

Angren ko'mir konida lentali konveyerlar uzluksiz transport tizimining asosiy bo'g'ini hisoblanadi. Ularning samarali ishlashi bevosita texnik xizmat ko'rsatish sifati va diagnostika tizimining to'g'ri tashkil etilishiga bog'liq. Tadqiqot natijalariga ko'ra:

Texnik xizmat oralig'ini 3 500–3 600 soat qilib belgilash optimal variantdir.

Diagnostika jarayonida tebranish va harorat parametrlarini nazorat qilish nosozliklarni erta aniqlash imkonini beradi. SCADA asosidagi avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari qo'llansa, Angren ko'mir konidagi №3 lentali konveyerda taklif etilgan diagnostika tizimlarini joriy etish natijasida konveyerlarning uzluksiz ishlash ishonchliligi 10–12% ga, oshadi. Roliklarning ishlash muddati 25 % ga oshdi, Konveyerning ishonchlilik darajasi 0,82 dan 0,86 gacha ko'tarildi, Energiya tejamkorligi 9 % ga yaxshilandi. Profilaktik xizmat va muntazam diagnostika tizimi konveyerlarning o'rtacha ishlash muddatini 15–20% ga uzaytiradi.[9] Shunday qilib, Angren ko'mir konni sharoitida lentali konveyerlarning texnik xizmat ko'rsatish va diagnostika tizimini takomillashtirish afaqat ularning ishonchliligini, balki butun ransport kompleksining umumiy samaradorligini ham oshiradi.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И
ДИАГНОСТИКИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ НА ПРИМЕРЕ АНГРЕНСКОГО
УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА**

Т.Ж. Аннакулов, Н.Р. Зиядов

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены вопросы совершенствования системы технического обслуживания и диагностики ленточных конвейеров, эксплуатируемых на Ангренском угольном разрезе. Надёжность и эксплуатационная эффективность ленточных конвейеров напрямую зависят от качества организации технического обслуживания. В процессе эксплуатации в роликах, ленте, барабанах и натяжных механизмах возникают различные виды износа, деформаций и неисправностей. Поэтому при планировании технического обслуживания рекомендуется применять профилактический подход, основанный на результатах диагностических измерений. В статье приведены параметры, характеризующие техническое состояние ленточных конвейеров, элементы системы диагностики, а также предложены рекомендации по их адаптации к условиям Ангренского угольного разреза.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

ленточный конвейер, техническое обслуживание, диагностика, мониторинг, надёжность, натяжение, нагрузка на ролики, Ангренский угольный разрез, SCADA.

**IMPROVEMENT OF THE MAINTENANCE AND DIAGNOSTIC SYSTEM OF BELT
CONVEYORS AT THE ANGREN COAL MINE**

T.J. Annakulov, N.R. Ziyadov

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

This article examines the issues of improving the maintenance and diagnostic system of belt conveyors operating at the Angren coal mine. The reliability and operational efficiency of belt conveyors directly depend on the quality of maintenance organization. During operation, various types of wear, deformation, and malfunctions occur in rollers, belts, drums, and tensioning mechanisms. Therefore, when planning maintenance activities, it is recommended to apply a preventive approach based on diagnostic measurement results. The article presents parameters characterizing the technical condition of belt conveyors, elements of the diagnostic system, and recommendations for adapting them to the operating conditions of the Angren coal mine.

KEYWORDS:

belt conveyor, maintenance, diagnostics, monitoring, reliability, tension, roller load, Angren coal mine, SCADA.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi “Kon transporti va mexanizatsiya tizimlari” me‘yoriy hujjatlari. – Toshkent, 2021.
 2. Бабенко В.В. Горне конвейер и их обслуживание. – Москва: Недра, 2019.
 3. Ключевский А.А. Техническое обслуживание транспортных систем. – СПб: Политех, 2020.
 4. Ziyadov N. Lentali konveyerlarning ishonchliligi va texnik xizmat tizimi. – TDTU ilmiy to‘plami, 2024.
 5. Murodov B. Kon transporti mashinalari va ularning ekspluatatsiyasi. – Toshkent: Fan, 2022.
 6. “Belt Conveyors: Design and Operating Principles.” – Elsevier Publishing, 2023.
 7. Kovalchuk I., Pashkevich N. Automation in Mining Equipment Diagnostics. – Journal of Mining Engineering, 2022. ISO 10816-3: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. – Geneva, 2021.
 8. Yuldashev X. Kon transporti tizimlarida ishonchlik nazariyasi asoslari. – Toshkent: TDTU, 2023.
 9. Rahimov A. Konveyer tizimlarining energiya tejamliligini oshirish yo‘llari. – O‘zbekiston texnika jurnali, №4, 2023.
 10. Аннакулов Т.Ж, Зиядов Н.Р. Анализ транспортировки вскрышных пород конвейерным транспортом в составе цикличнопоточной технологии. Xalqaro ilmiy-texnik anjuman Toshkent, ToshDTU, 2024 y
 11. T.J. Annakulov, N.R. Ziyadov. Konveyer rolklarining ishdan chiqishi sabablarini tahlil qilish va ishonchliligini baholash. “Konchilik mashinalari va texnologiyalari”. - Toshkent, 2023, №4.
-

Information about authors:

Annaqulov Tulqin Jovbekovich	– Head of the department of mining electromechanics, PhD, Associate professor; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3106-144X , e-mail: a.tulkin1275@vandex.ru
Ziyadov Nusrotullo Rahmotulloyevich	– Senior lecturer at the department of Mining electromechanics, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7613-6307 e-mail: ziyadovnusratillo@gmail.com

LITERATURE ANALYSIS ON INCREASING THE CLEANING EFFICIENCY OF AIR FILTERS OF MACHINES USED IN MINING ENTERPRISES

L.N.Ataqulov, B.Kh.Shomurodov

Navoi State University of Mining and Technology

Doi: 10.5281/zenodo.18092644

ABSTRACT

The article provides essential information about the contamination of air filters in mining machines used at mining enterprises, meaning the reduction in operational efficiency caused by dust or other airborne particles and their negative impact on the machine's performance. In addition, a scientific analysis of the literature aimed at improving the efficiency of air filter cleaning systems used in today's mining industry of our country is presented. In addition, the research methodology section of the article scientifically substantiates the issues of improving the process of effective air filter purification using the method of theoretical analysis, the method of mathematical modeling, and the methods of experimental tests. The article thoroughly analyzes the air filters currently used in mining machines and proposes the use of an improved filter cleaning device to improve the filter cleaning process.

KEY WORDS

air filters, cleaning, pressure, filter cleaning device, filter cleaning coefficient, internal combustion engine.

INTRODUCTION

Today, the most widely used engines in mining and transport vehicles that are directly involved in the extraction, loading and delivery of minerals to enrichment plants in mining enterprises are internal combustion engines. Due to the high dust content in open-pit mining facilities, i.e. quarries, the air filters of mining machines used in quarries become clogged with dust particles much faster than expected, so cleaning the air filters of machines used in the mining industry is one of the most urgent issues today.

The continuous, reliable and high-performance operation of the internal combustion engine of mining machines directly depends on the purity of the amount of air supplied to it and the quality of the filtered air flow, which proves the need for constant, systematic cleaning of air filters. Therefore, improving the timely and high-quality cleaning devices for mining machine air filters, ensuring the performance, efficiency, and long-term operation of not only air filters, but also the internal combustion engine and mining machines, is one of the urgent problems of today.

LITERATURE ANALYSIS

Today, many researchers and scientists are conducting a number of scientific studies on the issues

of improving the air filter cleaning systems of mining machines, updating the design of filters, increasing their service life. The long-term operation of mining machines and internal combustion engines is a quantity that depends on many external and internal factors. Today, there are many modern methods of cleaning air filters, and cleaning air filters of mining machines is carried out at the repair sites or equipment service facilities of every large giant enterprise [1].

Nowadays, many foreign researchers and scientists are conducting scientific research on the improvement of air filter cleaning systems for mining vehicles, including: Marius Tomaa, Iordan Filerua, Peyyang Li, Yatsek A. Koziel, Nubia Macedo, Jeffrey J. Zimmerman, Danielle Wrzesinski, Erin Sobotka, Mateo Balderas, William B. Waltz, Reed Vincent Paris, Myongson Li, Dongjie Liu, Bauyrjan Yedilbayev, Brett C. Ramirez and William S. Jenks. Despite the ongoing scientific research and experiments, the problems of improving air filter cleaning systems have not been fully resolved to this day [2].

On the issues of improving air filters for mining vehicles, scientists of our republic, such as Bozorov B.I., Abdurashidov A.A. and others, have also conducted many scientific research and studies,

prepared experimental test stands and achieved good results [3].

Despite the many results achieved on the basis of numerous scientific researches and experiments conducted by foreign and domestic scientists, cases of various types of dust particles entering the internal combustion engines of mining machines used in mining enterprises today, and their negative impact on the performance of internal combustion engines, as well as cases of damage and failure of engines due to dust, are observed in the mining industry. Taking into account the above, the article aims to address the issues of improving the air filter cleaning system of mining machines and to determine the tasks for scientific research based on analytical analysis [4].

RESEARCH METHODOLOGY

Air filter cleaning systems for mining machines serve as the basis for increasing the efficiency and ensuring long-term, reliable operation of internal combustion engines. Scientific research and scientific-practical research on the improvement of air filter cleaning systems are carried out on the basis of a wide variety of methodological approaches, below we will analyze the main types of research methodologies currently being conducted [5]:

1. Theoretical analysis method - in this method, it is necessary to analyze the literature analysis and foreign and local scientific researches, articles and theses, as well as the data collected on the topic. In this section, the methods and possibilities of cleaning the air system entering the engine in order to protect the internal combustion engine of mining machines from various types of dust are studied and analyzed.

2. Mathematical modeling method - in this methodological method, it is possible to use a number of mathematical methods for cleaning the air filters of mining machines in the object of scientific research

and the loss of air pressure supplied to it, as well as the nominal values of air speed.

3. Experimental research method - in this method, an experimental test stand is prepared to conduct scientific research to improve the cleaning efficiency of mining machinery dust filters and improve the methods of cleaning filters from dust. We can determine the effectiveness of increasing the cleaning efficiency of filters from dust through several types of tests:

- the method of comparing the initial mass of the filters and the masses after cleaning;

- resistance of the filters to the applied pressure before cleaning and resistance to the pressure after cleaning is measured;

- the method of determining the dust capacity, surface, porosity and filter size on the surface of the filter and several other methods.

Taking into account that the combined and generalized application of the above research methods increases the scientificity and reliability of the research work, we conducted a scientific research study in the article using theoretical analysis and mathematical modeling methods [6].

DISCUSSIONS AND RESULTS

Today, the process of cleaning air filters of transport vehicles, mainly used in open-pit mining enterprises, is organized at each facility in order to increase the efficiency of the enterprise. Figure 1 below shows a device for cleaning the air filters of mining vehicles using a compressor and cleaning the dust coming out of the filter with an additional fan device located behind, but this method shows that the air filters are poorly cleaned.



(a) filters used in mining



(b) filter cleaning device in the factory

Figure 1. Air filter cleaning device for air filters used in mining enterprises

Based on the research and experiments conducted, we can say that cleaning air filters only by blowing air with a compressor reduces the cleaning efficiency of these filters by an average of 30-40%, and the cleaned

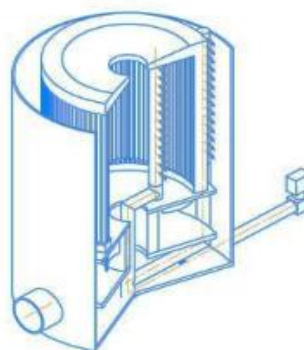
filters are clogged with dust again, and their operating time is very short [7].

According to the analysis of the literature and taking into account the above indicators, we propose an experimental test device for cleaning air filters with a

special rotary and reciprocating motion for cleaning air filters of mining machines:



a) mining machine air filter



b) special filter cleaning device offered

Figure 2. Mining machine air filter and proposed device for cleaning it

Due to the fact that air filters currently used in mining enterprises operate at very low efficiency levels and the very low cleaning coefficient of this device, a new, more efficient filter cleaning device, shown in Figure 2, has been proposed.

CONCLUSION AND SUGGESTIONS

Nowadays, the cleaning devices used in the filter cleaning areas of mining enterprises for cleaning air filters of mining machines are mainly used in the air spraying, dust suction and rotary motion of the filters. The filter cleaning device we offer is an effective device with higher efficiency and reliability than existing filter cleaning devices, as a result of preventing the loss of air pressure from the compressor during filter cleaning and providing additional vibration.

Air filters for mining machines are special devices that clean the air flow entering the internal combustion engine of various dust and other substances, ensuring the speed, reliability and other parameters of the internal combustion engine.

When used in mining enterprises, the proposed air filter cleaning device removes 80-90% of the dust accumulated in the filters, which, first of all, increases the efficiency of cleaning the dust filters, and is one of the main parameters for increasing the reliability, long-term operation and labor efficiency of the internal combustion engine of mining machines. When used in mining enterprises, the proposed mining machine cleaning device serves as a new, modern and economically cost-effective device for mining machines that prevents their breakdowns.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНЫХ ФИЛЬТРОВ МАШИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Л.Н. Атакулов, Б.Х. Шомуродов

Навоийский государственный горно-технологический университет

АННОТАЦИЯ

В статье приведены необходимые сведения о загрязнении воздушных фильтров горных машин, используемых на горнодобывающих предприятиях, то есть о снижении эффективности работы из-за пыли или других воздушных частиц и их негативном влиянии на работу машины. Кроме того, представлен научный анализ литературы, посвящённой повышению эффективности систем очистки воздушных фильтров машин, применяемых в современной горнодобывающей промышленности нашей страны. Кроме того, в разделе "Методика исследования" статьи научно обоснованы вопросы совершенствования процесса эффективной очистки воздушного фильтра методом теоретического анализа, методом математического моделирования и методами экспериментальных испытаний. В статье подробно анализируются воздушные фильтры, используемые в настоящее время в горных машинах, и предлагается использовать усовершенствованное устройство для очистки фильтров для улучшения процесса очистки фильтров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА воздушные фильтры, очистка, давление, устройство для очистки фильтров, двигатель внутреннего сгорания.

REFERENCES

1. Barris MA. Total Filtration TM, The Influence of Filter Selection on Engine Wear, Emissions, and Performance. SAE technical paper series, 952557.
2. Tellier, R. COVID-19: The case for aerosol transmission. *Interface Focus* 2022, 12, 20210072. [CrossRef]
3. Lerner, A.M.; Folkers, G.K.; Fauci, A.S. Preventing the spread of SARS-CoV-2 with masks and other “low-tech” interventions. *JAMA* 2020, 324, 1935.
4. Kim, H.-J.; Han, B.; Kim, Y.-J.; Jeong, C.-S.; Lee, S.-H. A simple and efficient method for evaluating air-cleaning performance against airborne allergen particles. *Build. Environ.* 2013, 60, 272–279.
5. Jaroszczyk T, Pardue BA, Holm CE. Recent Advances in Engine Air Cleaners Design and Evaluation, *Journal of KONES Internal Combustion Engines*. p. 259-275. 2004.
6. Toma M. Researches on the Influence of Maintenance Activity of Air Filters on the Dynamic Performances of Automotive Internal Combustion Engines. PhD Thesis, University Politehnica of Bucharest, 2013.
7. Bugli NJ, Green GS. Performance and Benefits of Zero Maintenance Air Induction Systems. SAE technical paper series 2005-01-1139.

Information about authors:

Ataqulov Lazizjon Nematovich	–	Doctor of Technical Sciences, Professor Navoi State University of Mining and Technology, 100095, Republic of Uzbekistan, Navoi, M. Torobiy Str., 72. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3561-8850
Shomurodov Baxtiyor Hamidovich	–	Navoi State University of Mining and Technology, basic doctoral student. Republic of Uzbekistan, Navoi, M. Torobiy Str., 72. e-mail: baxtik.3008@gmail.com

ANALYSIS OF CAUSES AND METHODS OF SOLVING COMPLICATIONS IN URANIUM IN-SITU IN-SITU LEACHING TECHNOLOGY

J.B. Toshov¹, Sh.A. Makhmudov², G.A. Makhmudova¹

¹*Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan*

²*Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan*

Doi: 10.5281/zenodo.18092657

ABSTRACT

The study examines the operational features of in-situ leaching (ISL) technology applied to the extraction of non-ferrous metals. The process chain is characterized by the injection of a leaching solution through specially drilled wells into the ore-bearing horizon, followed by the dissolution of target minerals and their subsequent recovery to the surface via production wells. In the course of ISL system operation, a number of typical complications arise, including clogging of the near-well zone, gas breakthrough, sanding phenomena, and scaling in tubing strings. These factors significantly influence the filtration regime and hydrodynamic behavior of the productive formation, which makes it necessary to regularly adjust and optimize the operating parameters. The paper highlights different categories of interventions aimed at enhancing system efficiency: chemical treatments, combined physico-chemical methods, as well as mechanical cleaning and rehabilitation of wells and downhole equipment. It is argued that sustainable and long-term operation of ISL systems can only be ensured through integrated application of these approaches, which reduces the risks of failures and extends the service life of wells. The research outcomes provide a methodological basis for improving the design and further optimization of ISL systems at both operating and newly developed deposits.

KEYWORDS

in-situ well leaching, bottom-hole zone, colmatization, sanding, salt deposition, well cleaning, technological efficiency.

INTRODUCTION

When operating wells subject to the influence of mechanical impurities and colmatation, one of the key complications is the clogging of the bottomhole, well

equipment, and the bottomhole formation zone (BFZ). This inevitably leads to a decrease in the well’s production potential, expressed in lower withdrawal volumes of productive solutions. Similar difficulties are also observed during technological operations.

The deposits forming in filters and near-filter zones are usually of a complex multicomponent composition. They often include salts and hydroxides of iron and manganese, carbonates of calcium and magnesium, compounds of silicic acid, sulfides, as well as sand and clay particles. These substances are deposited on filter surfaces and in the pores of adjacent rocks, being fixed either by gravitational settling or due to surface tension forces.

In downhole pumping systems, the presence of mechanical impurities is considered the primary factor leading to failures and defects in construction. Statistical data indicate that the proportion of failures caused by solids in the pumped medium significantly exceeds the influence of other geological and technical factors, such as corrosion or salt scaling. For most uranium ISL deposits in Uzbekistan, mechanical impurities account for 30–45% of all major pump failures, while corrosion is responsible for 22–35%, and salt formation for 15–20%. Additionally, sand carryover often results in the formation of sand plugs that block the entire perforated interval of the casing. This causes complete shutdown of the well, since the inflow of productive solutions from the ore-bearing horizon is effectively terminated.

MATERIALS AND METHODS

In order to sustain the planned level of uranium production, it is sometimes necessary to increase the withdrawal rates of operating wells. However, this inevitably results in higher filtration velocities, which intensify the processes of reservoir destruction and removal of impurities from weakly cemented rocks in the near-bottomhole zone. Under such conditions, the structural framework of the reservoir is gradually degraded, and the fracture process becomes continuous due to the constant migration of rock particles into the well.

The primary reasons for this phenomenon include: disturbance of geomechanical equilibrium in the borehole zone caused by rock pressure and bottomhole pressure; variable mechanical loads acting on the formation; hydraulic stresses resulting from fluid filtration; as well as dissolution of the cementing

material under the influence of formation waters. The intensification of these processes explains the frequently observed effect of increased solids entrainment at downhole pressures lower than the saturation pressure.

The genesis of solid particles entering the pumping equipment is diverse. A considerable proportion originates directly from the formation during well operation, while a significant fraction has non-reservoir origins. These include corrosion products of underground equipment, particles introduced during repair or geological-technical interventions, insoluble inclusions from well-killing fluids, proppant remnants after hydraulic fracturing, and reaction products formed during the mixing of chemically incompatible fluids. The overall percentage composition of mechanical impurities in produced solutions is typically dominated by particles of reservoir origin (Table 1) [1–5].

To systematize the causes of reservoir destruction and sand production, a classification is proposed that distinguishes three groups of factors based on conditions of occurrence:

Geological factors, related to bedding and lithology of the reservoir: burial depth and pressure; horizontal stress component; degree of cementation, compaction and natural permeability of rocks; physicochemical properties and phase state of the produced fluid; morphology of reservoir sands (grain angularity, clay content); water encroachment into the deposit and dissolution of cementing agents; duration of sand removal processes.

Technological factors, determined by well operation and reservoir opening conditions: well flow rate; magnitude of overbalance or underbalance pressure; deterioration of natural permeability (skin effect); hydraulic loads and weakening of capillary cohesion of sand grains.

Technical factors, related to well and bottomhole construction: design of the lower completion, characteristics of the filtration interval, type of perforation (open, damaged, or plugged channels), and other design features affecting flow distribution.

Table 1.

Classification of causes of reservoir fracture and sand removal

Nature origins	Percentage share	Particle composition	Percentage share
Stratum	50-60	Magnetic and iron particles	25-65
Mixed (reservoir-surface)	15-25	Mineral particles from the formation	20-25
Surface	10-20	Surface particles	10-50

The evaluation of filtration-capacity properties (FCP) of reservoirs, including: total and open porosity; absolute, phase and relative permeability; water-, rock- and gas saturation, is not insignificant.

According to the totality of these properties, reservoirs are subdivided into corresponding groups [6-9] (Table 2).

The content of clayey and carbonate cement determines the FCP of the reservoir (Table 2). In the first group, the average content of clayey (particle size $d < 0.01$ mm) and siltstone ($d = 0.1-0.01$ mm) fractions

is about the same and the total is about 97%. Carbonation of rocks varies from 0 to 18%.

Table 2

Filtration-capacitance properties (FCP) of reservoirs

Collector Properties, FCP	Open porosity coefficient, %	Gas saturation coefficient	Permeability coefficient, mcm^2	Clay and carbonate content, %
Lowes	19,9-24,2	0,04-0,25	0,002	42-62
Averages	24,2-29,5	0,25-0,60	0,002-0,21	30-42
Highs	29,5-40,7	0,60-0,90	0,21-3,5	15-30

In the second group of reservoirs characterized by average filtration-capacitance properties (FCP), the siltstone fraction is dominant, accounting for approximately 55% on average, while the clay fraction makes up 24%, and the sandy fraction about 9%. The average carbonate content in this group is close to 12% [10–12].

The third group of rocks demonstrates the most favorable FCP. This improvement is associated with a decline in the clay fraction to around 25%, accompanied by an increase in the sandy fraction to an average of 26%.

On this basis, the key factors influencing impurity concentration can be distinguished as follows: depth of formation bedding and reservoir pressure; filtration-capacitance characteristics of rocks and formation permeability; physical and chemical parameters of the produced fluid; water cut; granulometric composition and morphology of sand grains; well flow rate; perforation density; pressure differential (underbalance or overbalance); and the type of working fluid employed in remedial operations.

During well start-up, complications are typically associated with high levels of suspended solids (HFC), which, in the initial period following underground repair or hydraulic fracturing, may reach 200–1000 mg/L [13–15]. Such concentrations often exceed the design limits of pumping units, even those with wear-resistant construction. Mechanical particles passing through the working components of pumps produce abrasive wear, causing plunger sticking in cylinders, rod breakage, valve pair failure, and filter clogging.

According to M.A. Shashkin [16–17], in many newly commissioned pumping wells, a substantial share of impurities originates from the formation only within the first days of operation. Approximately 80%

of equipment failures due to clogging occur in wells after commissioning, drilling of a sidetrack, underground repairs, or hydraulic fracturing.

Filling of the perforation interval with formation fracture products occurs not only immediately after hydraulic fracturing but may also be repeated during subsequent operation. At the final stage of hydraulic fracturing, a significant amount of proppant often remains in the wellbore without being fully injected into the formation, ranging from several hundred kilograms to tens of tons.

It is widely recognized that reinforcement of the bottomhole zone during well completion immediately after drilling provides the most reliable results [18–24]. The most effective sand control technologies are those based on preventing sand production into the wellbore. For this purpose, various approaches are applied—chemical, physico-chemical, mechanical, as well as combined methods—aimed at stabilizing reservoir rocks in the bottomhole zone.

Mechanical methods [25–27] include the use of filters of various designs: gravel-packed, frame-gravel, multilayer mesh, and composite structures.

Physico-chemical methods are based on consolidation of formation rocks in the bottomhole zone, including proppant filter creation and hybrid treatments.

Chemical methods rely on artificial hardening of the reservoir through the injection of resins, cement slurries, and other binding agents with special fillers.

From this perspective, two principal strategies of well operation in sand-prone reservoirs are identified:

Production with controlled sand removal to the surface.

Production with complete prevention of sand migration from the formation.

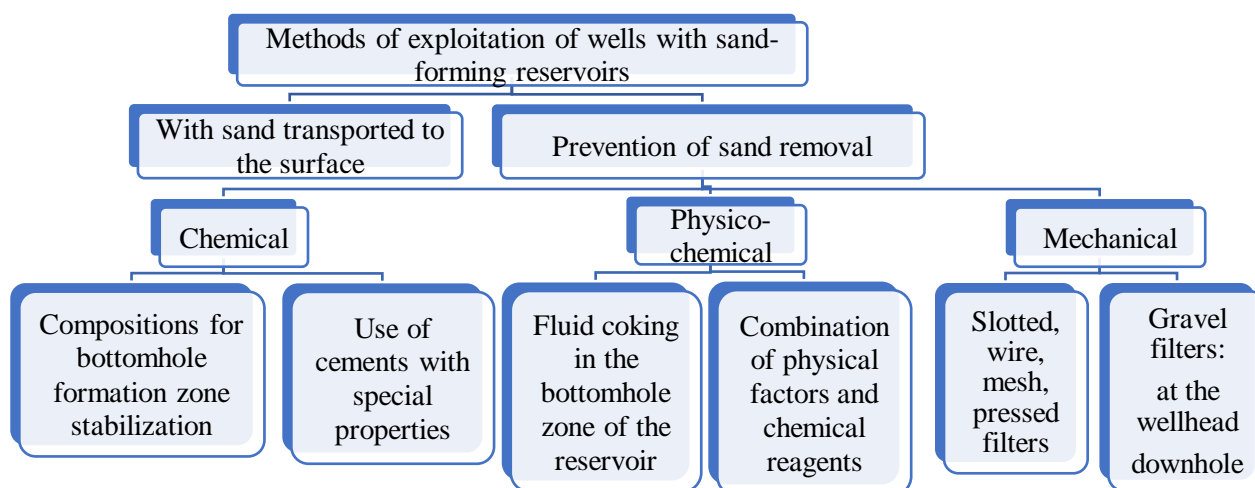


Figure 1. Methods of well exploitation in sand-bearing massifs

Table 3 [28-30] presents rational areas of applicability of each method depending on the conditions of sand penetration. When selecting a method of sand control in the well, a number of factors are taken into account depending on the bottomhole

design. When completing openhole wells, mechanical or combined methods are typically used. Chemical methods of sand consolidation are used mainly in new wells, where caverns have not yet had time to form due to sand removal.

Table 3.

Rational areas and applicability criteria for sand protection methods

Protection methods		The essence of the technology	Protection area	Application criteria
Without protection		-	-	Low thickness formations composed of low-permeability rocks
Mechanical	Application of filtering systems, sludge collectors	Installation of filters and other equipment below and above the pump to prevent sand from entering the pump	Pump reception, Pump	Mild to moderate sand removal without overfilling of the face
Chemical	Pumping resins and their compositions in the FZS	Creating a porous screen in the reservoir to prevent reservoir fracture	Perforation interval, Pump Intake, pump	Intensive sand removal overburden
	Application of special cements			
Physico-chemical	RCP proppant application	Creation of proppant packing behind the production string and in the reservoir	Perforation interval, pump intake, pump	Intensive sand removal with overfilling of the face and formation of caverns

RESULTS AND DISCUSSION

The first group of sand control methods is based on the application of technical and technological solutions that either clean sand entering the well in the bottomhole zone or reduce its harmful effects on downhole equipment.

In the course of this study, existing approaches and tools for mechanized elimination of sand plugs were

analyzed. When formations composed of unconsolidated rocks are developed, the structural framework of the bottomhole zone is disrupted. As formation fluid moves through the reservoir, it entrains significant amounts of sand into the wellbore. If the upward velocity is insufficient to transport sand grains, they settle at the bottomhole, creating plugs that completely block the inflow of productive fluids. To restore normal operation, it becomes necessary to

clean the bottomhole and the wellbore of sand accumulations.

The most widely applied methods for sand plug elimination include:

Direct flushing of the wellbore – sand is removed by pumping flushing fluid through the run-down tubing. The eroded rock is carried upward via the annulus. The lower end of the tubing is often equipped with a nozzle, cutter, or pencil-type cutter to facilitate erosion.

High-speed direct flushing – similar to direct flushing, but carried out without interruption during the extension of flushing pipes. This prevents redeposition of sand and minimizes the risk of tubing string sticking.

Backwashing – washing fluid is injected into the annulus, while the upward flow is directed through the washing pipes. Because of the smaller cross-section of these pipes, higher flow velocities are achieved, which improves sand removal efficiency.

Jetting-based washing – applied when defects exist in the casing string. The setup includes a jet pump, concentric tubing, and surface equipment (hoses, swivel joints, and fluid intake devices).

Cleaning with aerated liquids, foams, or compressed air – effective for wells with low fluid

columns and loosely compacted plugs. The wellhead is sealed with a gland, and aerated fluids, foams, or compressed air are used as the working medium. Advantages include: reduced absorption of flushing fluid by the formation, shorter recovery time after plugging, and the possibility of cleaning below filter or sump intervals.

Aerated fluid flushing with surfactants – applied in low-pressure reservoirs where plugging frequently occurs and elimination is complicated by fluid losses into the formation. The addition of surfactants reduces surface tension and enhances plug removal efficiency.

Flushing with surfactant solutions – surfactants (e.g., sulfanol, sodium sulfonates, demulsifiers) are added to water to decrease interfacial tension and promote faster, nearly complete removal of fluid from the bottomhole zone during well development.

Foam washing – a stable foam is formed at certain concentrations of surfactant solutions, which is then used to clean the wellbore.

A universal washing scheme (Fig. 2) can be applied to all of the above methods. The main difference lies in the composition of the flushing fluid, which is selected according to reservoir and well conditions.

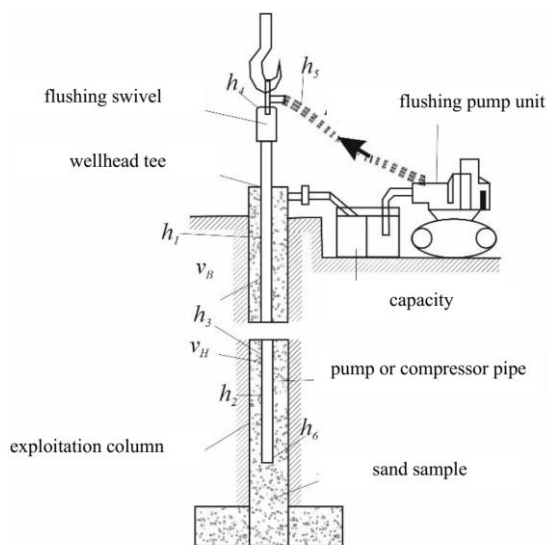


Figure 2. Typical scheme of well flushing

Cleaning of Wells from Plugs with Chutes and Hydro-Drills

Chute-based cleaning. This method is carried out by repeatedly lowering, filling, and raising a chute inside the wellbore. Depending on design, chutes are categorized as simple, piston, or automatic. Despite the structural simplicity, chute cleaning has several disadvantages: long operation duration, risk of casing wear, potential rope or cable breakage, and contamination of the working area with removed material.

For loose plugs and wells with a small liquid column, simple chutes are generally applied.

For dense plugs, piston chutes provide higher efficiency.

For most other situations, automatic chutes are recommended, as they allow more continuous operation with reduced manual effort.

Hydro-drill cleaning. Sand plugs may also be eliminated without running flushing pipes by using a hydro-drill lowered into the well on a rope. Once the tool reaches the plug, it is lifted by 2–3 meters and then repeatedly struck against the plug surface with the bit. During upward strokes, the plunger draws liquid mixed with sand into the device: the sand is retained in the chute, while the liquid is expelled into the piston pump. In several successive cycles, the hydro-drill

gradually removes the plug accumulated at the bottomhole.

To prevent complications such as rope looping, excessive rope tension, or accidental breakage, it is strongly recommended to operate the hoist at reduced speeds.

CONCLUSION

In the technology of in-situ leaching (ISL) using wells drilled from the surface, a leaching reagent is injected into the ore-bearing zone. Moving from the injection wells to the production wells, the reagent dissolves the target minerals and, with the help of submersible pumps, is brought to the surface. The recovered solutions are then collected in technological units for reception and distribution, after which they are transported via pipelines to processing plants.

It has been established that during operation of the system well–formation–well–pump, the filtration properties of reservoir rocks, the hydrodynamic

conditions in the near-wellbore area, and the performance of electric submersible pumps (ESPs) are subject to constant variation. These changes are accompanied by complications such as colmatation of the bottomhole zone, gas liberation, sand ingress, and salt scaling in the equipment. Effective management of such complications requires the application of specialized treatments of the reservoir rocks, regulation of operating regimes, and optimization of downhole equipment performance, all of which directly affect the efficiency of the system as a whole.

Therefore, to enhance the efficiency of production wells in ISL operations, a combination of chemical, physico-chemical, and mechanical methods—as well as their integrated application—is employed. These approaches are aimed at preventing complications, consolidating formation rocks, stabilizing the bottomhole zone, and ensuring effective well cleaning

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОСЛОЖНЕНИЯМИ В ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Ж.Б.Тошов¹, Ш.А.Махмудов², Г.А.Махмудова¹

¹Ташкентский государственный технический университет имени И.А.Каримов, Ташкент, Узбекистан

²Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

АННОТАЦИЯ Статья посвящена рассмотрению особенностей эксплуатации системы подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) цветных и радиоактивных металлов. Описан технологический процесс подачи выщелачивающего реагента через нагнетательные скважины в рудный пласт, последующего растворения полезного компонента и его транспортировки на поверхность через откачивающие скважины. Выявлены основные осложнения, возникающие в процессе эксплуатации системы: кольматация приствольной зоны, газовыделение, пескопроявление, солеотложения в насосно-компрессорном оборудовании. Отмечено, что данные процессы изменяют фильтрационные и гидродинамические характеристики пород продуктивной зоны, что требует регулярной корректировки технологических параметров. Представлены методы повышения эффективности эксплуатации, включая химические, физико-химические и механические воздействия на приствольную зону и скважинное оборудование. Обоснована необходимость применения комбинированных подходов для стабилизации работы системы, предупреждения осложнений и продления эксплуатационного ресурса скважин. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации систем ПСВ на действующих и перспективных месторождениях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА подземное скважинное выщелачивание, приствольная зона, кольматация, пескопроявление, солеотложения, очистка скважин, технологическая эффективность.

URANNI YER OSTIDAN SKVAJINALAR ORQALI ISHQORLASH USULI BILAN QAZIB OLIISH TEXNOLOGIYASIDA YUZ BERUVCHI MURAKKABLIK LARNING YUZAGA KELISH SABABLARINI VA ULARNI HAL QILISH USULLARINI TAHLIL QILISH

Toshov J.B., Maxmudov Sh.A., Maxmudova G.A.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston

ANNOTATSIIYA Maqola rangli va radiaktiv metallarni yer osti skvajina orqali qazib olish tizimi ekspluatatsiyasi xususiyatlarini ko'rib chiqishga bag'ishlangan. Bosim skvajinalari orqali ruda qatlamiga yuvuvchi reagent yuborilishi, foydali komponentning eritilishi va so'ngra uni sathga chiqaruvchi skvajinalar orqali tashilishi kabi texnologik jarayon tasvirlangan. Tizim ekspluatatsiyasi davomida yuzaga keladigan asosiy murakkabliklar aniqlangan: skvajina og'ziga yaqin zonaning kolmatatsiyasi, gaz ajralishi, qum ko'rinishi, nasos-kompressor uskunalarida tuzlar cho'kishi. Ushbu jarayonlar ishlab chiqaruvchi qatlam jinslarining filtrlash va gidrodinamik xususiyatlarini o'zgartirishi qayd etilgan, bu esa texnologik parametrlarni muntazam ravishda tuzatishni talab qiladi. Ekspluatatsiya samaradorligini oshirish usullari bayon etilgan bo'lib, ular kimyoviy, fizik-kimyoviy va mexanik ta'sirlarni o'z ichiga oladi. Skvajina og'ziga yaqin zonaga va uskunalariga kompleks ta'sir ko'rsatish orqali tizimning barqaror ishlashini ta'minlash, murakkabliklarning oldini olish va skvajinalarning xizmat muddatini uzaytirish zarurligi asoslab berilgan. Olingan natijalar mavjud va istiqbolli konlarda YOSOQO tizimlarini loyihalash va optimallashtirishda qo'llanilishi mumkin.

KALIT SO'ZLAR yer ostidan skvajinalar orqali qazib olish, skvajina og'ziga yaqin zona, kolmatatsiya, qum ko'rinishi, tuz cho'kindilari, skvajinalarni tozalash, texnologik samaradorlik

REFERENCES

1. Woods P., Pool T., Beneš V., Gorbatenko O., Jones B., Märten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 138.
2. Svyatetsky V. S., Solodov I. N. Strategy of technological development of the uranium mining industry of Russia. *Mining Journal*. 2015;(7):68-77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10.
3. Rogov E. I., Yazikov V. G., Rogov A. E. Optimization of prepared and ready for excavation reserves at in-situ in-situ uranium leaching mines. *Mining information-analytical bulletin. MGGU*. 2002;(4):149-150.
4. Sakirko G. K., Noskov M. D., Istomin A. D. Optimization of block mining at uranium mining by in-situ leaching. IV International School-Conference of Young Atomic Scientists of Siberia: Collection of abstracts, October 23-25, 2013. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2013. C. 30.
5. Dzhakupov D.A. Increasing the efficiency of uranium mining by in-situ in-situ leaching. International scientific and technical conference "Innovative development of the mining industry". Krivoy Rog; 2016. C. 130-133.
6. Yusupov H. A., Jakupov D. A., Bashilova E. C. Increase of efficiency of mining of complex hydrogenated uranium deposits with application of hydrogen peroxide. *Mining Journal*. 2018;(2):18-21.
7. Polack C. Uranium exploration (2004–2014): New discoveries, new resources. In: International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 8–9.
8. Zhivov V. L., Boitsov A. V. V., Shumilin M. V. Uranium: geology, mining, economics. Moscow: Atomredmetzoloto; 2012. 301 c.
9. Karimov I. A., Khakimov K. J. Development of complex-structured uranium mineralization by in-situ leaching. *Mining information and analytical bulletin*. 2015;(9):67-69.
10. Khawassek Y. M., Taha M. H., Eliwa A. A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert. *Egypt International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016;6:62–73.
11. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits. In: International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 172.
12. Ahrens V. J., Gridin O. M., Kreinin E. V. et al. Physico-chemical geotechnology. Textbook for universities. Moscow: Gornaya kniga; 2010. - 656 p.
13. Verkhoturov A. G., Sabigatulin A. A. Intensification of uranium mining when using the complex of treatment of near-infiltration zones of geotechnological wells. *Mining information and analytical bulletin*. 2019;(7):13-20. DOI: 10.25018/02361493-2019-07-0-13-20.
14. Yusupov H. A., Dzhakupov D. A., Nazarbayeva N. A. Selection of scheme and parameters of wells of technological block. International Scientific and Practical Conference "Scientific and personnel support of innovative development of mining and metallurgical complex". Almaty; 2017. C. 168-170.
15. Mataev M. M., Rakishev B. R., Kenzhetayev G. S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmatation formations during the process of in situ uranium leaching. *International journal of advanced research*. 2017;(5):147–154.

16. Orakbaev E. J. Research and development of effective control systems of in-situ leaching process. Cand. dr. of technical sciences. Almaty: KNITU named after K.I. Satpayev; 2017. 117 с.
17. Molchanov A. A., Demekhov Yu. V. Increasing the efficiency of uranium extraction from hydrogen type deposits developed by in-situ well leaching method of the Republic of Kazakhstan (by the example of the eastern Mynkuduk deposit). Actual problems of uranium industry. VII International Conference. Collection of scientific works. Almaty: NAC Kazatomprom; 2014. C. 92-98.
18. Satybaldiev B. S., Uralbekov B. M., Burkitbaev M. M. Evaluation of the efficiency of using filtration leaching for uranium extraction from uranium ore. Bulletin of Al-Farabi KazNU. 2015;(3):23-27.
19. Mataev M. M., Kenzhetaev J. S. New approaches of well regeneration in in-situ uranium leaching. Innovations in complex processing of mineral raw materials. Collection of scientific works. International scientific and practical conference Abishev Readings-2016. Almaty; 2016. C. 138-142.
20. Rakishev B. R., Mataev M. M., Kenzhetaev J. S. Study of mineralogical composition of sedimentation in conditions of downhole uranium mining. Mining information and analytical bulletin. 2019;(7):123-131. DOI: 10.25018/0236-14932019-07-0-123-131.
21. Aizhulov D., Shayakhmetov N., Kaltayev A.. Quantitative model of the formation mechanism of the rollfront uranium deposits // Eurasian chemico-technological journal. – 2018. – № 3. – С. 213-221.
22. Dahlkamp F.J. Uranium deposits of the world: Asia – Berlin: Springer-Verlag, 2009. – 492 с.
23. Mamilov V.A. Uranium mining by in-situ leaching. - Moscow: Atomizdat, 1980. - с.
24. Khaidarova M. E. Justification of the scheme of opening and exploitation of uranium deposits by in-situ leaching // Young Scientist. - 2016. - №14. - С. 192-195.
25. Alibaeva K.A. “Numerical study of ways to improve the field production at the extraction of minerals by in-situ leaching method”: thesis for the degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.). Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, 2013.
26. Noskov M.D. Uranium mining by in-situ leaching method: textbook. - Seversk: STI NRNU MEFPhI, 2010. - 83 с.
27. Brovin, K.G. Prognosis, prospecting, exploration and industrial evaluation of uranium deposits for mining by in-situ leaching. - Almaty: ФЫЛЫМ, 1997. - 384 с.
28. Tolstov E.A. et al. Technique and technology of construction of geotechnological wells in Navoi MMC. M., “NIA-Priroda”, 2004, 122 p.
29. Tolstov E.A., Tolstov D.E. Physico-chemical geotechnologies of development of radioactive metal and gold deposits in Kyzylkum region. M., “Geoinformcenter”, M., 2002.
30. Bashkatov A.D. Progressive technologies of well construction. M., “Nedra-Business Center” LLC, 2003, 554 p.

Information about authors:

Toshov Javoxir Buriyevich	– DSc, Professor at Tashkent State Technical University named after I. Karimov, 100095, Uzbekistan, Tashkent, Almazar district, University str. 2, g-mail: j.toshov@yandex.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4278-1557 ,
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: 1yy2@mail.ru
Makhmudova Gulnoza Azamatovna	Basic doctoral student of Tashkent State Technical University named after I. Karimov, 100095, Uzbekistan, Tashkent, Almazar district, University str. 2, E-mail: 1yy2yyy3@gmail.com .

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕДКОМЕТАЛЛОНОСНЫХ ПРОЦЕССОВ

У.Х. Октамов¹, О.О. Шодмонов², С.И. Шаназаров³¹Начальник управления Государственного геологического фонда ГУ "Центр недропользования"²Ст.преподаватель Ташкентского Государственного Технического университета³Преподаватель Национальный Университет Узбекистан имени Мирзо Улугбека

Doi: 10.5281/zenodo.18092719

АННОТАЦИЯ

В данной статье подробно освещены общие понятия и отдельные рекомендации об условиях образования редких металлов, особенностях их формирования, на что следует обратить особое внимание при изучении условий их образования, а также о непосредственных признаках, которые могут наблюдаться при проведении поисковых работ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Редкие металлы, условия образования, характерные особенности, поисковые признаки, изменчивость, металлогенические, тектоно-структурные и петрографические факторы.

ВВЕДЕНИЕ

Модели, металлогенические (геохимические) критерии и факторы в оценке продуктивности рудно-магматических систем. Образование и локализация месторождений в земной коре определяются, как правило, не одним фактором, а их совокупностью, иногда при ведущей роли одного из них, а также и интерференцией факторов – наложением одного на другой. Рассмотрим их подробнее.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Металлогеническое картирование (районирование) является одной из важнейших операций металлогенического анализа с выходом на выделение рудоносных и потенциально рудоносных площадей различного масштаба и значения, а также установление их соподчиненности. В выделении металлогенических единиц различного порядка, как известно, нет единообразия. Так, на практике и во многих работах понятия «рудный район» и «рудная зона» рассматриваются как тождественные и применяются для обозначения рудоносных площадей соответственно изометричной и линейной формы. Площади с относительно высокой концентрацией оруденения, а также потенциально рудоносные участки, соответствующие оптимальным сочетаниям локальных рудоконтролирующих факторов, обычно и рассматриваются как рудные зоны. Таким образом, рудная зона охватывает родственные проявления оруденения, объединенные каким-либо локальным рудоконтролирующим фактором или их сочетанием.

Методика выделения металлогенических подразделений пока еще разработана слабо, особенно методика составления среднemasштабных металлогенических карт, и

носит большую долю субъективности, зависящую от точки зрения на процессы рудообразования того или иного исследователя.

Тектонический фактор (обычно в сочетании с литологическим или магматическим) – один из решающих для локализации большинства месторождений полезных ископаемых. Общеизвестно влияние складчатых и разрывных структурно-тектонических форм на мобилизацию и локализацию эндогенных (и некоторых экзогенных) месторождений полезных ископаемых, на их морфологические особенности. По существу, они в значительной мере определяют основные типы структур рудных полей. Деформации горных пород – главный фактор локализации рудных тел и месторождений.

Геотектонические факторы определяют принадлежность площадей к тем или иным крупным структурам земной коры – складчатым областям, платформам, зонам линейментов, областям тектономагматической активизации и т. д.

Структурные факторы объединяют скрытые глубинные разломы, долгоживущие зоны проницаемости, устойчивые положительные (длительно существующие зоны поднятий) и отрицательные (конседиментационные) структуры, периферические части древних поднятий, вулканотектонические (купольные и кальдерные) структуры и т. д.

Структурно-петрологический и минералого-геохимический факторы. Многочисленными исследованиями установлена преимущественная локализация эпигенетического оруденения в апикальных частях гранитоидных интрузивов или в околоинтрузивных зонах. В связи с этим первостепенное значение для прогнозной оценки гранитоидов имеют: уровни эрозионного среза, реставрация морфологии кровли, изучение формы интрузивных тел. Установление глубины эрозионного среза гранитоидных интрузивов

позволяет делать обоснованные выводы об эродированности месторождений или возможности их поисков в современном эрозионном срезе или на глубине.

Н.Н. Амшинский предложил сейчас широко известную методику количественного определения глубины эрозионного среза гранитоидных интрузивов одного формационного типа, залегающих в однородной среде. Методика основана на объемном изучении вертикальной геохимической зональности. При этом используются отношения отдельных родственных аксессуарных элементов восходящей и нисходящей миграции, а также петрохимические коэффициенты.

При определении глубины эрозионного среза должны учитываться данные о зональности оруденения относительно кровли гранитных массивов. По данным некоторых исследователей, редкометалльное оруденение на расстоянии около 0,5 км выше кровли массива монометалльное (реже, биметалльное) и содержит около 50 минеральных видов.

При изучении поверхности кровли интрузивов применяется известный комплекс структурно-петрологических исследований. Наиболее благоприятны для локализации оруденения апикальные части массивов, купольные, валлообразные и гребнеобразные их выступы и участки пологого погружения контактов интрузивов. Часто месторождениям, залегающим в эндоконтактных зонах интрузивов, присуща уплощенная форма рудных тел, почти параллельная кровле гранитных интрузивов. Системы первичных протектонических трещин, а также вторичных эндо- и экзокинетических, играют важную роль в локализации оруденения. Их изучение и систематизация осуществляются по обычной методике в комплексе с космоаэрофотометодами.

Нередко рудные тела приурочены к системам вторичных трещин, образующих протяженные зоны. Поэтому установление рудоконтролирующих систем трещин, особенно трещин контракции, имеет определяющее значение для локализации оруденения.

Очень часто рудные тела структурно связаны с дайками различного состава. Для прогнозной оценки гранитоидов существенное значение может иметь взаимоотношение рудных жил с породами дайковых комплексов.

Необходимость изучения продуктов контактовых преобразований вмещающих пород и краевой интрузивной оболочки (эндоконтакт) вызвана прежде всего тем, что их масштабы свидетельствуют о реакционной способности гранитной магмы, интенсивности связанных с нею автотетасоматических и постмагматических процессов.

Существенное влияние на размещение эпигенетического оруденения, связанного с гранитоидами, оказывают также перекрывающие

породы, которые могут не только вмещать оруденение, но и экранировать его, обеспечивая термостатирование. Повышенная проницаемость (трещиноватость и пористость) вмещающих пород, неоднородность или контрастность их состава, наличие клиновидных провисаний кровли и другие особенности могут активно влиять на характер автотетасоматических процессов и локализацию оруденения.

В эндоконтактных зонах в связи с этим целесообразно проводить детальные геологические наблюдения по разрезам, ориентированным в крест простирания контактов, от внутренней зоны эндоконтакта до неизменных вмещающих гранитных пород. В задачи этих исследований входят: 1) выделение фаций эндоконтакта; 2) выявление рудно-тетасоматической зональности на участках и площадях пегматитообразования; 3) установление локальных критериев, контролирующей концентрацию редких элементов в пределах контактового ореола, околоинтрузивной зоны и центральной части интрузии.

При изучении постмагматических (в т. ч. и пегматитообразующих) процессов необходимо: 1) дифференцировать их по интенсивности; 2) выявить характер развития (концентрированный, рассеянный или неравномерный); 3) установить их приуроченность (особенно пегматитов) к определенным участкам массива (к апикальным частям, околоинтрузивным или удаленным зонам); 4) определить состав минеральных ассоциаций, который может указывать на сопряженность с ним руд редких металлов.

Структурно-петрологические критерии прогнозной оценки гранитоидных комплексов объединяют ряд признаков вещественного состава пород, строения массивов, взаимоотношений их с вмещающими комплексами и др. Конкретное содержание каждого из критериев может быть специфическим для конкретных гранитоидных комплексов или для отдельных регионов.

Геохимические: геохимическая зональность (горизонтальная и вертикальная), прослеживающаяся до глубины в сотню метров, для надежного определения своих показателей; характер распределения содержаний рудных элементов, тенденция к их выносу (привносу), определяющая положение их локальных концентраций в породах кровли и околоинтрузивной зоне массива; большая дисперсия содержаний (разброс) рудного элемента, которые далеко не всегда превышают кларковые; концентрация полезных компонентов в породообразующих и рудных минералах поздних дифференциатов и постмагматических продуктах; отсутствие корреляции между рудогенными и петрогенными элементами, появление самостоятельного рудного фактора.

Критерии оценки геохимической и металлогенической специализации гранитоидных интрузивов. Исследование связано с проблемой

источников рудного вещества в эндогенном рудообразовании, уже более века признанной одной из наиболее важных в геологической науке и практике. Одним из основных источников рудного вещества в эндогенных процессах, связанных с его концентрацией, признанно являются гранитоиды.

Общеизвестно, что главная трудность решения подобной проблемы эндогенного рудоконцентрирования заключена в том, что создаваемые им месторождения составляют от одной до десяти тысячных массы рудного вещества, рассеянного в горных породах.

Не вдаваясь в дискуссию о признаках специализации магм (в частности, интересующих нас гранитоидных), укажем, что под **металлогенической специализацией** обычно понимаются уровни содержаний рудных элементов и летучих компонентов – их комплексобразующих носителей, создающих в благоприятной физико-химической и геолого-структурной обстановке рудные концентрации (месторождения).

Как считают Л.В. Таусон и соавторы, *«концепция изначальной обогащенности магм рудными элементами (металлогеническая специализация) отстаивается, главным образом, для олова и, в меньшей мере, для относительно слабо изученных с этой точки зрения бора, вольфрама, ниобия и тантала. В отношении же большинства рудных элементов, таких как свинец, цинк, ртуть, медь, бериллий, молибден, уран, золото, никель, кобальт и другие, понятия о металлогенической специализации магм совсем не применимы».*

Примеры объектов комплексной рудной минерализации в Узбекистане, связанной с гранитными магмами, – Чаркасарский, Саргардонский, Баркракский, Ташкерганский, а также Сартакчинский, Актауский, Зирабулакский интрузивы, с которыми связаны концентрации фтора, урана, вольфрама, тантала, ниобия, бериллия, лития, олова и других литофилов.

Таким образом, установленные исследователями признаки потенциальной рудоносности гранитоидов только тогда войдут в число благоприятных факторов прогнозирования, когда будут выявлены условия их реализации в рудной продуктивности (месторождения) определенной гранитной интрузии.

Рудоконтролирующие факторы в составе металлогенических (геохимических) исследований, установленные при анализе материалов. *Металлогенические (геохимические) факторы* могут быть положительными, способствующими образованию месторождений, и отрицательными, приводящими к их уничтожению или препятствующими образованию повышенных концентраций рудной минерализации.

На основе обобщения данных о закономерностях размещения оруденения,

рассмотренных контролирующих его факторах и поисковых признаках определяются критерии прогнозирования месторождений конкретных промышленных или формационных типов. Выявление металлогенических факторов требует всестороннего анализа имеющихся материалов, знания самих факторов и их сочетаний.

Другое, современное направление, связано с выполнением различных видов геоинформационного моделирования с созданием моделей разноранговых металлогенических объектов – провинций, субпровинций, поясов, мегазон, зон, рудных районов и узлов. Тесно связано с геоинформационными системами цифровое картографирование, т.е. создание карт на основе геореляционных банков данных.

Прогнозно-геохимическая карта будет сопровождаться мелкомасштабной обзорной схемой металлогенического районирования (или структурно-металлогенической схемой), представляющей, к примеру, схематизированную уран-редкометалльную металлогеническую модель территории Узбекистана.

Базовые элементы структуры поисково-оценочного моделирования редкометаллоносных процессов. Разработка моделей литофильноредкометалльного оруденения и критериев его поисков ранее в республике не проводилась. Подобные модели разрабатывались преимущественно для профилирующих в Узбекистане медно-молибденовых (с золотом), собственно золоторудных, вольфрамовых, некоторых урановых и свинцово-цинковых месторождений. Отдельные этапы моделирования хода процессов сложного фтор-редкометалльного оруденения проведены на ряде гранитных объектов Восточного Узбекистана – Баркрак, Саргардон.

Природа редкометалльных (Ta, Nb, Be, Li, Rb, Cs) пегматитовых жил определена становлением, кристаллизационной дифференциацией и позднемагматическими преобразованиями конкретной или более глубокой скрытой гранитоидной интрузии. Это делает объективно необходимым принятие объемной интрузивно-магматической модели как базовой для разработок поисково-оценочных критериев прогнозирования редкометалльного литофильного апогранитового и пегматитового оруденения в Узбекистане, как в редкометалльных концентрах, так и в границах Главного Тянь-Шаньского редкометалльного пояса.

Принципы геолого-генетического моделирования. Основной вопрос начальной стадии всякого тематического геологического исследования – выявление и постановка геологической задачи. Сведения, необходимые для этих целей, можно получить разными способами, а сама задача может оказаться как очень узкой и четко сформулированной, так и весьма широко и, часто, расплывчато поставленной.

В простейшей форме модель может быть утверждением, рисунком или диаграммой, что позволит более наглядно представить наблюдаемые геологические факты или выявить зависимости между изучаемыми вещественными характеристиками.

При решении некоторых геологических задач можно воспользоваться разными подходами, при которых граничные условия и параметры выбираются в соответствии с принятой методикой работ или особенностями результатов наблюдений. Такой подход, естественно, приводит к *детерминированным моделям*, предсказание на основании которых (в частности, причин рудообразования), оказывается точным, если модель верна.

Требования, которым должна удовлетворять геолого-генетическая модель, могут быть как общими, так и специфичными, но при этом универсальными, или, если говорить о проектировании геологических исследований, унифицированными, объединенными в базовый тематический блок как расчетную структурообразующую единицу проекта, придающую ему целостность, технологическую гибкость и свободу в выборе процедур организации исследований (особенно при их расширении).

Минерально-индикаторные признаки, эндогенная и экзогенная зональности редкометалльного оруденения. Оценка геохимических и минералого-технологических исследований редкометаллоносности территории республики в методическом отношении охватывает ряд самостоятельных задач, из которых главными являются две. Это выделение: 1) потенциально перспективных на литофильные редкие элементы интрузий апогранитового типа (нормального ряда) и 2) продуктивных пегматитовых тантал-редкометалльных полей, участков и жил в интрузивных камерах, их окружающей оболочке и амагматичных зонах (тип удаленных пегматитов).

Решение первой задачи предусматривает совершенствование различных минералого-геохимических критериев.

При получении благоприятных для оруденения минералого-геохимических показателей особая роль должна быть отведена поискам невоскрытых гранитных куполов-сателлитов в породах рамы потенциально рудоносной гранитной интрузии – главным образом, методами изучения гравиметрических и геохимических полей. При этом следует учитывать особенности распределения тантал-ниобиевой минерализации, практически не распространяющейся во вмещающие граниты карбонатные, сланцевые и др. породы и их ксенолиты (Маракушев и др., 1983).

С другой стороны, по ряду крупных гранитных пегматитовых полей совершенно отчетливо устанавливается строгая пространственная связь

редкометалльных жил с определенными породами повышенной основности, особенно с содержащими амфибол, которые явно благотворно влияют на возникновение промышленного редкометалльного оруденения в жилах.

Наиболее богатое и высококачественное танталовое оруденение ($Ta/Nb > 2$) приурочено обычно к апикальным участкам пегматитовых полей и танталоносных гранитных интрузий, являющихся сами по себе продуктами наиболее глубокой (по сравнению с другими месторождениями) дифференциации редкометалльных гранитных магм.

Глубина формирования танталоносных гранитных интрузий – 0,5-3 км (чаще 1-2 км), тогда как для большинства гранитных пегматитов, которые завершают на более глубоких уровнях формирование редкометалльных гранитных комплексов, это уже 3,5-6 км.

Н.А. Солодов и др. (1987) считают, что рудные тела редкометалльных пегматитов сходного парагенетического типа обладают и близкой морфологией, которая по отношению протяженности к мощности жил колеблется, м: микроклиновые пегматиты (линзы, реже, жилы) – 5-10; Анализ петро- и минералогических коллекций позволил определить рабочие структурно-парагенетические комплексы для дальнейшего изучения пегматитовых редкометалльных жил и зон применительно к объектам Наука, Баянкара, Сулатсай, Кочкарбулак, Гатча, Кетменчи и др. (принимая во внимание и мировые разработки по классическим типам апогранитовых и пегматитовых месторождений; Солодов и др., 1987):

Минералого-геохимические особенности процесса минералообразования на фоне изменения его кислотности-основности, щелочности, температуры и давления находят ясное отражение в составах породообразующих, рудных, второстепенных (сопутствующих) и аксессуарных минералов редкометалльных гранитов и пегматитов, определяя их типоморфные индикаторные свойства как поисково-оценочные критерии (Гинзбург, 1980, Руб и др., 1988). Рассмотрим их подробнее.

Корообразование противоположно воздействует на литиевые руды, главным образом сподуменовые, особенно на участках локального интенсивного пострудного трещинного преобразования и обводнения. Проникновение на таких участках продуктов коровых изменений (каолинит, гидрослюда) в залежи сподуменовых руд, на примере Наукинского пегматитового поля, может достигнуть глубин 20 м и более, а в слабо обводненных – 1-6 м.

Менее подвержен влиянию зоны окисления берилл, сохраняя, большей частью, первичную огранку и чистоту поверхности. Однако, по данным микроисследований бериллов объектов Наука и Сулатсай, в теле их кристаллов

повсеместно проявлена плотная микросеточка лейцитовидных выделений мусковитовых слюд.

Таким образом, использование минералого-геохимических критериев и признаков применительно к конкретным редкометалльным объектам формирует главное условие оперативной и достоверной оценки перспектив известных, разведываемых и открываемых месторождений литофильных редких элементов.

В обычных условиях узлового и линейного многокорневого редкометалльного рудного узла, поля, площади обычно проводится (первоначальное в рамках анализа и систематизации информации) уточнение их положения в региональной структуре, определение формационно-генетических особенностей минерализации в увязке с общей металлогенической характеристикой рудного района (региона).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практика комплексной отработки, минералоготехнологические исследования и сохранность литофильно-редкометалльных руд. Особая роль редких металлов в различных вариантах решения проблемы комплексного освоения и использовании минерально-сырьевых ресурсов и отходов производства определяется их повышенной ценностью – как абсолютной, так и относительной, т. е. преобладающей долей в извлекаемой ценности исходного и техногенного сырья. Поэтому для решения проблемы комплексной переработки и использования сырья, содержащего редкие металлы, необходимо организовать:

1) профилирующее производство минеральной редкометалльной продукции и сопутствующей

нерудной – полевошпатовой, кварцевой, слюдяной, карбонатной и др.;

2) профилирующее производство минеральной нерудной продукции и сопутствующей – редкометалльной;

3) комплексные горно- и химикометаллургические производства широкого ассортимента минеральной, металлургической и химической продукции, включая получение редких металлов, их сплавов, новых материалов и др.

В случае решения проблемы комплексного освоения и использования сырьевых ресурсов, в республике появятся возможности эффективно использовать его для реформирования сложившейся экстенсивной системы деятельности горно-геологической отрасли на интенсивную в соответствии с современной мировой практикой. Только сосредоточение в кластере акционерных компаний, осуществляющих добычу, обогащение и глубокую переработку природного минерального и техногенного сырья, эксплуатируемых, неосвоенных сопутствующих и потенциально перспективных месторождений по каждому рудному району, позволит извлекать из недр весь комплекс полезных ископаемых и выпускать широкий ассортимент конечной, а не минерально-сырьевой продукции.

В масштабе Узбекистана законодательное и инновационно-производственное решение проблемы комплексного освоения и использования сырьевых ресурсов может и должно получить статус одной из важнейших реформ, обеспечивающих более эффективное структурирование и повышение ВВП.

METHODOLOGY OF RESEARCH ON RARE METAL-BEARING PROCESSES

U.X.Oktamov¹, O.O.Shodmonov², S.I.Shanazarov³

¹ *Head of the Department of the State Geological Fund at the State Institution "Центр недропользования"*

² *Senior Lecturer of Tashkent State Technical University*

³ *Lecturer at the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek*

ABSTRACT

This article provides a comprehensive overview of the formation conditions of rare metals, their unique characteristics in these conditions, and what specific aspects require attention when studying their formation. It also covers general concepts about direct indicators that can be observed during exploration work and offers detailed guidelines on these topics.

KEYWORDS

Rare metals: their formation conditions, distinctive properties, exploration indicators, variability, and metallogenic, tectonic-structural, and petrographic factors.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахмедов Н.А., Ежков Ю.Б., Турамуратов И.Б., Панасюченко В.К. Рудно-формационные типы литофильно-редкометалльных месторождений Западного Тянь-Шаня // Прикладная геохимия. Вып. 7, кн. 2. М.; ИМГРЭ, 2005. С. 92-105.

2. Постановления Президента Республики Узбекистан № ПП-568 от 17 января 2007 г. и № 1396 от 27 августа 2010 г.

3. Международное энергетическое агентство. "Critical Minerals and the Energy Transition", IEA, 2021.
 4. US Geological Survey. "Rare Earth Elements", 2022.

About authors:

Oktamov Umarjon Xusan o'g'li	–	<i>Head of the Department of the State Geological Fund at the State Institution "Центр недропользования", Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulug'bek district, Olmazor str. 46.</i>
		<i>ORCID 0009-0001-4815-6405, g-mail: umarjonoktamov1993@gmail.com</i>
Shodmonov Oydin Odilovich	–	<i>Senior Lecturer at Tashkent State Technical University named after I. Karimov, 100095, Uzbekistan, Tashkent, Almazar district, University str. 2.</i>
		<i>ORCID 0000-0002-2470-1982, g-mail: shodmonovoydinxoja@gmail.com</i>
Shanazarov Sunnat Ixtiyor o'g'li	–	<i>Lecturer at the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek 100095, Uzbekistan, Tashkent, Almazar district, University.</i>
		<i>ORCID 0000-0001-7887-0717, g-mail: sunnatshanazarov007@gmail.com</i>

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА МЕДЫ ИЗ ТАДЖИКИСТАНА

Х.Ш. Рахимзода¹, Б.Б. Эшов¹, С.Б. Мирзажанова², А.Б. Бадалов³, О.Осими⁴

¹ *ЦИИТ Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан*

² *Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан*

³ *Таджикский технический университет им. М. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан*

⁴ *Таджикский горно-металлургический институт*

Doi: 10.5281/zenodo.18092769

АННОТАЦИЯ

Учитывая обилие запасов металлической меди на территории Республики Таджикистан, их добыча, переработка и эффективное использование имеет большое значение для развития экономики республики.

Следует отметить, что Стратегией промышленного развития Республики Таджикистан на период до 2030 года, отраслевыми программами, в том числе Программой развития цветной и черной металлургии в Республике Таджикистан на период до 2025 года, являются в настоящее время внедряется в промышленность страны. Эти программы способствуют увеличению объемов производства, обеспечению его конкурентоспособности, созданию новых предприятий и цехов с созданием рабочих мест и решению социальных задач государства, закладывают основу для перехода экономики страны от сырьевой формы производства материалы производителю конечной продукции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Четвёртая стратегическая задача РТ, медь, развития экономики республики, мировое производство меди, стабилизации рынка, перспективы производства медного концентрата

ВВЕДЕНИЕ

В целом мировой рынок меди в последние годы продолжал ориентироваться на китайский спрос, рост которого замедлился, но все же продолжал оставаться значительно выше общемирового

Согласно отчету о мировом рынке меди за 2024 год, подготовленному The Business Research Company, размер рынка меди за последние годы сильно вырос. Он вырастет со 166,25 млрд долларов в 2023 году до 179,84 млрд долларов в 2024 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 8,2%. Рост в исторический период можно отнести к электротехнической и электронной промышленности, строительному сектору, производству промышленного оборудования, автомобилестроению, развитию инфраструктуры [1].

Ожидается, что в ближайшие несколько лет объем рынка меди будет стремительно расти. В 2028 году он вырастет до \$ 240, 52 млрд при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 7,5 % [1,2].

Следовательно, растет заинтересованность главных потребителей меди в поставках рафинированного металла. При этом наблюдается тенденция к диверсификации этих поставок - их направления расширяются, подключаются все новые страны.

В настоящее время основными сырьевыми источниками для производства меди являются руды, концентраты и штейны, огарки, металлическое вторичное сырье. В зависимости от формы нахождения меди в рудах их разделяют на сульфидные, окисленные и смешанные. По характеру пустой породы руды делят на основные, содержащие оксиды кальция, магния и других

металлов, и кислые, включающие глинозем, кремнезем. При содержании меди менее 0,4-43,5% руды считаются забалансовыми [3]. Переработка и производство меди в условиях Республики Таджикистан является одним из основных и

актуальных вопросов, поскольку на территории страны имеется большое количество месторождений меди. Невозможно представить развитие новой науки и техники без использования меди..

Структура потребления меди по отраслям



Рис. 1. Структура потребления меди по отраслям

Самый распространенный тип золотосодержащих руд - медистые руды. Этот вид минерала сейчас добывается на рудниках ООО «Зарафшан» (Таджикистан). Присутствие минералов меди сильно осложняет процесс цианирования, повышая расход цианида и снижая извлечение золота. Однако при выборе технологической схемы переработки медистой золотосодержащей руды следует учитывать также и то, что в определенных случаях попутное извлечение меди может представлять практический интерес [4].

В состав золотых руд медь может входить как в виде сульфидных, так и в виде окисленных минералов. Если основная масса меди в руде присутствует в форме сульфидных минералов (халькопирит, борнит, халькозин и др.), то наиболее простой и рациональный способ обработки такой руды - флотационное обогащение. В результате флотации получают золотомедный концентрат, который отправляют на медеплавильный завод. Хвосты флотации в зависимости от содержания в них золота цианируют или направляют в отвал [5].

Металлургическое производство базируется на двух главных технологических направлениях - пирометаллургии, т.е. высокотемпературных огневых процессах и гидрометаллургии, т.е. процессах, основанных на использовании химии растворов и электролитов [6].

Пирометаллургические технологии получения меди, наиболее распространенные в настоящее время, оказываются более затратными в виду высокого расхода энергоресурсов - капитальные затраты по переделам плавки и рафинирования составляют от 3000 до 5000 \$ США на 1 т меди [7].

Следует отметить, что Стратегией промышленного развития Республики Таджикистан на период до 2030 года, отраслевыми

программами, в том числе Программой развития цветной и черной металлургии в Республике Таджикистан на период до 2025 года, являются в настоящее время внедряется в промышленность страны. Эти программы способствуют увеличению объемов производства, обеспечению его конкурентоспособности, созданию новых предприятий и цехов с созданием рабочих мест и решению социальных задач государства, закладывают основу для перехода экономики страны от сырьевой формы производства. материалы производителю конечной продукции.

В 2023 году в Таджикистане в сфере добычи полезных ископаемых и драгоценных металлов начало работать огромное промышленное предприятие с самыми современными мировыми технологиями – Совместное предприятие «Зарафшан». Производственные линии совместного предприятия «Зарафшан» не имеют аналогов в регионе и по международным оценкам отвечают требованиям «зеленой экономики». Предприятие, занятое производством меди катодного стандарта, имеет возможность перерабатывать 165 тысяч тонн концентрата с медью и золотом, производить из него высококачественную конечную продукцию.

Было сообщено, что из этого количества перерабатываемого концентрата в первую очередь производится 4,5 тысячи тонн катодной меди, а также определенное количество золота и серебра.

Следует отметить, что до настоящего времени порошок концентрата с медью как сырье экспортировался в другие государства для доведения до конечной продукции.

Медеплавильное предприятие компании «Зарафшан» создано с учётом самых современных мировых технологий, его производственные линии уникальны в регионе и, по международным

оценкам, соответствуют требованиям «зелёной» экономики.

Еще одним преимуществом этой технологии является то, что в одном цеху медь отделяется от золота. Этот опыт реализован впервые в мировой металлургической отрасли, и этот процесс имеет множество преимуществ с экологической точки зрения.

Также в процессе обработки порошок, содержащий медь, золото и серебро, нагревают в автоклаве со сжатым кислородом при температуре до 220 градусов, таким образом вредные для окружающей среды вещества, в том числе МИШ-1 (мышьяк) и сера естественным образом нейтрализуются. Данная технология в Таджикистане была применена впервые.

Это крупное промышленное предприятие состоит из 9 цехов, в том числе цехов по переработке целлюлозы, производства меди, известняка, цеха по предварительному окислению, цеха по выщелачиванию под давлением кислорода, цеха по электронизации меди, а также котельной, цеха водоснабжения, компрессорной станции воздуха и чистой воды.

Наряду с этим при предприятии с учётом современных технологий создан отдельный цех вторичной переработки, где перерабатывается сырьё, отходы используются заново для производства конечной продукции, что даёт возможность переработки сырья полностью. Полный процесс производства контролируется из

административно-управленческого здания посредством современных аппаратов и камер.

Следует сказать, что в прошлом цианид содержащие отходы долгое время оставались на заводе как вредные отходы, а открытие нового цеха устранило эту проблему. Таким образом, с открытием этого цеха все возможные воздействия на экологию были устранены.

Адсорбционная кислородная база также играет важную роль в завершении производственного цикла в обществе, а технология, установленная в цехе, позволяет снабжать автоклавную систему сжатым кислородом.

На Рисунке 2 показана перспектива производства концентрата и меди на 2019-2025 годы. Согласно представленной на рисунке перспективе, объём производства медного концентрата в ближайшие пять лет, 2019-2025 годы, будет увеличен с 44,6 до 57,1 тыс. тонн, что позволит увеличить производство почти в 1 раз. Также объём производства металлической сурьмы в ближайшие пять лет, 2020-2025 годы, будет увеличен с 2,3 (2023) до 3,1 тысяча тонн, что позволит увеличить производство почти в 1 раз [8]. Насколько известно, производство металлической меди в стране начнется не раньше 2023 года, а переработка начнется с 2023 года, что является первым шагом на пути развития меднодобывающей отрасли к конечному продукту.

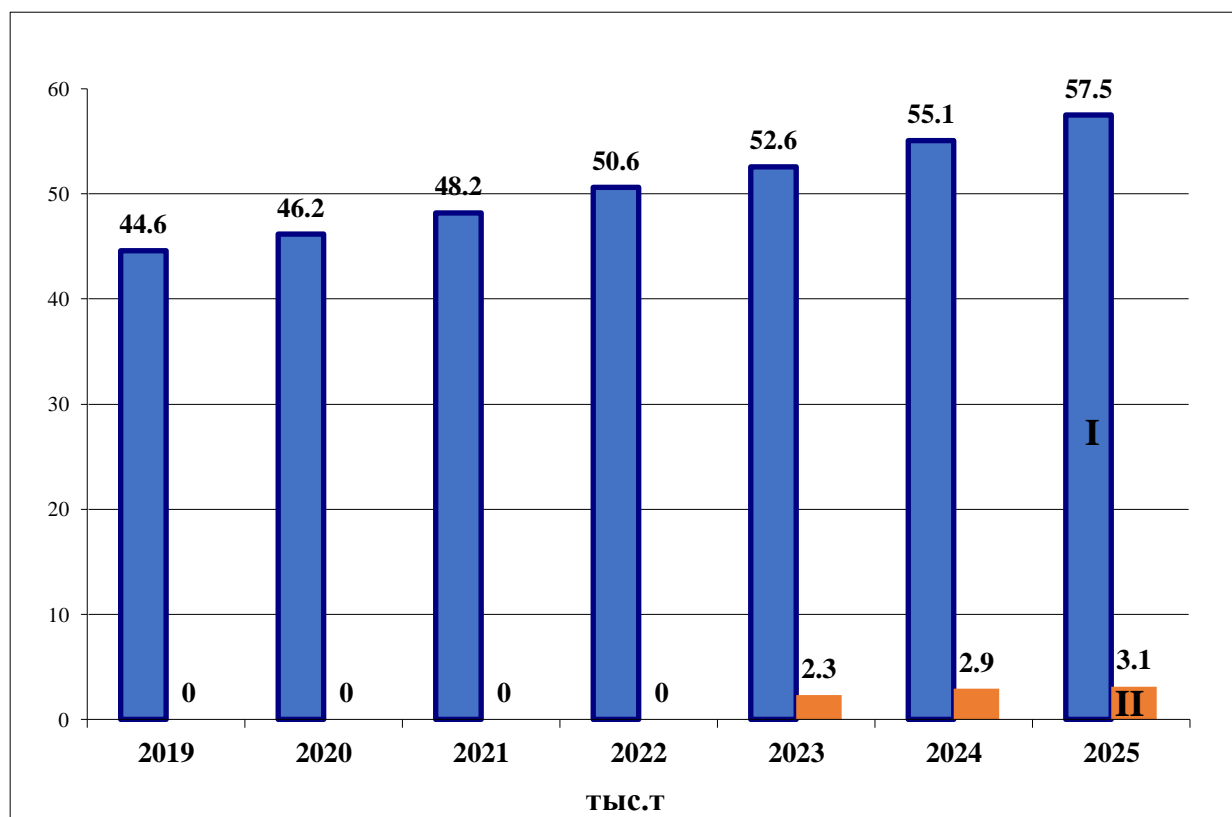


Рис. 2. Перспективы производства медного концентрата-«I» и металлической сурьмы-«II» в 2020-2025 годах показаны согласно программе индустриализации Республики Таджикистан

Проектируемая обогатительная фабрика СП «Зерафшан» было создано в 1994 году на базе бывшего Таджикского золоторудного комбината. Семьдесят пять процентов акций принадлежало британской компании «Commonwealth & British Mineral Co.Ltd», двадцать пять - правительству Таджикистана. В июле 2007 г. гонконгская золотодобывающая компания «Zijin Mining Group» объявила о своем намерении приобрести дочернее предприятие Лондонской фирмы «Avocet Mining Plc», которой принадлежат права на проведение разведывательных работ по добыче золота на территории Таджикистана и которая находится на грани банкротство. «ZiJin Mining Group Co.Ltd» является одной из крупных китайских золотодобывающих компаний.

Компания «ZiJin Mining Group Co.Ltd» имеет большой опыт в разработке золотосодержащих руд с низким содержанием золота, а также в разработке специальной технологии для работы на таких месторождениях. Компания «ZiJin Mining Group Co.Ltd» Китайская Народная Республика является одним из основных производителей меди в мире и в настоящее время занимается производством меди в Таджикистане. Медедобывающая компания также вошла в десятку крупнейших производителей меди в мире в 2025 году.

Совместное предприятие «Зарафшан» в настоящее время осуществляет разработку месторождений «Таррор», «Джилав», «Олимпиаки», «Хирсхона», известнякового месторождения «Дахани мазор», песка и гравия «Могиён дарё». Для производства меди катодного стандарта используется концентрат месторождения «Таррор», его запасов достаточно для бесперебойной и эффективной работы. Геологоразведочные работы по поиску новых источников сырья будут проводиться с привлечением специалистов. В будущем также будет импортировано сырье для переработки из других месторождений на территории республики и за рубежом.

Золоторудное месторождение «Тарор» расположено на южном склоне Зеравшанского хребта на северо-западе Таджикистана, в 290 км от столицы страны города Душанбе, 300 км от областного центра города Худжанда и 30 км от районного центра города Пенджикента и площадь месторождения относится к Пенджикентскому району.

Химический состав золотосодержащих руд во многом предопределяет её металлургическую ценность. Она определяет содержание в ней основного компонента, а также полезных, вредных и шлакообразующих примесей.

Таблица 1

Химический состав

Компоненты	Состав породы				
	Амфиболы, серпентин, доломит		Пироксены, амфиболы, тальк, серпентин, кварц	Кварц, доломит	
	«от»-«до»			«от»-«до»	
SiO ₂	40,74	52,95	50,52	39,81	36,32
Al ₂ O ₃	2,47	1,04	0,86	1,18	1,38
Fe ₂ O ₃	6,07	3,28	3,13	2,24	1,6
FeO	3,88	2,8	1,65	1,94	2,33
MnO	0,15	0,16	0,07	0,12	0,14
MgO	30,58	24	23,85	11,95	8,45
CaO	3,43	7,71	8,27	20,91	23,56
Na ₂ O	0,12	0,11	0,14	0,02	0,13
K ₂ O	0,48	0,04	0,04	0,11	0,06
n.n.n	9,58	7,68	10,12	19,12	24,82
H ₂ O ⁺	0,40	0,28	0,16	0,18	0,24
H ₂ O ⁻	6,30	1,4	0,62	0,98	--
SO ₃	1,57	--	0,99	2,11	0,93
P ₂ O ₅	Сл	0,02	Сл	0,03	0,03
F	0,49	0,18	0,46	0,1	0,06
Сумма	99,43	99,79	99,68	99,54	99,8

По фазовому анализу значительная часть меди находится в виде хризоколлы CuSiO₃·nH₂O (связанная окисленная) и малахита Cu₂[(OH)₂CO₃], азурита, куприта Cu₂O, тенорита CuO, брошантита Cu₄ [(OH)₆SO₄] (свободная окисленная). Сера

присутствует в основном в окисленной форме. В результате анализа установлено, что количество меди в соединениях рудника Таррор присутствует, и перспектива ее переработки выгодна.

Таблица 2.

Химический состав руды Тарорского месторождения

Наименование компонентов	Содержание, %	Примечание
Медь	0,77	Спектральный анализ
Мышьяк	1,49	то же
Свинец	0,03	то же
Цинк	Не обн.	то же
Кадмий	Не обн.	то же
Сера	1,99	то же
Окись кремния	41,6	то же
Окись кальция	15,31	то же
Окись магния	14,52	то же
Железо окисное	4,0	то же
Железо закисное	4,14	то же
Трехокись алюминия	2,92	то же
Окись марганца	0,12	то же
Окись титана	0,2	то же
Окись калия	0,5	то же
Окись натрия	0,1	то же
Пятиокись фосфора	0,03	то же
Легучие	11,9	то же
Золото	4,2 г/т	Пробирный анализ
Серебро	20,1 г/т	Пробирный анализ

Следует отметить, что, помимо СП «Зерафшан», в районе Айнинского района в сфере добычи золота работает компания ООО «ТВЕА Душанбе саноати кухи». Согласно проведенному анализу, в составе золота и серебра компании ООО «ТВЕА Душанбе саноати кухи» имеется большое количество соединений меди, которые также весьма эффективны при их переработке.

Общая площадь предприятия ООО «ТВЕА Душанбе саноати кухи» составляет 1200 га. Рудный концентрат добывается из месторождений «Кумарги Боло» и «Дуобаи Шарки». Месторождение «Кумарги Боло» находится на высоте около 4000 метров, а месторождение Дуобаи Шарки – на высоте 2300 метров над уровнем моря.

Для добычи и переработки руды в месторождении «Кумарги Боло» внедрен комплексный гидрометаллургический процесс,

установлена современная технология автоматического литья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях Республики Таджикистан исследования в области медной металлургии имеют особое значение для успешного осуществления стратегической цели индустриализации нашей страны – перехода от аграрного государства к индустриально-аграрному. Наличие богатых природных ресурсов и многоэлементных месторождений полезных ископаемых, относительно недорогой и доступного источника электроэнергии являются надежной основой для развития металлургической промышленности нашего государства.

TOJKISTONDA MIS ISHLAB CHIQRISH ISTIQBOLLARI

X.Sh. Raximzoda¹, B.B. Eshov¹, S.B. Mirzajonova², A.B. Badalov³, O. Osimi⁴

¹Tojikiston Fanlar Akademiyasi Milliy Axborot va Innovatsion Texnologiyalar Markazi, Dushanbe, Tojikiston Respublikasi

²Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

³M. Osimi nomidagi Tojik texnika universiteti, Dushanbe, Tojikiston Respublikasi

⁴Tojikiston kon-metallurgiya instituti

ANNOTATSIYA Tojikiston Respublikasining hududida metall misning katta zahiralari mavjudligini hisobga olgan holda, uni qazib olish, qayta ishlash va samarali foydalanish respublika iqtisodiyotini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, Tojikiston Respublikasining 2030-yilgacha bo'lgan sanoat rivojlantirish strategiyasi, shuningdek 2025-yilgacha bo'lgan rangli va qora metallurgiyani rivojlantirish dasturi hozirda mamlakat sanoatida joriy etilmoqda. Ushbu dasturlar ishlab

chiqarish hajmini oshirishga, uning raqobatbardoshligini ta'minlashga, yangi korxonalar va sexlar tashkil etish orqali ish o'rinlari yaratishga, ijtimoiy masalalarni hal etishga xizmat qiladi hamda mamlakat iqtisodiyotini xomashyo yetkazib berishdan tayyor mahsulot ishlab chiqarishga o'tishiga zamin yaratadi.

KALIT SO'ZLAR Tojikiston Respublikasining to'rtinchi strategik vazifasi, mis, respublika iqtisodiyotini rivojlantirish, dunyo mis ishlab chiqarishi, bozorni barqarorlashtirish, mis kontsentratini ishlab chiqarish istiqbollari

PROSPECTS FOR COPPER PRODUCTION IN TAJIKISTAN

Kh.Sh. Rahimzoda¹, B.B. Eshov¹, S.B. Mirzajonova², A.B. Badalov³, O. Osimi⁴

¹*Center for Information and Innovation Technologies, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan*

²*Tashkent State Technical University, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

³*M. Osimi Tajik Technical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan*

⁴*Tajik Mining and Metallurgical Institute, Republic of Tajikistan*

ABSTRACT

Considering the abundance of metallic honey reserves on the territory of the Republic of Tajikistan, their extraction, processing and efficient use are of great importance for the development of the republic's economy. It should be noted that the Industrial Development Strategy of the Republic of Tajikistan for the period until 2030, industry programs, including the Program for the Development of Non-ferrous and Ferrous Metallurgy in the Republic of Tajikistan for the period until 2025, are currently being implemented in the country's industry. These programs help increase production volumes, ensure its competitiveness, create new enterprises and workshops with the creation of jobs and solve the social problems of the state, lay the foundation for the transition of the country's economy from the raw material form of production to the manufacturer of final products.

KEYWORDS

The fourth strategic task of the Republic of Tatarstan, copper, economic development of the republic, global honey production, market stabilization, prospects for the production of copper concentrate.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мировой рынок меди: добыча руды, производство, потребление, мировые цены на медь [Электронный ресурс] // EXPORT.RU мировая экономика [сайт]. - Режим доступа: <http://www.ereport.ru/articles/commod/copper.htm>
2. Металлические полезные ископаемые Беларуси [Электронный ресурс] // Мир знаний [сайт]. - Режим доступа:
3. Бодуэн, А.Я. Попутное извлечение редких микроэлементов при комплексной переработке сульфидных медных руд / А.Я. Бодуэн, Г.В. Петров, А.Ю. Спыну, И.И. Мардарь // *Металлург.* - 2014. - №1. - С. 83-85
4. Стрижко Л.С., Бобохонов Б.А., Бобоев И.Р. Исследование и разработка технологии извлечения золота из окисленных руд одного из крупнейших месторождений Таджикистана // *Цветные металлы.* - 2012 - № 7. - С. 41-44.
5. Бобохонов Б.А., Рабиев Б.Р., Бобоев И.Р. СП «Зарафшон»: технологии переработки золотосодержащих руд // *Горный журнал. Специальный выпуск.* - 2012. - С. 46-50.
6. Петров, Г.В. Исследование аммиачного автоклавного выщелачивания некондиционного медного концентрата, содержащего серебро и рений / Г.В. Петров, А.Я. Бодуэн, Б.С. Иванов, М.А. Серебряков // *Цветные металлы.* - 2016. - №10. - С.23-28
7. Алтушкин, И.А. Инновации в металлургии меди на примере реализации проекта реконструкции ЗАО «Карабашмедь» / И.А. Алтушкин, Ю.А. Король, А.Н. Голов // *Цветные металлы.* - 2012. - №8. - С.25-34
8. Программа ускоренной индустриализации Республики Таджикистан на 2020-2025 годы. Душанбе-2020, № 293, 65 с.

Information about authors:

Rahimzoda – Leading Researcher, Laboratory of Materials Science, Center for Innovative Technology Research, National Academy of Sciences of Tajikistan.
Khayot Shifokul E-mail: hayotrahimi95@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6246-2917>

Eshov Bakhtier Badalovich	– Doctor of Technical Sciences, Director of the Center for Innovative Technology Research, National Academy of Sciences of Tajikistan E-mail: ishov1967@mail.ru
Mirzajanova Saodat Bakidjanovna	– Associate Professor, Department of Metallurgy, Tashkent State Technical University. E-mail: sabi30302@gmail.com , ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0375-6415
Badalov Abdulkhayr Badalovich	– Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of General and Inorganic Chemistry, M. Osimi Tajik Technical University, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: badalovab@mail.ru , ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0659-0529
Osimi Okil	– Candidate of Technical Sciences, Head of the Academic Process Department, Tajik Mining and Metallurgical Institute. E-mail: osimiokil@mail.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ ПЕРЕРАБОТАННЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ МЕТОДОМ МОКРОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

С.Р. Худояров, У.М. Халикулов, Ш.А. Мухаметджанова, С.Н. Файзуллаев, В.Б. Хамроев

Филиал НИТУ МИСИС в г.Алматы

Doi: 10.5281/zenodo.18092806

АННОТАЦИЯ

В работе исследовано мокрое электромагнитное обогащение переработанных сталеплавильных шлаков. Установлено, что оптимальная напряжённость магнитного поля составляет 20 кА/м, обеспечивая селективное извлечение металлического железа и магнетита. Магнитный концентрат содержит 46,9 % Fe, что делает его перспективным железосодержащим компонентом шихты. Повторная сепарация хвостов при 60 кА/м показала низкую эффективность и не приводит к дополнительному извлечению металлического железа. Определена целесообразность одностадийного мокрого электромагнитного обогащения при оптимизированных параметрах поля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сталеплавильные шлаки, магнитная сепарация, электромагнитное обогащение, железный концентрат.

ВВЕДЕНИЕ

Рост объемов выпуска стали сопровождается увеличением количества сталеплавильных шлаков, представляющих собой техногенное сырьё со значительной долей металлосодержащих компонентов. Эффективная переработка и вовлечение этих отходов в хозяйственный оборот является актуальной задачей современной металлургии, обусловленной необходимостью снижения ресурсной нагрузки, повышения экономической эффективности производства и уменьшения экологического воздействия [1].

Сталеплавильные шлаки после первичной переработки содержат заметные количества металлического железа, железистых соединений и неметаллических минералов, различающихся по магнитным свойствам. Так переработанные сталеплавильные шлаки представляют собой конгломераты (рис.1), в которых в тесной ассоциации находятся все компоненты шлаков:

$Fe_{мет.}$, FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Al_2O_3 , MgO , MnO , CaO , SiO_2 . Это делает их перспективным объектом для технологий магнитного обогащения. Среди таких технологий мокрое электромагнитное обогащение занимает особое место благодаря способности эффективно разделять частицы с близкими физико-механическими характеристиками и работать с мелкодисперсными фракциями, не поддающимися сухому разделению [2].

Объекты и методика исследования. В качестве объектов исследования были выбраны переработанные сталеплавильные шлаки электросталеплавильного производства, содержащие железосодержащие включения различной природы, как металлические частицы, оксидные соединения типа, а также немагнитную минеральную матрицу сложного состава. Материал характеризуется значительной неоднородностью фаз, различиями в магнитных свойствах и присутствием устойчивых

минеральных ассоциаций, затрудняющих эффективное разделение компонентов.

Поскольку разделение компонентов шлака с использованием методов мокрой электромагнитной сепарации возможно только при достаточной степени раскрытия минеральных агрегатов, переработанные шлаки предварительно подвергались механическому измельчению [3]. С

этой целью переработанные сталеплавильные шлаки измельчались с определением гранулометрического состава и содержания магнитной фазы в каждой фракции. Результаты исследования гранулометрического состава исходных переработанных шлаков и шлаков после измельчения приведены в табл. 1 и 2.



Рис. 1. Переработанные сталеплавильные шлаки в шлакоотвале АО «Узметкомбинат»

Таблица 1

Гранулометрический состав сталеплавильных шлаков

Фракция, мм	Выход по фракциям, %
+3	22,43
-3+2,5	9,20
-2,5+2,0	8,60
-2,0+1,5	11,40
-1,5+1,2	6,20
-1,2	42,17
Всего	100

Предварительно измельчённые переработанные сталеплавильные шлаки, содержащие железосодержащий скрап и другие магнитные компоненты, подвергались мокрой электромагнитной сепарации с использованием лабораторного сепаратора марки ПБМ-32/20.

Указанный сепаратор предназначен для мокрого магнитного обогащения сильномагнитных руд и техногенных материалов крупностью 0,1–3 мм [4], что соответствует гранулометрическим характеристикам подготовленных шлаков.

Таблица 2

Гранулометрический состав измельчённых сталеплавильных шлаков с содержанием магнитной фазы в каждой фракции

Класс, мм	Выход, %	Содержание магнитной фракции, %
+2	0,35	34,80
-2+0,5	0,43	68,89
-0,5+0,25	1,82	40,25
-0,25+0,1	44,14	48,76
-0,1	53,26	1,63
Всего	100	20,96

Подготовленные шлаки подавались в зону разделения в виде пульпы с гидромодулем Ж:Т=2:1. Пульпа равномерным слоем поступала в ванну сепаратора, движущуюся в направлении,

совпадающем с вращением магнитного барабана. Из ванны поток материала самотёком переходил в область действия магнитной системы. Под воздействием магнитного поля полюсов барабана

магнитные частицы, присутствующие в измельчённом шлаке, притягивались к его поверхности и транспортировались в разгрузочную зону.

Разгрузка немагнитной фракции осуществлялась через специальное отверстие вкладыша, установленного в насадке ванны. Мелкодисперсные немагнитные частицы, не взаимодействующие с полем, удалялись через переливную трубу в слив [5].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты изучения гранулометрического состава, приведённые в табл. 2, позволили установить, что основное содержание магнитной фазы сосредоточено в классе -0,25+0,1 мм. В связи с этим, переработанные сталеплавильные шлаки перед мокрой электромагнитной сепарацией необходимо подвергать измельчению до класса -0,25 + 0,1 мм.

При загрузке пульпы измельчённых переработанных сталеплавильных шлаков в ванну магнитного сепаратора, частицы транспортируются в зону распределения, которая ограничена областью действия магнитной системы. Немагнитные частицы не притягиваются, создающимся магнитным полем и движутся под барабаном не меняя траекторию движения. Частицы, обладающие магнитными свойствами (Fe_{мет}, Fe₃O₄), притягиваются неоднородным магнитным полем к вращающемуся барабану, транспортируются до края магнитной системы и попадают в свой

приёмник. Применение в магнитных сепараторах неоднородных магнитных полей, позволяет магнитным частицам испытывать кроме силовых линий поля ещё и магнитные силы притяжения, что является причиной втягивания частиц в более интенсивные участки поля.

Для определения необходимой напряжённости магнитного поля, позволяющего добиться селективного разделения магнитных частиц, измельчённых переработанных сталеплавильных шлаков от немагнитных составляющих и максимального извлечения в магнитный концентрат железосодержащего скрапа, содержащегося в переработанных шлаках, были изучены удельные магнитные восприимчивости компонентов шлака. По величине магнитной восприимчивости, компоненты переработанных сталеплавильных шлаков можно разделить на сильномагнитные или ферромагнетики ($\chi > 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$), слабомагнитные или парамагнетики (антиферромагнетики) ($7,5 \cdot 10^{-6} > \chi > 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$), немагнитные ($\chi < 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$) и диамагнитные ($\chi < 0$) [6].

Железосодержащий скрап, содержащийся в переработанных сталеплавильных шлаках, находится в металлической форме и обладает высоким значением удельной магнитной восприимчивости, превышающим показатель удельной магнитной восприимчивости ферромагнетиков. Показатели удельной магнитной восприимчивости компонентов переработанных сталеплавильных шлаков приведены в табл. 3.

Таблица.3

Удельная магнитная восприимчивость компонентов переработанных сталеплавильных шлаков

Компоненты шлака	Удельная магнитная восприимчивость, м ³ /кг	Примечание
FeO	8,8·10 ⁻⁷ – 22,0·10 ⁻⁷	Антиферромагнетик, обладает очень малой магнитной восприимчивостью и ведёт себя как слабый парамагнетик
Fe ₂ O ₃		Антиферромагнетик (слабый ферромагнетик)
Fe ₃ O ₄	5,0·10 ⁻⁴ – 11,72·10 ⁻⁴	Ферромагнетик
Al ₂ O ₃	-0,34·10 ⁻⁶	Диамагнетик
MgO	1,0·10 ⁻⁷ – 5,0·10 ⁻⁷	Немагнитный
MnO	3,0·10 ⁻⁷ – 15,3·10 ⁻⁷	Немагнитный
CaO	0,05·10 ⁻⁷ – 0,38·10 ⁻⁷	Немагнитный
SiO ₂	-0,02·10 ⁻⁷ – 0,1·10 ⁻⁷	Немагнитный

Железосодержащий скрап и сильномагнитные компоненты переработанных сталеплавильных шлаков, можно отделить от слабомагнитных и немагнитных компонентов при слабом магнитном поле с напряжённостью от 20 до 160 кА/м, например при указанной напряжённости магнитного поля, магнитная восприимчивость магнетита составляет 8,0·10⁻⁴ м³/кг.

С целью получения магнитного концентрата с минимальным содержанием слабомагнитных компонентов и максимальным содержанием железного скрапа и магнетита, магнитную сепарацию проводили при показателе напряжённости магнитного поля 20 кА/м. Повышение напряжённости магнитного поля, приводит к образованию флюкул и прядей из тонких частиц сильномагнитных материалов,

которые ориентируются вдоль магнитных силовых линий. Образование магнитных флюкул и прядей оказывает положительное влияние на извлечение тонких частиц, однако при этом снижается качество магнитного концентрата, так как в прядях «запутываются» немагнитные мелкие частицы, трудно удаляемые при сепарации. По этой причине было принято решение о нецелесообразности повышения напряжённости магнитного.

Для определения содержания железа, выделенный магнитный концентрат подвергался спектральному рентгенофлуоресцентному анализу (рис. 2). Содержание железа в магнитном концентрате составило 46,9 %, при содержании Fe_{общ} в исходных переработанных шлаках 20 % и Fe_{мет} 4%. Результаты распределения компонентов переработанных сталеплавильных шлаков по продуктам магнитной сепарации приведены в табл.4.

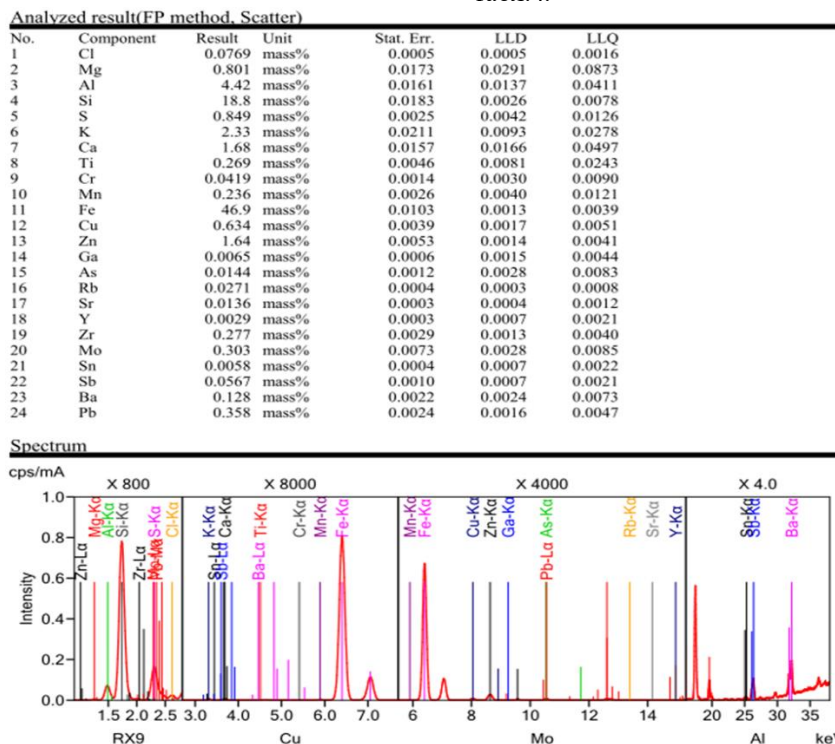


Рис. 2. Результаты спектрального рентгенофлуоресцентного анализа магнитного концентрата

Таблица 4

Распределение компонентов сталеплавильного шлака по продуктам электромагнитного обогащения, при напряжённости магнитного поля 20 кА/м

Наименование продуктов	Количество продукта, г	Выход продукта, %	Содержание Fe _{общ} (% / г)	Содержание Fe _{мет} , (% / г)
Исходный переработанный сталеплавильный шлак	2200	100	20,0 / 440,0	4,0 / 88,0
Магнитный концентрат	195	8,86	46,9 / 91,46	43,85 / 85,5
Хвосты электромагнитного обогащения	2005	91,14	17,38 / 348,5	0,12 / 2,5

Магнитный концентрат с содержанием железа 46,9%, в котором сконцентрированы Fe_{мет} и магнитная форма оксида железа Fe₃O₄, будут использованы в качестве железосодержащего компонента шихты железугольных окатышей, являющимися основным источником сырья для процесса высокотемпературного твёрдофазного восстановления с получением цинкосодержащих возгонов и металлизированных продуктов.

Учитывая высокое содержание железа в хвостах, хвосты повторно подвергались электромагнитному обогащению при напряжённости магнитного поля 60 кА/м (табл.5). Элементный состав магнитного концентрата повторного электромагнитного обогащения приведён на рис.3.

Результаты анализа показали, что содержание железа в магнитном концентрате поднялось на

незначительный показатель и составило 23,8% при исходном содержании 17,38%. При этом в полученном магнитном концентрате, практически отсутствует $Fe_{мет.}$. В магнитный концентрат

перешли сильномагнитные формы железа в виде Fe_3O_4 , а остальные формы железа, обладающие слабомагнитными свойствами (FeO , Fe_2O_3), сконцентрировались в хвостах.

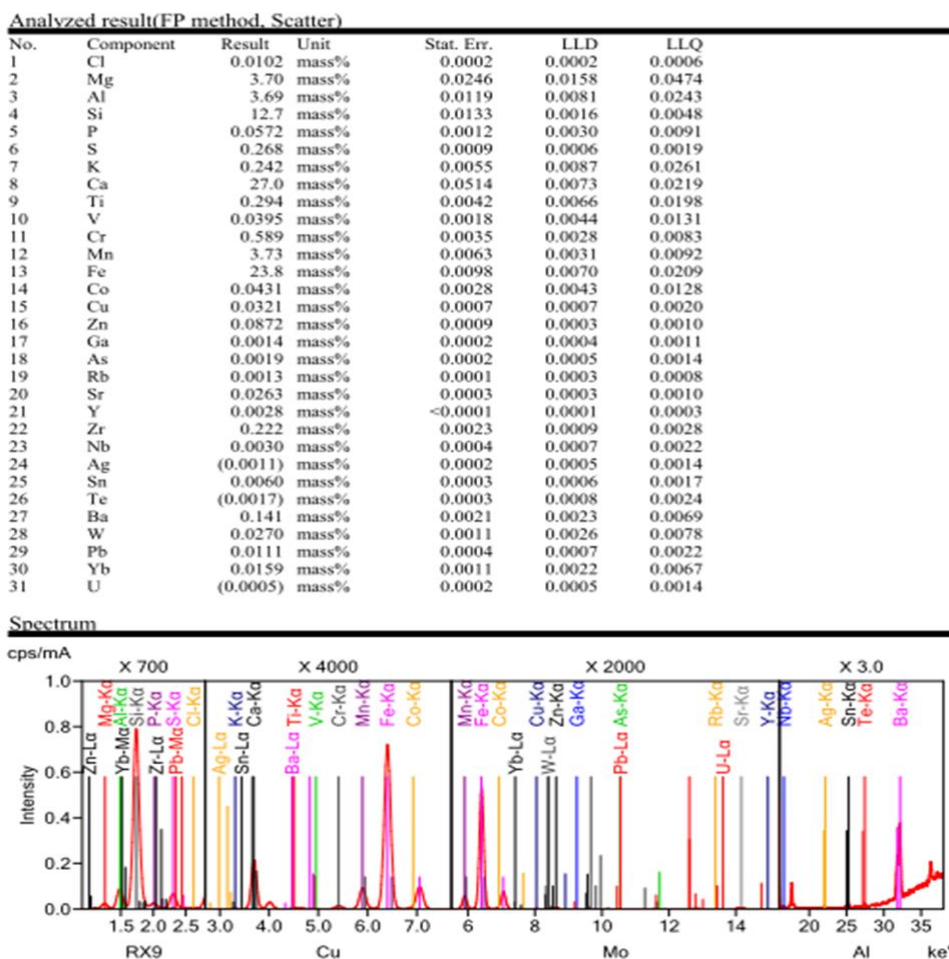


Рис. 3. Результаты спектрального рентгенофлуоресцентного анализа магнитного концентрата, выделенного из хвостов первой магнитной сепарации

Учитывая вышесказанное и основываясь на результатах распределения компонентов, был сделан вывод о том, что повторное

электромагнитное обогащение хвостов электромагнитного обогащения переработанных сталеплавильных шлаков нецелесообразно.

Таблица 5

Распределение компонентов сталеплавильного шлака по продуктам электромагнитного обогащения, при напряжённости магнитного поля 60 кА/м

Наименование продуктов	Количество продукта, г	Выход продукта, %	Содержание $Fe_{общ}$ (% / г)	Содержание $Fe_{мет.}$ (% / г)
Хвосты первого электромагнитного обогащения	2005	100	17,38 / 348,5	0,12 / 2,5
Второй магнитный концентрат	574,4	28,65	23,8/136,7	0,4 / 2,28
Хвосты второго электромагнитного обогащения	1430,6	71,35	14,8/211,8	0,015/0,22

Для отделения из хвостов электромагнитного обогащения оксидов железа, которые будут использованы в качестве твёрдых окислителей при

выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи, хвосты предложено подвергались

гравитационному обогащению на концентрационном столе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведённые исследования мокрого электромагнитного обогащения переработанных сталеплавильных шлаков позволили сформулировать следующие выводы:

1. Наиболее значимые магнитные свойства проявляют металлическое железо и магнетит, концентрация которых максимальна в гранулометрической фракции $-0,25 + 0,1$ мм. Это подтверждает необходимость предварительного измельчения шлаков перед магнитной сепарацией.

2. Оптимальная напряжённость магнитного поля для первичной мокрой электромагнитной сепарации составляет 20 кА/м, обеспечивая селективное извлечение $Fe_{мет}$ и Fe_3O_4 при минимальном переходе слабомагнитных примесей.

3. Полученный магнитный концентрат содержит 46,9 % Fe, что позволяет использовать его в качестве железосодержащего компонента шихты при производстве железугольных окатышей и других металлургических полуфабрикатов.

4. Повторная электромагнитная сепарация при 60 кА/м нецелесообразна, поскольку приводит к незначительному увеличению содержания железа и практически не извлекает металлические формы Fe.

Полученные результаты подтверждают технологическую целесообразность мокрой магнитной сепарации при переработке сталеплавильных шлаков, что обеспечивает рациональное извлечение ценных компонентов и расширяет возможности их повторного использования в металлургическом производстве.

QAYTA ISHLANGAN PO‘LAT ERITISH SHLAKLARIDAN NAM ELEKTROMAGNIT AJRATISH ORQALI TEMIRGA BOY KONTSENTRATLAR OLISH

S.R. Xudoyarov, U.M. Xalikulov, Sh.A. Muxametdjanova, S.N. Fayzullaev, V.B. Xamroev

MISIS Olmaliq filiali, Olmaliq, O‘zbekiston

ANNOTATSIYA Tadqiqotda qayta ishlangan po‘lat shlaklarining nam elektromagnit boyitilishi o‘rganildi. Optimal magnit maydon kuchi 20 kA/m bo‘lib, metall temir va magnetitning tanlab ajralishini ta‘minladi. Olingan magnit kontsentrat tarkibida 46,9 % Fe mavjud. Qoldiqlarni 60 kA/m da qayta boyitish samarasiz bo‘ldi. Natijalar optimallashtirilgan sharoitlarda bir bosqichli nam elektromagnit boyitishning maqsadga muvofiqligini ko‘rsatdi.

KALIT SO‘ZLAR po‘lat shlagi, magnit boyitish, elektromagnit ajratish, temir kontsentrat.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Yusupkhodjayev A.A., Matkarimov S.T., Khudoyarov S.R., Valiyev X.R., Nuraliyev O.U. Use of secondary technogenic formations of ferrous Metallurgy for production of steel // International journal of advanced research in science, engineering and technology. – Vol. 6, Issue 1, January 2019. – pp.7751 – 7754.
2. Худояров С.Р., Якубов М.М., Валиев Х.Р., Холикулов Д.Б., Ёкубов О.М., Мухаметджанова Ш.А. Современное состояние формирования, размещения и переработки техногенных отходов черной металлургии. // Журнал «Композиционные материалы», №2, 2021. - С.119-123.
3. Моршинин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. - М.: Недра, 1983. - С 84-104.
4. Сепаратор ПБМ-32/20. Руководство по эксплуатации. 120СЭ-Д.00.000РЭ. – Санкт-Петербург. – 12 с.
5. Анализаторы вибрационные лабораторные АСВ -120, АСВ -200, АСВ-300. Руководство по эксплуатации. – Санкт-Петербург, 2023. -12 с.
6. Пелевин А.Е. Магнитные и электрические методы обогащения. – Екатеринбург: УГТУ, 2015. – 159 с.

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: https://orcid.org/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: https://orcid.org/0000-0002-6184-6443 e-mail: shoira.muhamet@gmail.com
Faizullaev Sulton Narzullaevich	- Senior Lecturer, 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.
Khamroev Vokhid Bafoevich	- Senior Lecturer, 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. e-mail: Vohid.xamroev@bk.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА ЦИНКА В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ

С.Т. Маткаримов¹, С.Б. Мирзажонов¹, М.И. Сайдирахимова², М.С. Саидова¹,
Г.Б. Бекназарова¹

¹Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

²Учебный центр АГМК

Doi: 10.5281/zenodo.18092828

АННОТАЦИЯ

В статье приведён сравнительный анализ технологических параметров электролиза цинка. Описаны характеристики процесса, при котором электролиз в количестве 480 штук укомплектованы в две серии, по 240 ванн в каждой с плотностью тока 560–610 А/м² и выходом цинка по току 88–91 %. Концентрация цинка в нейтральном электролите составляет 100–135 г/л, а в отработанном 40 – 55 г/л. Применение поверхностно-активных веществ, таких как костный клей, и добавок сурьмы (0,1–0,3 мг/л) обеспечивает получение плотного катодного осадка без дендритов. Использование экстракта солодкового корня способствует снижению выделения сернокислого тумана и повышает экологическую безопасность процесса. Сравнение с зарубежными методами показало, что отечественная технология отличается большей энергоэффективностью и стабильностью работы электролитных ванн.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

электролиза цинка, сравнительный анализ, поверхностно – активных вещества, катод, анод, энергоэффективность, дендриты, плотность тока

ВВЕДЕНИЕ

Цинк является одним из наиболее востребованных цветных металлов современной промышленности. Благодаря высокой коррозионной стойкости, хорошей электропроводности и технологичности, он широко применяется в металлургии, машиностроении, электронике и строительстве. Основная доля цинка расходуется на горячеоцинкование стали, что обеспечивает долговечность и защиту металлических конструкций от коррозии, цинк используется при производстве сплавов. Рост мирового потребления цинка обусловлен развитием автомобильной, строительной и электрохимической отраслей, что требует совершенствования технологий его извлечения и повышения эффективности электролиза.

Цинковый завод введён в эксплуатацию в 1970 году с мощностью до 120 тыс. т цинка в год. Первоначально перерабатывал руды

месторождений Кургашинокан и Алтынтапкан, позднее — привозные концентраты. После запуска ГОК «Хандиза» в 2010 году предприятие вновь использует собственное сырьё. Завод производит металлический цинк, кадмий, серную кислоту и цинковые сплавы [1].

Производство цинка – одно из основных направлений цветной металлургии страны. В 90 – ых годах резко увеличилась конкуренция на рынке цинка. Для сохранения своих позиций перед заводами возникла проблема увеличения производства цинка с улучшением его качества и уменьшением затрат на производство, особенно электроэнергию. Это определило необходимость реконструкции заводов с ориентацией на внедрение современных информационных технологий [2].

Процесс электролиза цинка остаётся одним из ключевых этапов гидрометаллургического производства и постоянно совершенствуется с целью повышения выхода металла и снижения энергозатрат. В ряде работ [3–5] исследовано

влияние параметров электролита — pH, температуры, концентрации и плотности тока — на морфологию осадков и эффективность извлечения. Оптимальные условия, по данным [6], достигаются при pH около 5 и концентрации Zn ≈ 50 г/дм³, обеспечивая эффективность электролиза до 99 %.

Моделирование, выполненное в работе [4], показало, что увеличение температуры раствора до 40 °С способствует ускорению катодных процессов, однако требует оптимизации состава электролита для предотвращения побочных реакций. В исследовании [5] предложено применение некорродирующих катодов (IrOx, PdOx, SnOx), что позволило снизить энергопотребление и увеличить срок службы оборудования по сравнению с традиционными свинцовыми электродами.

Российские и отечественные исследования [6, 7] направлены на оптимизацию технологических параметров электролиза в сульфатных и цинкатных растворах. Они показывают, что эффективность процесса в значительной степени определяется качеством предварительной очистки раствора и стабильностью состава электролита. Моделирование параметров методом имитационного эксперимента [4] позволило предложить пути повышения выхода по току без значительного увеличения расхода электроэнергии.

Современные зарубежные работы [8] концентрируются на снижении энергозатрат за счёт разработки новых анодов и катодов, способных уменьшить перенапряжение реакции выделения кислорода (OER). Эти исследования открывают перспективы для повышения энергоэффективности электролиза цинка и внедрения более экологичных технологий. Таким образом, сравнительный анализ показывает, что развитие процесса электролиза цинка идёт по трём основным направлениям: – совершенствование состава и очистки электролитов; – внедрение новых электродных материалов; – моделирование и автоматизация управления технологическими параметрами. Комплексное применение этих подходов обеспечивает повышение качества катодного цинка, снижение энергозатрат и более полное извлечение металла из различных видов сырья.

Для сопоставления эффективности отечественной технологии электролиза цинка с зарубежными методами был проведен сравнительный анализ производственных параметров. Процесс электролиза цинка на цинковом заводе АГМК осуществляется в электролитных ваннах с использованием нейтрального очищенного электролита, поступающего из цеха выщелачивания. Концентрация компонентов в растворе составляет: Zn – 100-135 г/л, Cu – 0,1 мг/л, Co – 1,2 мг/л, Cd – 2,0 мг/л, Sb – 0,1 мг/л, Fe – 60 мг/л. Содержание восстановителя – 200 – 250 мг/л, плотность

раствора – 1,320 – 1,400 г/см³. Электролит не должен содержать взвешенных частиц, что обеспечивает стабильное прохождение электрического тока и равномерное осаждение металла.

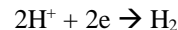
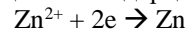
Электролиз цинка осуществляется в 480 электролитных ваннах, разделённых на две серии по 240 единиц. Каждая ванна оборудована легированными серебром (1 %) свинцовыми анодами и алюминиевыми катодами. При прохождении постоянного электрического тока через электролит ионы цинка восстанавливаются на катодах, образуя плотный металлический осадок.

Основная электрохимическая реакция процесса описывается уравнением:



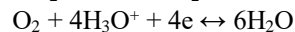
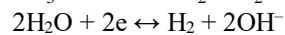
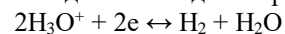
В действительности процесс сопровождается рядом побочных реакций, связанных с присутствием ионов примесей и требует строгий контроль состав раствора.

На катоде разряжаются положительно заряженные ионы цинка и водорода:



Согласно ряду стандартных электродных потенциалов, на катоде в первую очередь должны разряжаться ионы водорода, так как их восстановление термодинамически более вероятно по сравнению с ионами цинка.

Вода, являясь основным растворителем в большинстве гидрометаллургических процессов, принимает непосредственное участие в электрохимических реакциях как на катоде, так и на аноде, где происходит образование молекулярного водорода [9] в результате окислительно-восстановительных процессов, протекающих с участием кислорода. Зависимость потенциалов разряда ионов водорода и гидроксидов от pH раствора представлена на рис. 1, из которого следует, что при увеличении кислотности среды потенциал разряда ионов водорода смещается в положительную сторону, тогда как потенциал ионов гидроксидов — в отрицательную, что существенно влияет на направление и интенсивность катодных и анодных процессов:



Для реакций (1.12) и (1.13) при температуре 25 °С, уравнение

$$E = -0,059 \text{ pH},$$

а для реакций (1.14) и (1.15) уравнение:

$$E = 1,23 - 0,059 \text{ pH}$$

На нашем предприятии процесс электролиза цинка осуществляется в кислой среде. Для поддержания оптимальных условий подача нейтрального электролита регулируется таким образом, чтобы в отработанном растворе концентрация цинка находилась в пределах 40–55 г/л. При плотности тока 560–610 А/м² выход цинка по току составляет 88–91 %, что свидетельствует о

высокой энергоэффективности применяемой технологии.

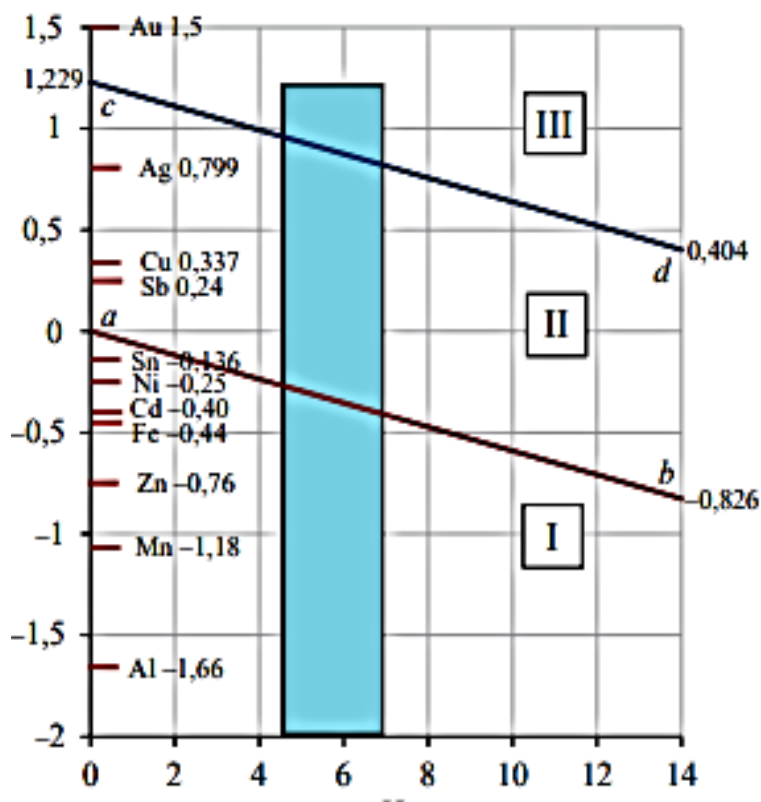


Рис. 1. Зависимость потенциалов разряда ионов водорода и ионов гидроксила от pH раствора

Для предотвращения коротких замыканий и снижения потерь электроэнергии используются тщательно выровненные и очищенные электроды. Качество катодного осадка регулируется добавлением поверхностно – активных веществ – костного клея и сурьмяных соединений, которые обеспечивают формирование равномерного матового слоя металла без дендритных включений.

Перед выгрузкой катодов в электролитные ванны вводится 0,1–0,3 мг/л сурьмы в виде соли сурьмяно-виннокислого калия, что способствует лёгкому отделению осадка. Для снижения выделения сернокислого тумана в электролит добавляется экстракт солодкового корня, формирующий защитную пенную плёнку. Данное решение повышает экологическую безопасность процесса и снижает выброс вредных веществ в атмосферу.

Отработанный электролит после охлаждения направляется в оборот, что обеспечивает рациональное использование реагентов и воды. Электролиз цинка протекает в кислой среде. Для поддержания оптимальных условий подачу нейтрального электролита регулируют таким образом, чтобы в отработанном растворе

содержание цинка оставалось в пределах 40–55 г/л. Плотность тока составляет 560 – 610 А/м², выход цинка по току 88 – 91 %. Эти показатели свидетельствуют о высокой энергоэффективности технологии.

ВЫВОД

Сравнение показало, что предложенный метод электролиза цинка отличается высокой стабильностью и энергоэффективностью. Плотность тока составляет 560–610 А/м² при выходе по току 88–91 %, что превышает показатели, полученные в зарубежных исследованиях. Использование очищенного нейтрального электролита и поверхностно-активных добавок обеспечивает формирование плотного и равномерного катодного осадка. Введение сурьмяных соединений улучшает отделение осадка и предотвращает образование дендритов. Применение экстракта солодкового корня снижает выделение сернокислого тумана, повышая экологическую безопасность процесса. Разработанный метод является более эффективным и экологичным по сравнению с известными зарубежными технологиями.

RUXNI ELEKTROLIZ QILISH TEXNOLOGIK PARAMETRLARINING MAHALLIY VA XORIJIY AMALIYOTLARDAGI TAHLILI

S.T. Matkarimov¹, Mirzajanova S.B., ²M., ¹Saidova M.S., ¹Beknazarova G.B.

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston.

²ОКМК ўқув маркази

ANNOTATSIYA Maqolada ruxni elektroliz qilish jarayonining texnologik parametrlarini taqqoslash tahlili keltirilgan. Rux elektrolizi har biri 240 ta vannadan iborat ikkita seriyali 480 ta elektrolitik vannada sodir bo'ladi va tok zichligi 560–610 A/m² va ruxning tok bo'yicha chiqishi 88–91% bo'lgan sharoitda amalga oshiriladi. Neytral elektrolitdagi rux konsentratsiyasi 100–135 g/l, ishlatilgan elektrolitda esa 40–55 g/l ni tashkil etadi. Suyuq faol moddalardan – suyak yelimi va surma qo'shimchalari (0,1–0,3 mg/l) qo'llanishi natijasida dendritsiz zich katod cho'kmasi hosil bo'ladi. Shirinmiya ildizi ekstrakti eritmadagi sulfat tumanini kamaytiradi va jarayonning ekologik xavfsizligini oshiradi. Chet el usullari bilan solishtirganda, mahalliy texnologiya yuqori energiya samaradorligi va barqarorligi bilan ajralib turadi.

KALIT SO'ZLAR rux elektrolizi, solishtirma tahlil, faol moddalar, katod, anod, elektr samaradorlik, dendridlar, tok zichligi

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ZINC ELECTROLYSIS IN DOMESTIC AND FOREIGN PRACTICE

S.T. Matkarimov¹, S.B. Mirzajonova¹, M.I. Saydiraximova², M.S. Saidova¹, G.B. Beknazarova¹

¹Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan.

²Raining Center of the AMMC

ABSTRACT The article presents a comparative analysis of the technological parameters of the zinc electrolysis process. Zinc electrolysis is carried out in 480 electrolytic cells divided into two series of 240 each, under conditions of a current density of 560–610 A/m² and a current efficiency of 88–91%. The zinc concentration in the neutral electrolyte is 100–135 g/L, while in the spent electrolyte it ranges from 40 to 55 g/L. The use of surface-active substances such as bone glue and antimony additives (0.1–0.3 mg/L) ensures the formation of a dense cathodic deposit without dendrites. The addition of licorice root extract reduces sulfate mist in the electrolyte and enhances the environmental safety of the process. Compared to foreign methods, the local technology is distinguished by its high energy efficiency and operational stability.

KEYWORDS zinc electrolysis, comparative analysis, active substances, cathode, anode, electrical efficiency, dendrites, current density.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://agmk.uz/ru/metallurgija/zinc-smelter>.
2. Юрошева Т.А. Исследование процесса электролиза цинка и разработка системы управления технологическим режимом. Диссертация. 2012.
3. Interpreting the main effects on the efficiency and morphology for zinc electrowinning, Springer, 2024.
4. Modeling the Effect of Solution Composition and Temperature on Zinc Electrowinning, MDPI, 2021.
5. Zinc Recovery through Electrolytic Refinement Using Insoluble Catalytic Cathodes, PMC, 2019.
6. Оптимизация технологического процесса электролиза цинка в сульфатных растворах методом имитационного эксперимента, CyberLeninka.
7. Исследование технологических параметров электролиза цинка из щелочного цинкатного раствора, MISIS.
8. Lowering the Energy Consumption of Zinc Electrowinning by Novel Anodes, UBC Library.
9. Н.И. Останин, В.М. Рудой, Т.Н. Останина, А.Б. Даринцева. Теория и технология получения цветных металлов. Учебно – методическое пособие. 2022. Урал. стр. 26.

Information about authors:

Matkarimov Turdaliyevich	Sohib	–	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2393-6576 e-mail: sohibtm@gmail.com
Mirzajanova Bakidjanovna	Saodat	–	Associate professor of the Department of Metallurgy, 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
Saidiraximova Madina Ilxamovna		–	Raining Center of Almalyk Mining and Metallurgical Complex JSC, Production Training Master of the Zinc Plant. e-mail: smadina@gmail.com
Saidova Sayfullayevna	Malika	–	Associate professor of the Department of Metallurgy, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: 0009-0003-1625-2616 , e-mail: malikasaidova515@gmail.com .
Beknazarova Berdiyori qizi	Gulnoza	–	Senior lecturer, Head of Department, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Olmazor district, University str. 2. ORCID: 0000-0001-5409-9649 e-mail: gulkabeknazarova748@gmail.com

GAZ VA GAZOKONDENSAT KONLARIDA MAHSULDOR QATLAMLARINING GAZ BERUVCHANLIK KOEFFITSIENTINI BASHORATLASHTIRISHNING ILMYIY ASOSLAR VA MODELLASHTIRISH USULLARI

Sh.E. Shomurodov¹, I. Xalimatov², R.T. Zakirov²

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

²Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Doi: 10.5281/zenodo.18092924

ANNOTATSIYA

Hozirgi kunda dunyo va O'zbekistonda yer osti tabiiy resurslariga bo'lgan talabning ortishi sharoitida gaz beruvchanlik koeffitsientini aniq bashoratlash dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Maqolada xorijiy va mahalliy tadqiqotlar tahlili asosida mahsuldor qatlamlardan gaz va gazokondensatni samarali qazib olishda gaz beruvchanlik koeffitsientiga ta'sir etuvchi asosiy omillar o'rganildi. Ustyurt neft-gazli regioni misolida trend modeli, ko'p omilli empirik model, vaqtli qatorlar modeli va o'rtacha darajalar sirg'aluvchi model kabi modellashtirish usullari tavsiya qilindi. Bashoratlashning tizimli modellashtirilishi konlarning umumiy va individual xususiyatlarini aniqlash, geologik-qidiruv ishlarini samarali rejalashtirish va istiqbolli konlarni baholashda ishonchlilikni oshirish imkonini beradi.

KALIT SO'ZLAR:

geologiya, uyum, mahsuldor qatlam, gaz, gaz beruvchanlik koeffitsienti, bashoratlash modeli.

KIRISH

Hozirgi kunda dunyoda, shu jumladan O'zbekiston Respublikasida ham yer osti tabiiy resurslariga bo'lgan ehtiyoj ortib bormoqda. Ayniqsa, uglevodorod xomashyosiga talabning o'sishi sharoitida uyumlarning gaz beruvchanlik koeffitsientini yuqori aniqlik bilan baholash muammosi dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Yangi yirik uglevodorod konlarini topish murakkablashib borayotgani, so'nggi yillarda esa katta zaxiraga ega konlarning deyarli aniqlanmayotgani mavjud resurslardan oqilona foydalanishni taqozo etmoqda. Shu munosabat bilan, ochilgan konlarni samarali o'zlashtirish, mahsuldor qatlamlardan gaz va gazokondensatni maksimal darajada qazib olish mamlakatning energetik barqarorligini ta'minlashda eng muhim vazifalardan biri bo'lib qolmoqda.

DOLZARBLIGI

Gaz va gazokondensat konlarini o'zlashtirishda izlov va razvedka bosqichlarida yig'ilgan geologik ma'lumotlar asosida zaxiralarni hisoblash hamda shu asosda konni ishlatish loyhasini tuzishda mahsuldor qatlamning gaz beruvchanligini aniq bashoratlash har doim muhim va murakkab vazifalardan biri bo'lib kelgan. Gazning kam qovushqoqligi, tog' jinslari bilan o'zaro ta'sirining nisbatan zaifligi va gaz qatlamlarida elastik energiyaning katta zaxirasi mavjudligi tufayli amaliyotda uzoq vaqt davomida gazni deyarli to'liq qazib olish mumkinligi haqidagi qarash ustuvor bo'lgan. Shu asosda bir qator hisob-kitoblarda yakuniy gaz beruvchanlik koeffitsienti 1,0 (100%) deb qabul qilingan [1-2].

Biroq dunyo amaliyoti, shu jumladan mamlakatimizning kon qazib chiqarish tajribasi shuni

ko'rsatadiki, amaliy yakuniy gaz beruvchanlik koeffitsientlari hisoblangan qiymatlardan sezilarli farq qiladi va qazib olish rejimi qanday bo'lishidan qat'i nazar, hatto eng qulay geologik sharoitlarda ham hech qachon bir birlikka yetmaydi. Yevropa iqtisodiy komissiyasining Gaz qo'mitasi materiallariga ko'ra, turli mamlakatlarda qazib olinadigan gaz zaxiralarini baholashda qo'llaniladigan gaz beruvchanlik koeffitsientlari rezervuarining murakkab geologik-fizik xususiyatlarini, mahsuldor qatlamning strukturasi va undan gaz olish mexanizmini hisobga olgan holda shakllantiriladi.

MUAMMONING O'RGANILGANLIK TARIXI

Xorijiy tadqiqotlar. Gaz beruvchanlik koeffitsientini aniqlash va unga ta'sir etuvchi omillarni o'rganish bo'yicha xalqaro amaliyotda keng ko'lamli tadqiqotlar amalga oshirilgan. Jumladan, AQSh, Yaponiya, Kanada, Pokiston, Avstraliya va Xitoy olimlari tomonidan kollektor tizimi, gaz uyumlarning geologik-fizik xususiyatlari, g'ovaklik va gaz tarqalish mexanizmlarini baholash bo'yicha turli usullar taklif etilgan. D.L. Stinson (1965), Seiichi Hirakawa va Yoshihisa Amadatsu (1965), By.E. Stoian va A.S. Telford (1966), shuningdek, so'nggi yillardagi tadqiqotchilar - M.A. Amer, S. Ghazi (2018), A. Raza (2019), R. Rezaee (2019) va boshqalar tomonidan olib borilgan ishlar gaz beruvchanlik qiymatlarini aniqlash metodlarini takomillashtirishga xizmat qilgan. [3-4].

AQSh tadqiqotchisi N. Lamont tomonidan Texasdagi 37 ta gaz koni bo'yicha o'tkazilgan statistik tahlillar gaz beruvchanlik koeffitsientining 65,2% dan 96,6% gacha o'zgarishini, o'rtacha qiymat esa 82,9% ni tashkil etishini ko'rsatadi. Konlarning 54,1% ida

ushbu ko'rsatkich o'rtachadan yuqori ekanligi qayd etilgan [5-6].

MDH olimlari orasida M.A. Jdanov, A.L. Kozlov, V.P. Savchenko, A.I. Shirkovskiy, Yu.P. Korotaev, S.N.Zokirov, V.Rassoxin, R.M. Kondrat, I.A. Leontev, V.I. Petrenko, M.L.Fish, A.X. Mirzadjanzade, A.G. Durmishyan, F.A.Grishin, Ya.E.Kakaev, V.Ye.Ulyashev, N.G.Stepanov, N.I.Dubina, Yu.N.Vasilev, D.A.Marakov, M.Ya.Zykin, Yu.A.Pereмышsev, va boshqalar mahsuldor qatlamlar haqiqiy gaz beruvchanligini aniqlovchi omillarni o'rganishda katta hissa qo'shgan. V.V. Savchenko boshchiligidagi amalga oshirilgan ishlar MDHning 1694 ta koni bo'yicha dastlabki gaz zaxiralari va ularning o'zgarish dinamikasini tahlil qilishga bag'ishlangan. Natijalarga ko'ra, to'liq o'zlashtirilgan konlarda qazib olingan gaz miqdori dastlabki zaxiraning 64,6% ni tashkil qiladi, qayta hisoblashlar esa dastlabki zaxiraning 17,7% ga kamaytirilishini ko'rsatgan. Umumiy gaz beruvchanlik koeffitsienti 77,4% sifatida baholangan [4-6].

Xalqaro amaliyotda gaz beruvchanlik koeffitsienti barcha mamlakatlar uchun bir xil qabul qilinmaydi. U kollektor litologiyasi, qazib olish rejimi, suv bosimining ta'siri, qatlam fizikasi va gazning fazaviy holatiga bog'liq holda aniqlanadi. Germaniyada koeffitsient 0,70–0,85, Italiyada 0,70–0,85, Vengriyada 0,80–0,95, AQShda 0,75–0,95, Niderlandiyada 0,50–0,85 doirasida qabul qilingan. MDH davlatlarida esa o'rtacha 0,85 dan yuqori qiymatlar tavsiya etiladi.

MAHALLIY TADQIQOTLAR

O'zbekiston Respublikasi mustaqillikka erishganidan keyin gaz sanoatida keng ko'lamlil islohotlar amalga oshirilib, katta zaxiralarga ega bir qator uglevodorod konlari aniqlandi. Shu bilan birga, mahsuldor qatlamlarning gaz beruvchanlik xususiyatlarini ilmiy jihatdan baholash borasidagi tadqiqotlar yetarli darajada rivojlanmagan, bu yo'nalishda ilmiy izlanishlar asosan cheklangan doiradagi mutaxassislar tomonidan amalga oshirilgan. Hozirgi vaqtda Ustyurt regionini mamlakat gaz sanoati uchun eng istiqbolli hududlardan biri sifatida ko'rib chiqilmoqda. Mazkur regionning murakkab geologik tuzilishi uyumlarning gaz beruvchanlik xususiyatlarini chuqur o'rganish zaruratini keltirib chiqaradi.

I.A. Golubev (2007–2008) Berdax – Sharqiy Berdax – Uchsay hamda Surgil – Shimoliy Aral konlarining uglevodorod zaxiralarini hisoblash jarayonida terrigen kollektorlarga mansub uyumlarning asosiy geologik-petrografik ko'rsatkichlarini o'rganib, ularning gaz beruvchanligini bashorat qilishga oid ilmiy xulosalarni shakllantirgan.

J.Yu. Yuldashev (2008) Sharqiy Berdax, Uchsoy va Surgil konlaridagi gaz-kondensat uyumlarining geologik xususiyatlarini kompleks tahlil qilgan va ularning o'zlashtirilishi samaradorligiga ta'sir etuvchi geologiyalariq, fizik-texnik omillarni aniqlashga qaratilgan tadqiqotlar olib borgan.

Axmedov P.U. va Ubayxo'jaev Z.S. (2009) Ustyurt mintaqasidagi Shimoliy Orol, Surgil, Shimoliy va Sharqiy Berdax, Uchsoy konlarida turli geofizik tadqiqotlar dasturlaridan foydalangan holda kollektor qatlamlarining to'yinganlik darasini baholash ishonchligini tahlil qilgan. Shuningdek, ular tomonidan suyuqlik bilan to'yinganlik mezonlarini aniqlashtirish va takomillashtirishga qaratilgan ilmiy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

I. Xalimatov (2008) Ustyurt neft-gazli hududidagi yuqori, o'rta va quyi yura yotqiziqlarining murakkab tuzilishga ega mahsuldor kollektorlarida yakuniy gaz beruvchanlikni baholash maqsadida geologik-geofizik materiallarni, shuningdek, amaldagi konlarni o'zlashtirish natijalarini chuqur tahlil qilgan.

I.P. Burluskaya (2011–2012) terrigen kollektorlarga tegishli gaz va gaz-kondensat uyumlaridan uglevodorodlarni to'liq qazib olish bilan bog'liq zamonaviy muammolarni o'rgangan, shuningdek, Rossiya, Ozarbayjon va O'zbekiston konlari misolida terrigen kollektorlarning yakuniy gaz beruvchanlik darasini baholashga qaratilgan ilmiy izlanishlar olib borgan.

O'zbekistonda gaz va gazokondensat konlarini zaxirasini hisoblashda va ishlatish loyihasi tuzishda ko'pincha uyumlarning gaz beruvchanlik xususiyatini (analogik) o'xshash konlardagi qazib olingan gazlar miqdori bo'yicha qabul qilinadi. Biroq konlarning tuzilishi o'xshash bo'lgani bilan ularning geologik ko'rsatkichlari bir-biridan farqlanadi.

TADQIQOT METODIKASI

Gaz va gazokondensat uyumlarini izlash, qidirish, qazib olish va ishlatish sohasidagi eng murakkab vazifalardan biri - mahsuldor qatlam va konning gaz beruvchanlik koeffitsientini aniq bashoratlash hisoblanadi. Gaz beruvchanlik koeffitsienti dinamikasining shakllanishida geologik, texnologik va iqtisodiy omillar hamda jarayonning o'zgaruvchan qonuniyatlari muhim ahamiyatga ega. Shu sababli bashoratlash aniqligi to'g'ridan-to'g'ri geologik tizimning kompleks tahliliga bog'liq bo'ladi.

Amaliyotda geologik-fizik jarayonlarni to'liq qamrab olish deyarli imkonsiz, chunki:

1. Jarayon turli masshtabdagi, har xil tuzilishli jinslar va sektorlar ta'siri ostida bo'ladi;

2. Kelgusi holatning noaniqligi yuqori va tasodifiylik omillarining ta'siri sezilarli bo'ladi.

Shu sharoitda gaz beruvchanlik koeffitsienti dinamikasini tushunish va modellashtirish jarayoni jarayonni soddalashtirishning eng maqbul yo'lini ta'minlaydi. Buning uchun ko'rsatkichni yetarlicha uzoq muddat kuzatish va uning o'zgarish qonuniyatlarini aniqlash talab etiladi. Gaz beruvchanlik koeffitsienti qazib olingan gaz miqdorining umumiy zaxiraga nisbati sifatida hisoblanadi. Nazariy jihatdan 1 birlik (100%) koeffitsient konning to'liq o'zlashtirilganligini anglatadi. Lekin amaliyotda iqtisodiy, texnologik va geologik omillar ta'siri tufayli gazni to'liq qazib olish imkoni bo'lmaydi. Shuning uchun real sharoitda gaz

beruvchanlik koeffitsienti hech qachon 100% ga yetmaydi [7-8].

Bashoratlashda hisobga olinishi zarur omillar:

1. Geologik sharoitlar: uyum turi va geologik tuzilishi; g'ovaklik va o'tkazuvchanlik; darzliklar va ekranlovchi qatlamlar; qoldiq suvning miqdori va to'yinganlik darajasi.

2. Qazib chiqarish jarayoni xususiyatlari: gazning fizik-kimyoviy tarkibi; oqim tezligi va qatlam bosimi; gaz, gazokondensat, neftgaz kabi turli uyumlardan qazib chiqarishda maxsus texnika talablari.

3. Konni ishlatish rejimlari: uyum tipi (massiv, qatlamli, linzasimon); quduqlar soni va ularning joylashuvi; qazib olish tezligi va ketma-ketligi; energoquvvat manbalari va litologik-fizik xususiyatlar.

4. Monitoring va ma'lumotlar to'plash: gaz tarkibi va sizish tezligini doimiy nazorat qilish; real vaqtda qo'shimcha ma'lumotlar asosida qazib olish uslubini tanlash.

5. Statistik ma'lumotlar va tajriba: o'xshash konlar natijalarini taqqoslash; modellarni optimallashtirish va gaz beruvchanlik potensialini baholash.

6. Normativ talablar: xavfsizlik me'yorlari va texnik reglamentlar.

7. Texnologik yutuqlar: burg'ilash texnologiyalarining yangilanishi; quduq tubiga ta'sir etuvchi zamonaviy usullar; gaz qazib chiqarish jarayonini jadallashtiruvchi texnik yechimlar [9-10].

Modellashtirishning tizimli ahamiyati va usullari. Bashoratlashning tizimli modellashtirilishi nafaqat istiqbolli ko'rsatkichlarni aniqlash imkonini beradi, balki keyingi bosqichlarda modellarni takomillashtirish, hisoblash aniqligini oshirish hamda muayyan regionda kuzatiladigan umumiy va xususiy xususiyatlarni ochib berishga xizmat qiladi. Shu tariqa, tizimlashgan geologik-qidiruv faoliyati samarali tashkil qilinadi va konlarning istiqbolli foydalanish strategiyasi shakllantiriladi [10-11].

Bashoratlashda asosiy usullar quyidagilardan iborat:

1. Trend modeli – vaqt omili ta'sirida barqaror qonuniyatlarni aniqlaydi va tendensiyalarni tahlil qilish imkonini beradi.

2. Ko'p omilli empirik model – geologik va texnologik omillarni hisobga olib, jarayonga ta'sir

etuvchi bir necha omillarni bir vaqtda tahlil qilish imkonini ta'minlaydi.

3. Vaqtli qatorlar modeli – dinamik xususiyatlarni va tasodifiy o'zgarishlarni hisobga olib, real vaqtdagi tendensiyalarni aniqlashda samarali qo'llaniladi.

4. O'rtacha darajalar sirg'aluvchi modeli – ma'lumotlardan tartibsizliklarni tekislab, umumiy tendensiyani ko'rsatish imkonini beradi.

Modellashtirish mexanizmining ahamiyati quyidagilarda namoyon bo'ladi:

- Gaz beruvchanlikning yuqori aniqlikda bashorat qilish imkonini ta'minlaydi;

- Konlarning umumiy va individual xususiyatlarini aniq ajratib berish imkonini yaratadi;

- Geologik-qidiruv ishlarini rejalashtirishda aniq strategiya va qarorlarni shakllantirishga yordam beradi;

- Istiqbolli konlarni baholashda ishonchlilikni oshiradi va resurslarni samarali boshqarishni ta'minlaydi.

XULOSA

1. Gaz beruvchanlik koeffitsientini aniq bashoratlash mamlakatning energetik barqarorligini ta'minlashda va ochilgan konlardan samarali foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi.

2. Xorijiy va mahalliy tadqiqotlar geologik, texnologik va iqtisodiy omillar koeffitsientga ta'sir qilishi va uning dinamikasini aniqlashda asosiy ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi.

3. Bashoratlashda modellashtirish usullari (trend modeli, ko'p omilli empirik model, vaqtli qatorlar modeli va o'rtacha darajalar sirg'aluvchi model) samarali qo'llaniladi va ularning kombinatsiyasi yuqori aniqlikda natijalarni ta'minlaydi.

4. Modellashtirish mexanizmi konlarning umumiy va individual xususiyatlarini aniqlash, geologik-qidiruv faoliyatini samarali tashkil etish va istiqbolli konlarni baholashda ishonchlilikni oshirishda muhim vosita hisoblanadi.

5. Tavsiya qilinadi: boshqa hududlar va konlar uchun ham ushbu usullar asosida gaz beruvchanlik koeffitsientini bashoratlash mexanizmlarini ishlab chiqish va doimiy takomillashtirish..

SCIENTIFIC FOUNDATIONS AND MODELING METHODS FOR PREDICTING THE GAS DELIVERABILITY COEFFICIENT OF PRODUCTIVE LAYERS IN GAS AND GAS CONDENSATE FIELDS

Sh.E. Shomurodov¹, I. Khalismatov², R.T. Zakirov²

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

²Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

Currently, in the context of increasing demand for underground natural resources in the world and in Uzbekistan, accurate forecasting of the gas recovery factor is becoming increasingly important. In the article, based on the analysis of foreign and domestic

research, the main factors influencing the gas recovery factor in the effective extraction of gas and gas condensate from productive formations were studied. Using the example of the Ustyurt oil and gas region, such modeling methods as the trend model, the multifactorial empirical model, the time series model, and the average level sliding model are recommended. Systematic modeling of forecasting allows determining the general and individual characteristics of deposits, effective planning of geological exploration work, and increasing the reliability of assessing prospective deposits.

KEYWORDS: geology, reservoir, productive formation, gas, gas recovery factor, forecasting model.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Рассохин Г.В., Леонтев И.А., Петренко В.И. и др. Контроль за разработкой газовых и газоконденсатных месторождений / Москва: Недра, 1979. -273 с.
2. Закиров С.Н. Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений М.: "Струна"-1998.-628 с.
3. Stoian E. and Teleford A.S. Determination of Natural Gas Recovery Factor/ The Journal of Canadian Petroleum Technology. -1966 - 5(03): Pages.115-129. <https://doi.org/10.2118/66-03-02>.
4. Савченко В.В. Создание методов повышения газоотдачи залежей природных газов с учетом применения геолого-промысловых данных (Диссертация в научного доклада) - Москва: 1994. -44 с.
5. Рассохин Г.В. Завершающая стадия разработки газовых и газоконденсатных месторождений./ М., Недра, 1977, -184 с.
6. Степанов Н.Г., Дубина Н.И., Василев Ю.Н. Системный анализ проблемы газоотдачи продуктивных пластов. – Москва. ООО "Недра-Бизнесцентр", 2001. -204 с.
7. Khalismatov I., Zakirov R., Shomurodov Sh., Isanova R., Joraev F. and Ergashev Y. Correlation analysis of geological factors with the coefficient of gas transfer of organizations 5th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2024), Samarkand, Uzbekistan, Edited by
8. Khalismatov I., Makhmudov N.N., Zakirov R.T., Shomurodov Sh.E., Isanova Gas recovery of jurassic terrigenous reservoirs of the Sudochiy trough of the Ustyurt oil and gas region // Technical science and innovation 2021, №3(09) P.107-117 <https://uzjournals.edu.uz/btstu/>.
9. Халисмаатов И.Х., Махмудов Н.Н., Закиров Р.Т., Шомуродов Ш.Э., Геологические факторы, влияющие на коэффициент конечной газоотдачи продуктивных горизонтов месторождения Восточный Бердах – Учсай // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2022. - Т.17. - №2 http://www.ngtp.ru/rub/2022/14_2022.html.
10. Халисмаатов И.Х., Махмудов Н.Н., Закиров Р.Т., Шомуродов Ш.Э., Оценка конечной газоотдачи продуктивных пластов юрских коллекторов по месторождениям Судосекого прогиба // Газовая промышленность Россия, Москва.2021. №8. С. 54-60.
11. Халисмаатов И., Закиров Р. Т., Шомуродов Ш.Э., Исанова Р.Р. Газ ва газоконденсат уюмларида газ берувчанлик коэффициентиға геологик омилиларнинг эмпирик бог'лиқлиги. //Геология фанлари унверситети хабарлари - Тошкент, 2023. -№6.- С. 5-10.

Information about authors:

Shomurodov Shokhboz Erol ugli	– Acting Associate Professor of the Department of "Geology and Mining" Doctor of Philosophy in Geological and Mineralogical Sciences; Karshi State Technical University, 180119, Karshi, Mustakillik St., 225, Republic of Uzbekistan ORCID: 0009-0009-6713-5229 ,e-mail:Shomurodovshohboz@mail.ru
Khalismatov Irmukhamat	– Professor of the Department of "Geology and Geophysics of Oil and Gas Fields," Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID:0000-0001-7163-7824, e-mail:Irmuxammad.Xalismatov.tdtu@gmail.com
Zakirov Ravshan Tulkinovich	– Head of the Department of "Geology and Geophysics of Oil and Gas Fields," Professor, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID:0000-0001-5426-9134, e-mail: r.t.zakirov@mail.ru

NAMUNALARGA ISHLOV BERISHDA “RICHARDS-CHECHETTA” TAMOYILI VA UNING STATISTIK TAHLILI

M.N.Jo‘rayev, B.I.Mirxodjayev, Sh.B.To‘rayev

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent

Doi: 10.5281/zenodo.18092944

ANNOTATSIYA

Maqola mualliflari tomonidan, geologiya-qidiruv ishlarida (qattiq foydali qazilma konlari uchun) muhim masalalarni o‘zida qamrab olgan va ma‘dan (foydali qazilma) sifatini aniqlashga tegishli, zaxira hisoblashda asosiy manbaa sifatida foydalanadigan raqamlarni beruvchi (razvedka profillarida o‘tilgan tog‘-kon inshootlaridan olingan namunalash bo‘yicha aniqlangan foydali komponentlarning – “o‘rtacha miqdori”), namunalash jarayonining eng asosiy bosqichini belgilovchi – namunalarga ishlov berish xususiyatlari hamda ushbu bosqich ishlarini geolog mutaxassislariga sodda tarzda yetkazib berish masalalari ko‘rib chiqilgan. Jumladan, namunalash jarayonining ikkinchi bosqichi, olingan namunalarga “ishlov berishga” talluqli tomonlari, qisqartirish sxemalarida mavjud bo‘lgan tafovutlar sababi, ishlab chiqarish sharoitida mutaxassislar tomonidan ushbu masalaga bo‘lgan e‘tiborsizlik natijalari, o‘quv adabiyotlarida keltirilgan qisqartirish sxemalaridagi kamchiliklar hamda ushbu mavjud bo‘ladigan holatlarning natijasi o‘z salbiy ta‘sirini nimalarga ko‘rsatishi vaziyatlari ko‘rib chiqilgan.

KALIT SO‘ZLAR

namunalash, o‘rta arifmetik, Richards-Chechetta tamoyili, namuna, sxema, konditsiya.

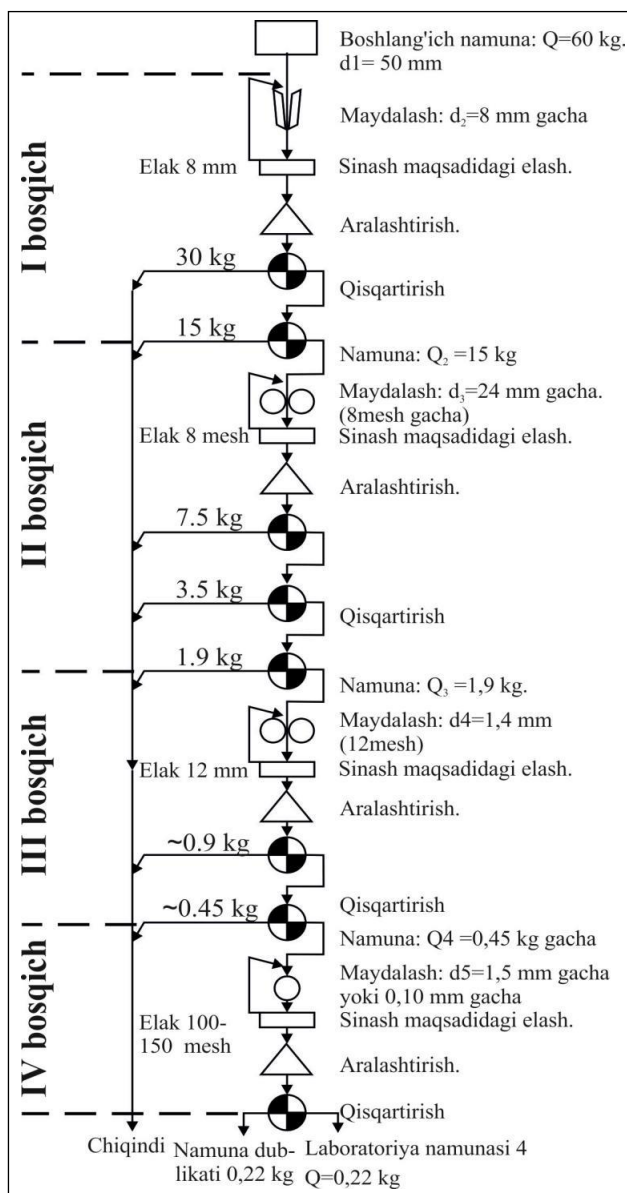
KIRISH

Foydali qazilmalarni yoki ularning sun‘iy uyumlarini namunalash geologiya-qidiruv ishlarining asosini tashkil etadi va qidirishning barcha bosqichlarida olib boriladi. Namunalashning maqsadi – sanoat tarmoqlarining turli mineral xomashyoga bo‘lgan talab va ehtiyojlaridan kelib chiqqan holda foydali qazilma turlarini, sifat va turli (fizik, kimyoviy, mexanik, texnik, texnologik va b.) xususiyatlarini aniqlashdan iborat. Qattiq foydali qazilmalarni namunalash jarayoni 3 bosqichdan iborat bo‘ladi. Jarayonning 1-bosqichi namuna olishdir. [1, 2].

Namunalar foydali qazilmalarning tabiiy yoki sun‘iy ravishda ochilgan joylaridan (tog‘-kon qidiruv inshootlaridan) olinadi. Namuna olinayotganda uning sifati foydali qazilma sifatini to‘g‘ri aks ettiradigan bo‘lishi kerak. Namunalashning 2-bosqichi namunaga ishlov berish – birlamchi namuna yoki namunalash guruhining og‘irligini, tahlil qilish uchun kerak bo‘lgan, minimal miqdorga keltirishdan iborat (1-rasm), 3-bosqichi ishlov berilgan namunani tekshirishdan (tahlil (analiz) – tog‘ jinslari tarkibidagi foydali komponent miqdorini aniqlash) iboratdir. Namunani tekshirish usullari sanoat tomonidan xomashyoning sifatiga qo‘yilgan talablar asosida uni qayta ishlash yoki chiqitga chiqarish nuqtayi nazaridan o‘rganilganlik darajasiga qarab aniqlanadi [1].

Qattiq foydali qazilmalarni (oltin, kumush, mis, volfram, niobiy-tantal, temir, uran va b.) qidirish va razvedka qilish jarayonida ko‘p yillardan beri, ma‘danlarning sifatiga oid masalalarni oydinlashtiradigan ilmiy tadqiqotchilar izlanishi natijalari, zaxira hisoblashda kerakli hamda muhim ko‘rsatgichlardan asosiysi sifatida ko‘riladigan, namunalarga ishlov berish (maydalash, aralashtirish, qisqartirish va elash. 1-rasm) yo‘nalishga tegishli muammolarni bartaraf etish maqsadida faoliyat olib borgan qator olimlarni, hurmat yuzasidan eslab o‘tish o‘rinlidir.

Namunalash jarayoni nazariyasiga asos solgan olimlar, ishlab chiqarish va ilmiy-pedagogik yo‘nalishda ham samarali faoliyat olib borgan. Jumladan, ular o‘zlarining ilmiy ishlanmalari, monografiya va o‘quv adabiyotlari (darsliklar, o‘quv qo‘llanmalar, ko‘rsatma va b.) orqali ushbu jarayonni chuqur tahlil qilgan holda shuhrat qozonganlar. Ushbu murakkab va asosiy jarayon, ya‘ni namunalash jarayonining ishonchliligi bo‘yicha yirik izlanishlarni olib borgan olimlar va tadqiqotchilar qatoriga (xorijda) G.O.Chechot, Ye.A.Pogrebitskiy, K.L.Pojaritskiy, M.N.Albov, V.M.Kreyter, V.I.Smirnov, G.D.Ajgirey, A.A.Yakjin, A.B.Kajdan, L.I.Chetverikov, D.A.Zenkov, (respublikada) V.Ya.Zimalina, V.D.Tsoy, S.M.Koloskoba, M.U.Isoqov, B.A.Isaxodjayev, B.N.Urunov, A.I.Tangirov, T.B.Ishbabayev va boshqalarni keltirish o‘rinli bo‘ladi [3, 4].



1-rasm. Namunaga ishlov berish sxemasi.

I bosqich:

Boshlang'ich namuna:
 $Q = 60$ kg. $d_1 = 50$ mm.
Maydalash: $d_2 = 8$ mm.gacha.
 Elak 8 mm.
Sinash maqsadidagi elash.
 Aralashtirish. Qisqartirish.

II bosqich:

Namuna: $Q_2 = 15$ kg.
Maydalash: $d_3 = 24$ mm.gacha. (8 mesh gacha).
 Elak 8 mesh.
Sinash maqsadidagi elash.
 Aralashtirish. Qisqartirish.
 Elak 7 mesh.

III bosqich

Namuna: $Q_3 = 1,9$ kg.
Maydalash: $d_4 = 1,4$ mm.
 (12 mesh).
Sinash maqsadidagi elash.
 Aralashtirish. Qisqartirish.
 Elak 7 mesh.

IV bosqich:

Namuna: $Q_4 = 0,45$ kg.gacha.
Maydalash: $d_5 = 1,5$ mm.gacha yoki 0,10 mm.gacha.
Sinash maqsadidagi elash.
 Aralashtirish. Qisqartirish.
 Elak 100-150 mesh.
 Chiqindi.
Namuna dublikati 0,22 kg.
Laboratoriya namunasi
 $Q = 0,22$ kg.

Umuman olganda, geologiya-qidiruvi jarayonining amaliy xususiyatiga o'z ta'sirini o'tkazuvchi omil bu – mineral xomashyo sifatining o'zgaruvchanligi bo'ladi. Ushbu omil minerallashgan yotqiziqning tarkibi bir xil emasligidan, xususan, foydali qazilma tarkibida mavjud bo'lgan foydali komponentlar miqdorlarining doimiy o'zgarishi (o'ynab turishi) hamda tabiiy ma'danli uyumlarning morfostrukturaviy xususiyatlari (ma'danli tanalarning qalinligi bo'yicha va bo'shliq (f.q.miqdori o'ta past joylari)) v.b. sabablar bo'yicha vujudga keladi [5, 6]. Avallom bor belgilangan bosqichlar oldida turgan maqsadlarga muvofiq, dala amaliyot ishlari rejalashtirilganda, belgilangan vazifalarni hal etish uchun, jumladan: namuna olish ko'rsatqichlariga (parametr), razvedka (qidiruv) to'rlari zichligi va raqamlariga, zaxiralarni hisoblashga tegishli konditsion talablariga va nihoyat, ma'danli maydonlarni sanoatbop qismlarini chegaralash (konturlash) uslubiyatiga ham alohida axamiyat qaratish zarur bo'ladi.

Namunalash jarayonining 2-bosqichiga tegishli masala – "Turli usullar, unumli va samarali yo'llar bilan olingan namunalarga, qabul qilingan qoidaga (prinsip) rioya qilgan holda ishlov berish", ya'ni qat'iy belgilangan talablarga muvofiq n diametrgacha maydalash va kimyoviy laboratoriyaga jo'natish maqsadida, birlamchi og'irligini kamaytirish masalalariga alohida axamiyat qaratish zarurligini belgilaydi. Albatta, ushbu jarayonni o'tkazishda "namunalash ishonchligi" va "namuna vakolati" degan qoidaga keskin e'tibor qaratish zarur [7, 8]. Yuqorida aytib o'tilganidek, 1-bosqichga tegishli namunalash ishlari talabga muvofiq o'tkazilsa, ya'ni namuna ishonchli tarzda olinsa va 2-bosqichda ham qoidalarga to'liq rioya qilinsa – unda nazariy jihatdan, birlamchi namuna (Checheta tamoyili bo'yicha) tarkibidagi foydali komponent miqdori, uni maydalash natijasida, ma'lum max. diametrga ega zarrachalar va so'ralgan o'g'irlikdan iborat bo'lgan – "naveska" nomli bir unumli qismi kimyoviy laboratoriyaga yuboriladi. Unumli qismi deganda – minerallashgan va o'tkaziladigan bosqichlar maqsadlariga muvofiq –

ma'danlashuv maydonlaridan namuna olish uchun obyektlardagi dala geologlari harakatlari natijasi hamda ketgan mablag'lar o'rinli sarf qilinganligi tushuniladi. Ya'ni, namunalash jarayonining, xususan, 1- va 2-bosqichi qoidalariga to'la rioya qilinib olingan namuna sifatiga (tarkibidagi foydali komponentlar miqdoriga) ma'lum ma'dan o'zlashtiruvchi tog' jinslari qismining hajmi bo'yicha ushbu ko'rsatkichlarni o'sha joyga tenglashtirish mumkin bo'ladi. Misol tariqasida bir profildagi burg'ilash qudug'ining ma'lum oralig'idan (n.dan m. intervaligacha) olingan namuna shu quduqning aynan shu oralig'iga teng taqsimlanishi kerak [9, 10].

Ishonchli namuna og'irligi asosan quyidagilar bilan belgilanadi: 1) namuna materialining o'lchami – namuna zarralari qanchalik kichik bo'lsa, uning ishonchli og'irligi shunchalik kichik bo'lishi mumkin; 2) namuna materialining turli tarkibli darajasi – material qanchalik xilma-xil bo'lsa, namunaning ishonchli og'irligi shunchalik katta bo'lishi kerak; 3) ruxsat etilgan yoki belgilangan qisqartirish xatosining qiymati – ruxsat etilgan xato qanchalik katta bo'lsa, ishonchli namunaning og'irligi shunchalik kichik bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, ishonchli namuna og'irligining qiymatiga namunaning eng qimmatli mineralidagi sinov komponentining tarkibi, ushbu mineral zarrachalarining kattaligi va solishtirma

og'irligi, namunadagi sinov komponentining o'rtacha miqdori va boshqa ba'zi omillar keltirilishi mumkin.

Namunalarning ishonchli og'irligini aniqlash uchun ma'lum qayta ishlash tamoyillarini ifodalovchi bir nechta formulalar taklif qilingan. Ulardan eng ko'p ishlatiladigan Richards-Chechett va Demond va Halferdal formulalaridir.

Namunani amalda qisqartirish ishlarini tahlil qilish asosida Richards ishonchli namuna og'irliklari max. zarracha diametrlarining kvadratiga to'g'ridan to'g'ri proporsional degan xulosaga keldi va u namunaning og'irligi funksiyasi sifatida namunaning qisqarish chegarasini aniqlash uchun jadval tuzdi. Keyinchalik Richardsning bu xulosasini G.O.Chechett tenglama shaklida ifodalagan.

Richards tamoyili va uning asosida ko'p yillardan beri geologiya-qidiruvi jarayonida qo'llanadigan Chechetta tengligi, juda oddiy – namunani ishonchli og'irligi uning tarkibida mavjud bo'lgan zarrachilari max. diametrlarining kvadratiga to'g'ridan to'g'ri proporsional bo'ladi, ya'ni:

$$Q = K \cdot d^2$$

Bunda: Q - namunaning og'irligi, (kg); d - eng yirik fraksiyadagi bo'laklarning diametri, (mm); K - ma'dan turiga bog'liq koeffitsiyent (1-jadval).

1-jadval

Ma'dan turiga bog'liq bo'lgan formuladagi "K" koeffitsiyentining taklif etiladigan qiymatlari (V.M.Kreyter bo'yicha)

Ma'dan tiplarining qisqacha tavsifi	K
Bir tekis	0,05
Notekis (turli xildagi mineral xomashyo)	0,10
Juda notekis	0,20-0,40
Yirik (0,6 mm) oltinli o'ta notekis	0,40-0,50

Minerallashuv maydoni o'zgaruvchanligini hisobga oladigan raqam – "K" – 0,07 dan 0,8 (1,0) gacha, o'zgaradi (bunda ishlab chiqarishda foydalanish uchun mahsus jadval taqdim etiladi). "Bir xil" – "O'ta bir xil emas" holatida va olingan namunalarga ishlov berish jarayoniga oid qisqartirish vaqtida, namuna (naveska) ishonchligiga bo'lgan talabni doimo ko'z ostida ushlab turish lozim, ya'ni:

$$K \cdot d^2 < Q_{ishonchli} < 2 \cdot K \cdot d^2$$

Yuqori bosqich bakalavr talabalari dars mashg'ulotlarida "Namunalash" kursining 2-bosqichini o'tish vaqtida (Namunalarga ishlov berish) quyidagi masalalarga tegishli savollar vujudga keladi: "Nimaga asosan tenglamadagi koeffitsiyent belgilangan raqamlarda bo'ladi?", yoki "Nima uchun zarrachalarni max. diametri hisobga olinadi – o'rtachasi qo'llansa to'g'ri bo'lmaydimi?" va - "Elakdan o'tgan zarrachalarning max. raqamli ulushini aniqlab bo'lmaydi (%)" va x.k. Mualliflar ham bu kabi savollarga – ushbu holatlar uchun, unga aniqlashtirish kiritish zarur degan fikrga, to'la qo'shiladi. Ustozlarimizning "Foydali qazilma

konlarini qidirish va razvedka qilish" nomli qator adabiyotlarida ham namunalarga ishlov berishga tegishli bandilarida ("Namunalash ishlari" qismi), misol uchun tuzilgan namunalarni qisqartirish sxemasi (1-rasm) yakunida (Richard-Chechett tamoyili qo'llangan holda), laboratoriyaga jo'natiladigan namuna (naveska) og'irligi ishonchli bo'lmasada – ruhsat etilgani uchun ham qisqartirish to'xtatiladi deyilgan [7, 8].

Ushbu savol tug'diradigan holat turli mualliflar adabiyotlarida ham mavjud! Fikrimizni isbotlash maqsadida G.D.Ajgirey muharrirligida chop etilgan "Izlash va razvedka uslubiyati" (Leningrad, 1954) nomli darslikda keltirilgan mavzuga muvofiq tahlil qilib ko'ramiz.

Qisqartirish jarayoni ikkinchi maydalash bosqichida to'xtatilgan (d = 0,15 mm; Q = 0,45 kg; k = 0,2). Ushbu bosqichda namuna og'irligi uch marotaba qisqartirilib, d_{max} = 0,15 va 0,055 kg.li (55 g) naveska "ishonchli" sifatida, laboratoriyaga yuborilgan. Yani shu naveska tarkibida mavjud bo'lgan foydali komponentlar miqdori Q – boshlang'ich 60 kg.ga teng hamda turli usullar bilan

olingan namuna, mavjud foydali qazilma miqdoriga juda yaqin deb, navezka asosida olingan natijalar ma'lum bir hajmdagi miqdori qabul qilinadi! Endi, ushbu vaziyatni nazariy tomonidan ko'rib chiqamiz: to'rtinchi bosqichga mansub elak teshigi (uyasi diametri) 0,15 mm. holatida $Q_{ish} = 0,005$ kg.gacha qisqartirish mumkin. Demak to'rtinchi bosqichni uchta operatsiyasidan, davom ettirish zarur bo'lishiga aniqlik kiritildi. Unda sxema ko'rinishi quyidagicha bo'ladi [9, 10]. To'rtinchi qisqartirish (0,028 kg), beshinchisi (0,014 kg) va oltinchisi (0,007 kg)! Chunki, tekshiruv qoidasiga ko'ra aynan va faqat 7 g.li navezka javob berishi mumkin ($5\text{ g} < 7\text{ g} < 10\text{ g}$).

NATIJA

Shunday qilib, taqdim etilgan sxema tuzish misolida keskin holatlarga olib keladigan tafovut, mavjud 60 kg namunani boshlang'ich og'irligi tarkibidagi elementlar miqdoriga 7 g navezka sifati juda yaqin va aynan ushbu og'irlikga ega namuna qismi ishonchli bo'ladi hamda unga asoslanib natijalarni namuna atrofidagi oraliq masofalarga tarqatish mumkin. Masalan profillarda joy olgan burg'ilash quduqlari orasidagi masofani yarimigacha (inter-va ekstrapolyatsiya o'tkazishga ishonchli asos yaratiladi).

Ko'tarilgan masala bo'yicha, Richards-Chechett tamoyili buzilishiga tegishli holatlarni V.M.Kreyter va Ye.A.Pogrebitskiy darsliklarida kuzatish mumkin.

Ishlab chiqarish jarayonidan kelib chiqqan holda, ilmiy izlanish natijalari asosida mualliflar Tog'-kon sanoati va geologiya vazirligiga tegishli turli tarmoq muassasalarida namunalariga ishlov berish jarayonida qisqartirish sxemasini tuzish ishlariga e'tiborini keskin kuchaytirish zaruriyati paydo bo'ladi, degan fikrga keladi. Ushbu tafovutlar natijasi geologiya-qidiruv jarayoni so'ngida hisoblangan zaxira ishonchsizligiga olib kelishi mumkin.

Ushbu ko'tarilgan masala murakkabligiga e'tibor berish zaruriyati foydali qazilma konlarini o'zlashtirish davrida (qazib olish), iqtisodiy

sabablarga ko'ra, atroflarida qolib ketgan va sanoat konturiga qo'shilmagan (konditsiya talablariga o'sha vaqtda javob bermagan) qismlarini qayta o'rganib chiqish holati vujudga kelishi mumkin. Ya'ni, tog'-boyiltirish korxonalarida sharoitida oldin hisoblangan zaxiralarni (4-bosqichda) yuqori toifaga o'tkazish, masalan $C_2 > C_1$, hamda ushbu kontur atrofidagi P_1 -toifali bashoratlangan resurslarini C_1 -ga ko'tarish, qo'shimcha zaxiralarni aniqlash vazifalari qo'yiladi. 5-bosqich (ekspluatatsiya) maqsadiga muvofiq, belgilangan vazifalar ustida xarakatlar olib borilishida – yuqoridagi, namunalar jarayoni ishonchligiga tegishli masalalar vujudga keladi. Yana ishonchli uslubiyat orqali namunalar olish (1-bosqich), namunalariga ishonchli ishlov berishda (2-bosqich), Richards qisqartirish tamoyiliga asosan, laboratoriyaga ishonchli "navezka" (laboratoriya talabi bo'yicha ma'lum miqdorga keltirilgan) yuborish vaziyati vujudga keladi.

XULOSA

Demak, namunalar jarayoniga tegishli, o'ta muhim – zaxira hisoblash bilan chambarchas bog'liq bo'lgan ushbu masalaning ba'zi xususiyatlariga doimiy nazorat o'tkazib borish zarur bo'ladi. Ushbu vaziyat doirasida, namunalar ishlari oldiga qo'yilgan asosiy maqsad ma'danni qamrab oluvchi tog' jinslardan turli usullar bilan olingan namunalar o'sha joyning xajmini to'liq "vakili" bo'lishi (konditsiyaviy ishonchli raqamlarga egaligi, element miqdori), kimyoviy tahlildan o'tkazish uchun namuna to'g'ri yo'l orqali qisqartirilishi, "navezka" tarkibidagi foydali komponentlar miqdori namuna boshlang'ich og'irligi (2-8-10 kg) tarkibidagi miqdor holatiga juda yaqin bo'lishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Umuman olganda, ma'danli elementlar yer osti sharoitida turli miqdorlarda tarqalishi xususiyatlarini inobatga olib, butun geologiya-qidiruv ishlari samaradorligini oshirish, uslubiyatini to'g'ri tanlash va ularni qo'llashga asos bo'luvchi omil sifatida namunalar ishlari qat'iy e'tibor qaratish joiz hisoblanadi.

ANALYSIS OF THE RICHARDS-CHECHETTA PRINCIPLE OF PROCESSING GEOLOGICAL SAMPLES

M.N.Zhuraev, B.I.Mirkhodzhaev, Sh.B.Turaev

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

ABSTRACT

The authors of the article considered the features of sample processing, which covers important issues in geological exploration (for solid mineral deposits) and provides figures for determining the quality of the ore (mineral), which are used as the main source for calculating reserves (the "average amount" of useful components, determined from samples taken from mined-out workings traversed in exploration profiles), determining the most important stage of the sampling process, as well as the simplified delivery of this stage of work to geological specialists. In particular, the second stage of the sampling process, aspects related to the "processing" of the obtained samples, the reasons for the discrepancies in the reduction schemes, the results of inattention to this issue by specialists in production conditions, shortcomings in the reduction schemes presented in the educational literature, as well as situations in which the result of these existing situations has a negative impact, were considered.

KEYWORD Sampling, arithmetic mean, Richards-Chechette principle, sample, scheme, condition.

REFERENCE

1. Mirusmanov M.A. / Fundamentals of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits / Study Guide - Tashkent, 2022. - 240 p.
2. Zhuraev M.N., Mirusmanov M.A. / Fundamentals of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits / Textbook. - Tashkent. 2017. 190 p.
3. Mirkhodzhaev B.I., Jumanazarov Sh., Zhuraev M.N. / Features of explaining the Richards-Chechotta principle of sample processing to students in the training of geological specialists / Collection of the International Scientific Forum, Tashkent. 2023. pp. 373-377.
4. Rozikov O.T., Mirkhodzhaev B.I., Zhuraev M., Tursunov J.A. / Fundamentals of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits / Textbook. - Tashkent State Technical University, Tashkent. 2022.
5. Zhuraev M.N., Mirkhodzhaev B.I. / The essence of operational exploration in the extraction of solid minerals. / International Scientific and Technical Conference / Termez - 2024.
6. Zhuraev M.N., Abdiev T.H., Khamroev A.L., Turaev Sh.B. / Process of geological sampling and processing at the Muruntau quarry / Collection of reports of the Republican Scientific and Practical Conference, Tashkent. 2023. pp. 496-499.
7. Zhuraev M.N., Khamroev A.L. / Technological features of quality control of extracted ore at the Muruntau quarry / XIX International Forum-Competition of Students and Young Scientists "Topical Problems of Subsoil Use" St. Petersburg. 2023. pp. 331-333.
8. Yakzhin A.A. / Sampling and Calculation of Solid Mineral Reserves / Moscow. 1954.
9. M.N.Albov. / Sampling of mineral deposits / Moscow. "Nedra" 1975.
10. N.V.Baryshev. / Sampling control. Materials on methods of exploration and accounting for reserves, issue 2. / State Geological Publishing House, 1948.

Mualliflar haqida ma'lumot:

Jo'rayev Mexroj Nurillayevich	– “Foydali qazilma konlari geologiyasi, qidiruv va razvedkasi” kafedrası dotsenti, Geologiya – mineralogiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD). Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, 100095, O'zbekiston Respublikasi, Toshkent shahar, Olmazor tumani Universitet ko'chasi – 2. https://orcid.org/0009-0004-2630-259X e-mail: jorayev.mexroj@tdtu.uz .
Mirxodjayev Bahodir Ismoilovich	– “Foydali qazilma konlari geologiyasi, qidiruv va razvedkasi” kafedrası dotsenti, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, 100095, O'zbekiston Respublikasi, Toshkent shahar, Olmazor tumani Universitet ko'chasi – 2.
To'rayev Shoxruhbek Baxtiyor o'g'li	– “Foydali qazilma konlari geologiyasi, qidiruv va razvedkasi” kafedrası assistenti, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, 100095, O'zbekiston Respublikasi, Toshkent shahar, Olmazor tumani Universitet ko'chasi – 2. https://ORCID.ORG/0009-0003-8619-225X e-mail: torayevshoxruhbek89@gmail.com .

KONCHILIK KORXONALARINING 0,4 KV KUCHLANISHLI TARMOQLARIDA ELEKTR ENERGIYASINING SIFAT KO'RSATKICHLARI VA ISROFLARINI EKSPERIMENTAL TADQIQ QILISH

M.K. Bobojanov¹, R.Ch. Karimov¹, O.S. Raximov², A.L. Haqberdiyev¹, D.Sh. Xushvaktov¹

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Xo'jand shahridagi Politexnika instituti, Xo'jand, Tojikiston

Doi: 10.5281/zenodo.18093006

ANNOTATSIYA

Maqolada 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlarida elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlari va energiya isroflarini eksperimental tadqiq qilish masalasi o'rganilgan. Respublikada ishlab chiqarish korxonalari va sexlar sonining ko'payishi natijasida tarmoqlarda bir yoki uch fazali iste'molchilarning nosimmetrik taqsimlanishi kuzatilmoqda, natijada fazalar nomutanosibligi va yuklama toklarining nosimmetrikligi hisobidan energiya isroflarini 21% gacha oshishiga olib kelmoqda. Tadqiqot jarayonida 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalari tarmog'ining boshlang'ich parametrlari, bir chiziqli elektr ta'minoti sxemasi va liniya yuklama toklari aniqlandi. Elektr energiyasi sifatini baholash va isroflar darajasini aniqlash masalasi AR6-analizatori yordamida amalga oshirildi. Eksperiment natijalari kunlik iste'mol, iste'molchi-lar xususiyatlari va elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlari bo'yicha raqamli ma'lumotlar bazasini shakllantirish imkonini berdi. Energiya isrofiga asosiy ta'sir etuvchi omillar sifatida transformator va elektr iste'molchilar quvvat-larining nomutanosibligi, fazalarning nosimmetrik yuklanishi va o'zgartiruvchi qurilmalarning yuqori garmonikalarni hosil qilinishi tarmoq sifatiga ta'siri aniqlangan. Shu asosda 0,4 kV kuchlanishli konchilik sanoati tarmoqlarida energiya isroflarini kamaytirish va elektr energiyasi sifatini yaxshilash bo'yicha chora-tadbirlar ishlab chiqish imkoniyatlari ko'rib chiqilmagan.

KALIT SO'ZLAR

O'zDSt 1044:2003 davlat standarti; 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmog'i; elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari; energiya isroflari; fazalar nosimmetriyasi, eksperimental tadqiqot; energetik tahlil; AR6-analizatori.

KIRISH

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq elektr energiyasining sifati quyidagi parametrlar bilan aniqlanadi: kuchlanishning og'ishi va tebranishi, chastotaning og'ishi va tebranishi, tok va kuchlanishlarning nosinusoidaligi, tok va kuchlanishlarning nosimmetriyasi, o'takuchlanish, impulsli kuchlanish va boshqalar [2].

Ishchi va nominal (ruxsat etilgan) kuchlanishlar orasidagi farq *kuchlanish og'ishi* deb atalib, quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi.

$$\Delta U = U - U_{nom.}; \quad \Delta U_{\%} = \frac{U - U_{nom.}}{U_{nom.}} \quad (1)$$

bu yerda, $U_{nom.}$ - nominal kuchlanish (ruxsat etilgan), V; U - ishchi kuchlanish, V.

Uch fazali tarmoqlarda ishchi kuchlanish sifatida liniya (tarmoq) kuchlanishi qabul qilinadi. O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga ko'ra, elektr energiyasi iste'molchilarining chiqishlaridagi kuchlanish og'ishining normal ruxsat etilgan qiymati $\pm 5\%$ ni, favqulodda holatlarda chegaraviy ruxsat etilgan qiymati esa elektr tarmog'i nominal kuchlanishining $\pm 10\%$ ni tashkil etadi. Shuning uchun "Kuchlanishning og'ishi" tushunchasiga, manba kuchlanishining 1 daqiqadan kam bo'lmagan vaqt davomida iste'molchi kuchlanishining maksimal va minimal darajalarga o'zgarishlari tushuniladi [3-9].

Kuchlanishning tebranishi - kuchlanishning o'zgarish chegarasi - δU_t va analizator ulushi - P_t bilan tavsiflanadi. Elektr ta'minoti tizimida sodir bo'ladigan kuchlanishning tebranish manbai, bu quvvat iste'molchilari hisoblanib, iste'mol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvat-larining o'zgarishlariga bog'liqdir. Kuchlanishning o'zgarish chegarasini kattaligi har bir davrda aniqlanadigan asosiy chastota kuchlanishining o'rtacha kvadratik qiymatlarini aylanib o'tuvchi gorizontal qismi ekstremumlarining ketma-ket keladigan qiymatlari orasidagi farq bilan aniqlanadi.

Kuchlanishning o'zgarish chegarasi - δU_t foiz hisobida quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi [7-9]:

$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{nom.}} \cdot 100 \quad (2)$$

bu yerda, U_i, U_{i+1} - asosiy chastota kuchlanishining o'rtacha kvadratik qiymatlarini aylanib o'tuvchi gorizontal qismida ketma-ket keluvchi ekstremumlar yoki ekstremumlarning qiymatlari.

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq elektr ta'minoti tizimi kuchlanishining tebranish davomiyligi 1 daqiqadan kam, shu jumladan kuchlanishning tez o'zgarishi "*analizator hissasi*" hisoblanadi. Analizator (inglizcha "analysis" so'zining tarjimasidir) deb, kuchlanishning o'zgarishi natijasida sun'iy yoritish manbalarining yorug'lik oqimi

tebranishlarining inson tomonidan sub'ektiv qabul qilinishiga aytiladi [6-9].

Kuchlanishning o'zgarishi natijasida analizatorning qisqa muddatli hissasi - P_{st} paydo bo'ladi, u 10 daqiqa vaqt oralig'ida o'lchanadi va analizatorning uzoq muddatli hissasi - P_{lt} , elektr uzatish liniyasining belgilangan nuqtasida 2 soat oralig'ida sodir bo'ladi. 100% vaqt oralig'ida, haftada analizatorning qisqa muddatli hissasi 1,38 dan va uzoq muddatli hissasi 1,0 dan oshmasligi kerak [7-11].

10 daqiqa oralig'idagi qisqa muddatli analizator hissasi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi [9]:

$$P_{st} = \sqrt{k_1 P_{0,1} + k_2 P_1 + k_3 P_3 + k_4 P_{10} + k_5 P_{50}} \quad (3)$$

bu yerda, $k_1 = 0,0314 - 0,1\%$ daraja uchun; $k_2 = 0,0525 - 1,0\%$ daraja uchun; $k_3 = 0,0657 - 3\%$ daraja uchun; $k_4 = 0,28 - 10\%$ daraja uchun; $k_5 = 0,08 - 50\%$ daraja uchun.

Agar kuchlanishning umumiy tebranishlari ishning tasodifiy xususiyati bilan tavsiflanadi-gan bir qator keskin o'zgaruvchan yuklamalar (payvandlash, elektr dvigatellar va boshqalar) bilan bog'liq bo'lsa, ko'rib chiqilayotgan vaqt oralig'ida P_{lt} - analizatorning uzoq muddatli hissasi 10 daqiqalik qiymatlar to'plamidan kelib chiqqan holda aniqlanadi [9-10]:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N P_{st}^3} \quad (4)$$

0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlari uchun mos ravishda $P_{st} \leq 1$; $P_{lt} \leq 0,8$; $\delta U_t \leq 8\%$ bo'lib, ushbu me'yorlar elektromagnit moslik darajasini belgilaydi.

Chastotaning og'ishi - elektr ta'minoti manbai kuchlanishining asosiy chastotasi qiymati-ning nominal (ruxsat etilgan) qiymatidan farqi sifatida aniqlanib, quyidagi ifoda bilan topiladi:

$$\Delta f = f - f_{nom} \quad (5)$$

bu yerda, f - O'zDSt 1044:2003 davlat standarti talablariga muvofiq 10 sekund vaqt oralig'ida o'lchangan chastotaning haqiqiy qiymati, Gs; f_{nom} - nominal (ruxsat etilgan) chastota, Gs.

O'zDSt 1044:2003 davlat standarti bo'yicha Respublika energetika tizimidagi chastotaning nominal qiymati 50 Gs deb qabul qilingan bo'lib, chastotaning og'ishi bir haftada 95% vaqt oralig'ida $\pm 0,2$ Gs chastotadan va bir haftada 100% vaqt oralig'ida $\pm 0,4$ Gs chastotadan oshmasligi talab qilinadi [7-13].

Kuchlanish nosinusoidal - bu kuchlanish egri chizig'i shaklining sinusoidalini buzilish darajasi bilan tavsiflanadi. Shuningdek, kuchlanish egri chizig'i shaklining buzilish koeffitsienti - k_{ne} % kattaligi bilan tavsiflanib, asosiy chastota kuchlanishi - U_1 ga yoki nominal (ruxsat etilgan) kuchlanishning yuqori garmonikasining amaldagi qiymati - U_v ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$k_{ne} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_1} \cdot 100 \approx \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_{nom}} \cdot 100 \quad (6)$$

bu yerda, U_v - v -garmonika kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati, V; n - hisobga olinadigan garmonikalar soni.

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'i uchun k_{ne} - nosinusoidal koeffitsientining ruxsat etilgan qiymati $k_{ne} = 8\%$ ga va chegaraviy qiymati $k_{ne} = 12\%$ ga teng bo'lib, O'zDSt 1044:2003 davlat standarti talablariga muvofiq, kuchlanishning v -garmonik tashkil etuvchi koeffitsiyenti qiymatlari quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$K_{U(v)} = \frac{U_v}{U_1} \cdot 100 \quad (7)$$

Kuchlanish nosimmetriyasi asosiy chastota parametrlari bo'yicha stabillashmaydi. Agar faza kuchlanishlarining amplitudalari va ularning siljishi teng bo'lsa, u holda kuchlanish simmetrik bo'ladi. Agar parametrlardan birida buzilish sodir bo'lsa, u holda bu kuchlanish nosimmetrik ekanligini anglatadi. Kuchlanish nosimmetriyasini baholash uchun simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalaniladi va sinusoidal (o'zgaruvchan) kuchlanish tizimi uchta simmetrik tashkil etuvchilarga bo'linadi: to'g'ri, teskari va nol ketma-ketlik. Mazkur metodika asosida, kuchlanishlar nosimmetriyasini baholash uchun elektr energiyasining sifat ko'rsatkich-lari ham o'rnatilgan [7-14]:

- 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmog'idagi teskari ketma-ketlik kuchlanishining nosimmetriya koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100\% = \frac{U_{2(1)}}{U_{nom}} \cdot 100\% \quad (8)$$

- 0,4 kV kuchlanishli to'rt simli elektr tarmog'i uchun nol ketma-ketlikdagi nosimmetrik kuchlanish koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3} U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100\% = \frac{U_{0(1)}}{U_{nom.f}} \cdot 100\% \quad (9)$$

bu yerda, $U_{2(1)}$ va $U_{0(1)}$ - nol va teskari ketma-ketlikdagi kuchlanishlar, V; $U_{1(1)}$ - to'g'ri ketma-ketlikdagi fazalararo kuchlanish, V.

To'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikdagi kuchlanishlar quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$U_{1(1)} = \frac{1}{3}(U_A + aU_B + a^2U_C);$$

$$U_{2(1)} = \frac{1}{3}(U_A + a^2U_B + aU_C);$$

$$U_{0(1)} = \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C) \quad (10)$$

bu yerda, U_A, U_B, U_C - elektr tarmog'i fazalarining kuchlanishi, V; $a = e^{j2\pi/3}$ - uch fazali tizim operatorlari.

Kuchlanishning pasayishi, bu elektr tarmog'ining ma'lum nuqtalarida kuchlanishning nominal (ruxsat etilgan) - U_{nom} qiymatining to'satdan 10% dan ortiq pasayishi bilan xarakterlaydi. Shuningdek, kuchlanish pasayishining asosiy sababi sifatida ochiq taqsimlovchi qurilmalarning uzatish liniyasi yoki shinasiga yashin tushishi ham asos bo'lishi mumkin. Bu holda, qisqa tutashuv jarayoni sodir bo'lib, bunda

elektr uskunalarning himoya qurilmalari (tok relesi, kuchlanish relesi va boshqalar) va avtomatik tizimlar (avtomatik qayta ulagich - APV, zaxiradagi manbani avtomatik ulagich - AVR, tok bo'yicha avtomatik yuksizlantirgich - ATR, chastota bo'yicha avtomatik yuksizlantirgich - AChR) ishga tushadi.

Kuchlanishning pasayish chuqurligi (kuchlanishning minimal qiymati) - δU_n bilan hamda pasayish vaqtining davomiyligi - Δt_n orqali tavsiflanib, quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$\delta U_n = \frac{U_{nom} - U_{min}}{U_{nom}} \cdot 100\% \quad (11)$$

bu yerda, U_{nom} - uch fazali elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi, V; U_{min} - elektr tarmog'ining nazorat nuqtasidagi qoldiq yoki minimal kuchlanish, V.

Ishonchlik nuqtai nazardan, ishdan chiqish vaqtining davomiyligi kuchlanishning tiklanish vaqti - t_t va kuchlanish buzilishining boshlanish vaqti - t_b o'rtasidagi farq sifatida hisoblanadi:

$$\Delta t_p = t_t - t_b \quad (12)$$

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq, elektr tarmog'idagi kuchlanishni pasayish vaqtining davomiyligi 1 daqiqadan oshmasligi kerak.

Vaqtinchalik o'takuchlanish deb, kommutatsiya (ulab-uzish) yoki qisqa tutashuv paytida elektr ta'minoti tizimida yuzaga keladigan, davomiyligi 10 ms vaqtdan ortiq bo'lgan va $1,1U_{nom}$ dan yuqori elektr tarmog'i nuqtasida kuchlanishning ko'tarilishi tushuniladi.

Elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlari doirasida iste'molchi kuchlanishining O'zDSt 1044:2003 davlat standardi talablariga mos kelmasligi elektr tarmog'ida qo'shimcha aktiv quvvat isrofiga olib keladi. Nosinusoidal kuchlanish hisobidan transformatorlarda toklarni yuqori garmonikasi sababli paydo bo'ladigan qo'shimcha isroflar, quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [9-14].

$$\Delta P_{\Sigma v.g.tr.} = 3 \sum_2^n I_{(n)}^2 r_1 k_{r(n)} \quad (13)$$

bu yerda, $I_{(n)}$ - n -garmonikaning elektr toki, A; r_1 - asosiy chastotadagi aktiv qarshilik, Om; $k_{r(n)}$ - tok o'tkazuvchi qismlar aktiv qarshiligining n -garmonikada o'zgarish koeffitsiyenti. Hisoblashlarda $k_{r(5)} = 2,1$; $k_{r(7)} = 2,5$; $k_{r(11)} = 3,2$; $k_{r(37)} = 6,08$; $k_{r(39)} = 6,24$.

Elektr uzatish liniyalarida toklarning yuqori garmonikalaridan paydo bo'ladigan qo'shimcha isroflar (13) ifodaga muvofiq aniqlanadi va bunda n -garmonika chastotasida tok o'tkazuvchi qismlar aktiv qarshiligining o'zgarish koeffitsiyenti - $k_{r(n)} = \sqrt{n}$.

Konchilik sanoatining 0,4 kV kuchlanishli nol simli elektr tarmoqlarida nol ketma-ketlik toklarining nosimmetrikligidan kelib chiqadigan qo'shimcha isroflarni o'rganish zarur. Shundan, (13) ifodaga muvofiq, tarmoq fazalarining nosimmetrik yuklamalarini hisobga olgan holda radial elektr tarmoqlarida quvvat isroflarini hisoblash ifodasi quyidagi ko'rinishga bo'ladi:

$$\Delta P_{EUL} = k_{ui} I_{ei}^2 r_{ei} k_{qi} \quad (14)$$

bu yerda, k_{ui} - tarmoq uchastkasi fazalari soni koeffitsiyenti; r_{ei} - tarmoq uchastkasining aktiv qarshiligi, Om; k_{qi} - fazalarning notekis yuklanishidan kelib chiqadigan qo'shimcha isroflarni hisobga oluvchi koeffitsiyent:

$$k_q = N_{kv}^2 \left(1 + 1,5 \frac{r_{og}}{r_{fg}} \right) - 1,5 \frac{r_{og}}{r_{fg}},$$

bu yerda, r_{og} , r_f - nol va faza simlarining qarshiliklari, Om; $N_{kv}^2 = 3 \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{(I_A + I_B + I_C)^2}$ - faza toklarining notekis taqsimlanish koeffitsiyenti; I_A , I_B , I_C - elektr tarmog'ining alohida fazalarining o'lchadigan toklari, A.

(13) va (14) ifodalarga ko'ra, elektr tarmog'idagi aktiv energiyaning kunlik isroflari quyidagiga teng:

$$\Delta W = (\Delta P_{\Sigma v.g.tr.} + \Delta P_{LEP}) \cdot 24 \quad (15)$$

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W}{W} \cdot 100\% \quad (16)$$

bu yerda, W - aktiv energiyaning kunlik iste'moli, kVt-soat; $\Delta W_{\%}$ - aktiv energiyaning kunlik isrofi, %.

MATERIAL VA USULLAR.

0,4 kV kuchlanishli tarmoqlarda elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlarining energiya isroflariga ta'sirini baholash uchun Respublikamizning Surxondaryo viloyati Boysun tumani Rabot qishlog'ining past kuchlanish xarakterli elektr tarmog'ida eksperimental tadqiqotlar o'tkazildi (tadqiqot ob'ekti sifatida). Tadqiqot jarayoni "Elektr energiyasining miqdor va sifat ko'rsatkichlari analizatorlari - AR6" kompleks raqamli elektron o'lchov asbobi yordamida amalga oshirildi.

Ushbu AR6-analizatori "Circutor Grup" (Ispaniya) firmasi tomonidan ishlab chiqarilgan bo'lib, O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq elektr energiyasining asosiy sifat ko'rsatkichlarini, shuningdek, uch fazali to'rt simli elektr tarmog'ida tok, kuchlanish, quvvat va elektr energiyasi kabi alohida fazalarning boshqa elektr parametrlarini o'lchash hamda qayd etish imkonini beradi. Mazkur o'lchov qurilmasini elektr tarmoqlarida monitoring va energiya auditini o'tkazish uchun ham ishlatish mumkin. Tadqiqot natijalarini qayta ishlash tartibi AR6-analizatori "Dasturiy majmualarni ishga tushirish va sozlash tartibi" qo'llanmasida keltirilgan.

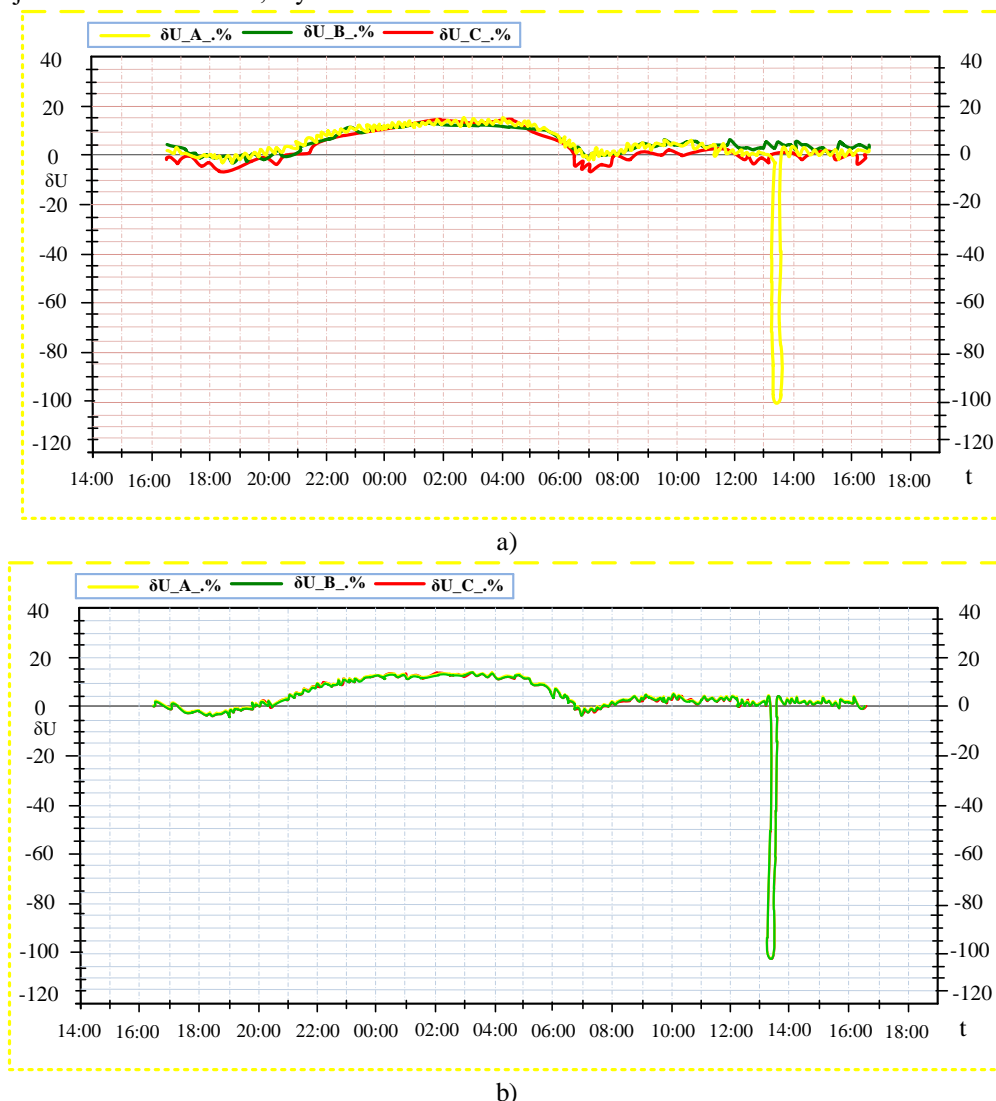
Kuchlanishi 0,4 kV bo'lgan past kuchlanishli elektr tarmog'ining energetik parametrlarini o'lchash va ro'yxatga olish jarayoni, asosan 160 kVA quvvatli transformatorida amalga oshirildi. Masalan, quvvati 160 kVA bo'lgan transformatorli TPdan 183 ta aholi xonadonlari elektr energiyasi bilan ta'minlanadi. Tadqiqot ob'ektida jami 420 ta aholi xonadonlari va boshqa elektr iste'molchilari mavjud.

Eksperimental tadqiqotlar o'tkazilgandan so'ng, natijalarni umumlashtirish va zamonaviy kompyuterda qayta ishlash maqsadida, EmWorkNet_setup amaliy dasturi va PostgreSQL ma'lumotlar bazasidan foydalanildi.

NATIJALAR

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog‘ining faza va liniya kuchlanishlarini kunlik monitoringini qayta ishlash natijasi shuni ko‘rsatdiki, ayrim soatlarda

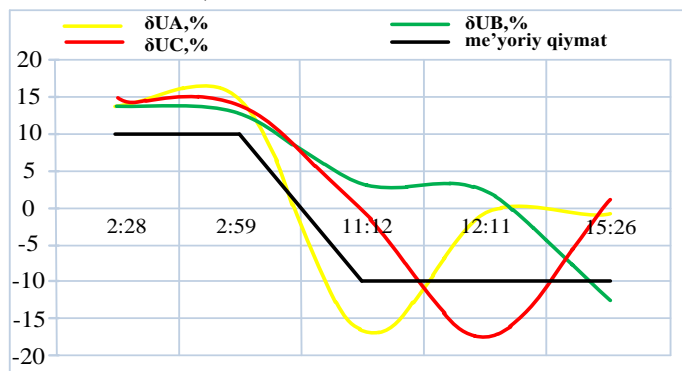
kuchlanishning kunlik og‘ishlari O‘zDSt 1044:2003 davlat standarti bo‘yicha ruxsat etilgan maksimal qiymatdan $\pm 10\%$ dan oshadi va (15-17)% ni tashkil etmoqda (1,a va b-rasmlarga qarang).



1-rasm. 0,4 kV li elektr tarmog‘i faza (a) va liniya (b) kuchlanishlarining kunlik og‘ish tasviri

Tarmoq faza kuchlanishlari og‘ishining umumlashgan bog‘liqlik grafigi natijasi shuni ko‘rsatadiki, tungi soatlarda alohida fazalar kuchlanishi nominal qiymatdan 5-7% ga oshmoqda (2-rasm). Ertalabki va kechki soatlarda esa, alohida

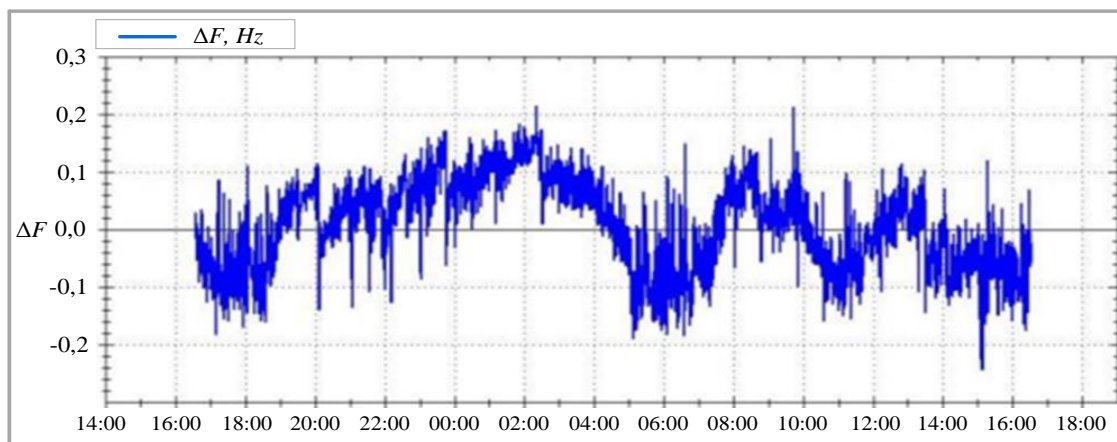
fazalarning faza kuchlanishi nominal qiymatdan past va nosimmetrik. Bu esa, bir fazali elektr iste‘molchilar tomonidan alohida fazalarning notekis yuklanishi bilan izohlanadi.



2-rasm. 0,4 kV li elektr tarmog‘i faza kuchlanishining me’yordan ortiq og‘ishi

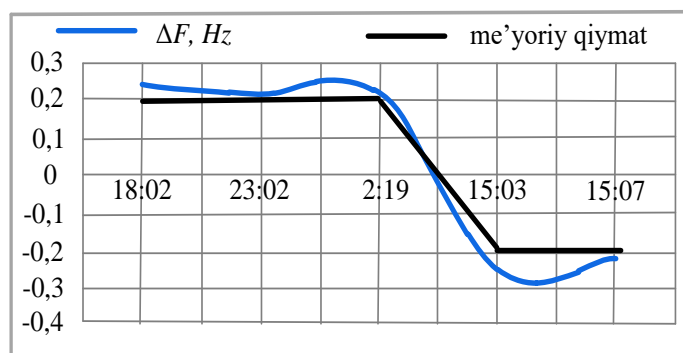
Tadqiqot ob'ektida elektr energiyasining asosiy iste'molchilari hovli xonadonlari (taxminan 90-95%) bo'lib, ularni elektr yuklamalari sifatida yoritgichlar va kichik quvvatli maishiy elektr iste'molchilar tashkil

etiladi. Bundan, 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida chastotaning kunlik og'ishi natijasi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmoq chastotasining kunlik og'ish grafi

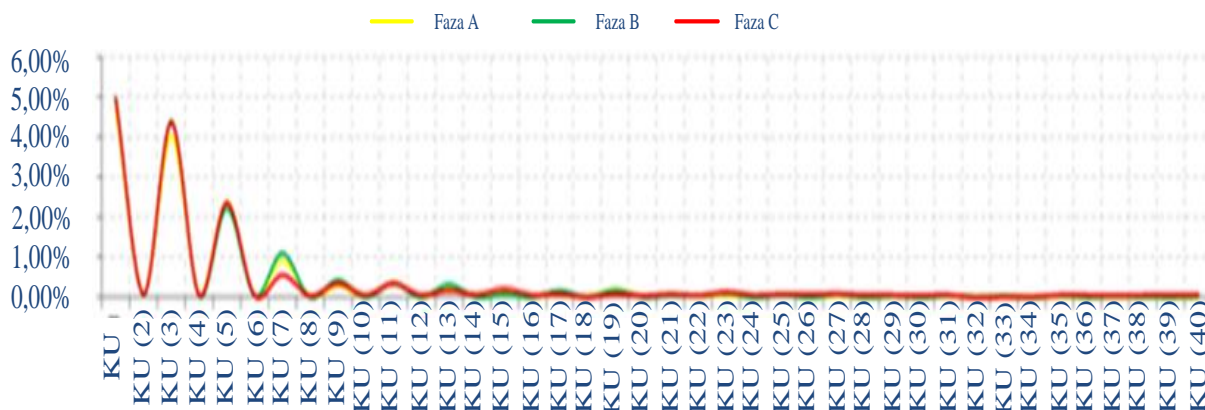
0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida chastota og'ishining umumlashgan bog'liqlik grafi 4-rasmda keltirilgan.



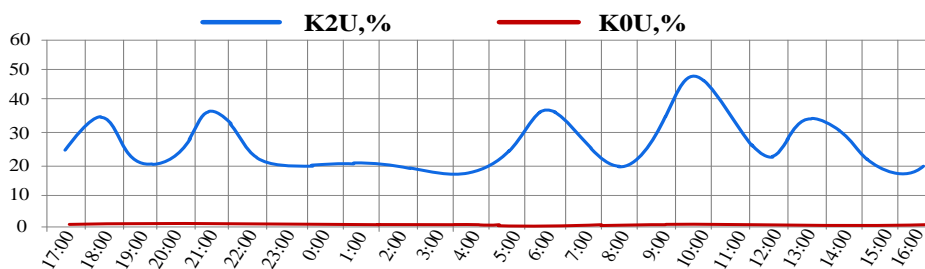
4-rasm. 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmoq chastotasining og'ishi

4-rasmda keltirilgan tadqiqot natijasidan ko'rinib turibdiki, O'zDSt 1044:2003 davlat standarti tomonidan chastotaning ruxsat etilgan maksimal qiymatdan $\pm 0,2$ Gs ga sezilarsiz og'ishi kuzatilmog'ida.

Tarmoqdagi kuchlanish va tokning egri chiziqlari shakli nosinusoidalini tahlil qilish natijalari shuni ko'rsatmog'daki, elektr tarmog'ida tokning yuqori garmonikalari sezilarli oshgan (5-rasm).



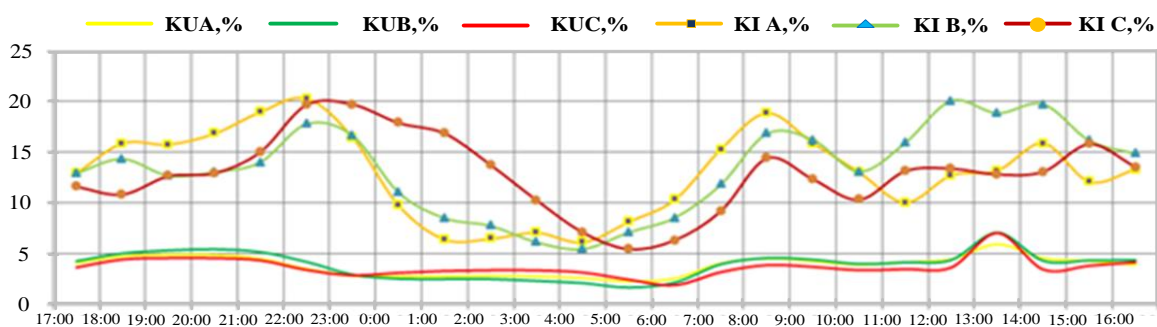
5-rasm. 0,4 kV li tarmoq kuchlanishi chastotasining garmonik o'zgarishi



6-rasm. 0,4 kV li tarmoq kuchlanish nosimmetriyasi ko'effitsientining kunlik o'zgarishi

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida nol va teskari ketma-ketlikning simmetrik tashkil etuvchilari bilan baholanadigan fazaviy va chiziqli kuchlanishlarning nosimmetrik ko'effitsiyent-larini aniqlash natijalari 6-rasmda keltirilgan.

Faza kuchlanishi va toklarining nosimmetrik ko'effitsiyentlari tahlili natijasi (7-rasmga qarang) shuni ko'rsatadiki, alohida fazalar kuchlanishi va toklarining nosimmetrikligi kunning kechki va kunduzgi soatlarida sodir bo'ladi.

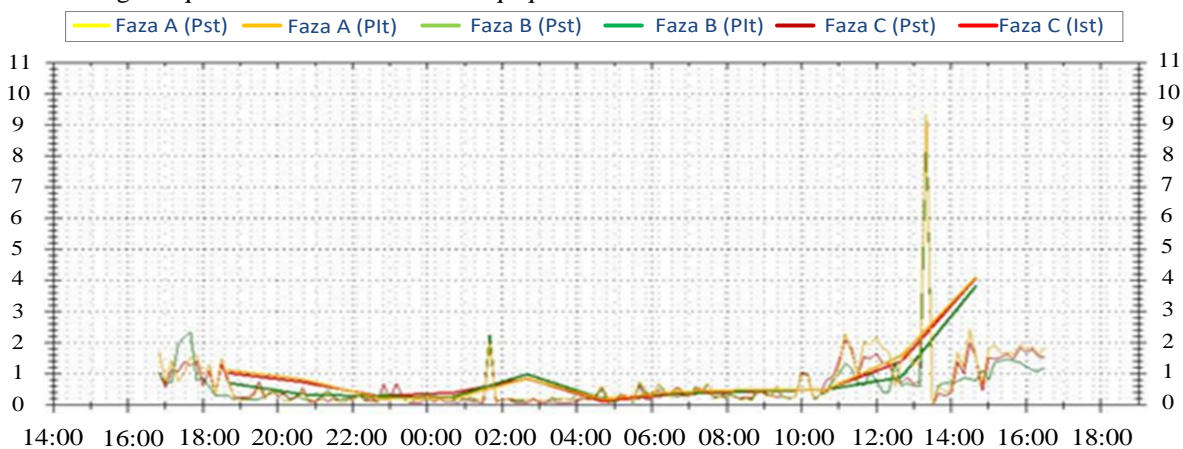


7-rasm. 0,4 kV li tarmoqning alohida fazalari tok va kuchlanishlarining nosimmetrik ko'effitsientlari bog'liqligining kunlik grafigi

Faza kuchlanishi va toklari nosimmetriyasi yuzaga kelishining asosiy sababi sifatida, alohida fazalar yuklamalarining notekis taqsimlanishi bilan izohlash mumkindir. Ma'lumki, kuchlanish va toklarning nosimmetrikligi 0,4 kV kuchlanishli tarmoqning alohida elementlarida qo'shimcha quvvat isroflarini yuzaga keltiradi [3-14].

muddatli analizator hissasi esa 1,38 dan oshmadi. Eksperimental tadqiqotlar davomida olingan analizator hissalarini o'lchash natijalari 8-rasmda keltirilgan bo'lib, tadqiqot natijalari-dan analizator hissasi O'zDSt 1044:2003 davlat standarti tomonidan ruxsat etilgan qiymatlardan oshganligini ko'rsatmoqda.

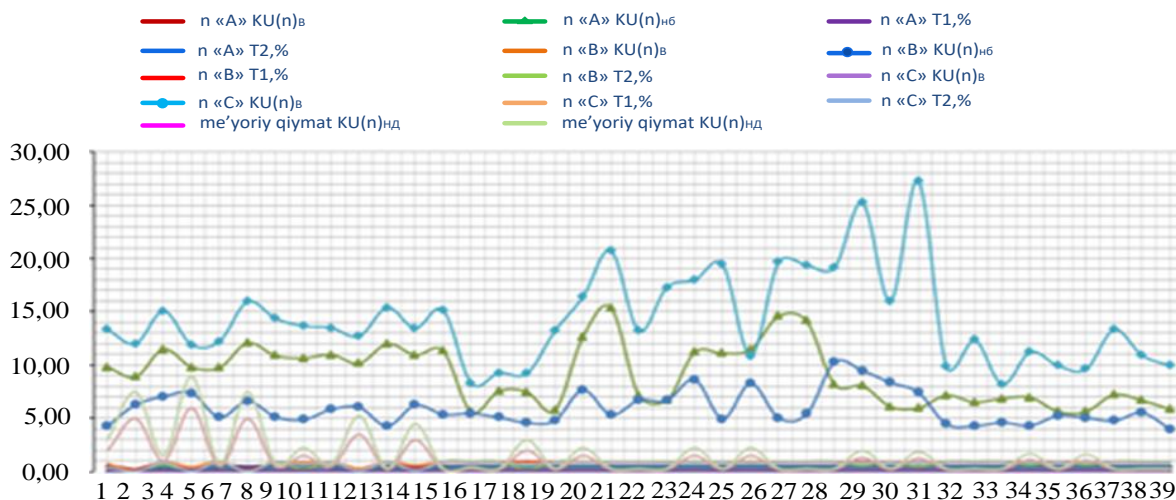
0,4 kV kuchlanishli tarmoqlar uchun AR6-analizatorining uzoq muddatli hissasi 1 dan va qisqa



8-rasm. AR6-analizatorining uzoq muddatli - P_{lt} va qisqa muddatli - P_{st} hissalariga bog'liqligining kunlik grafigi

Bu holat elektr iste'molchilarining quvvati TP transformatorining quvvati bilan birga o'lchanganligi natijasidir. Demak, elektr iste'molchilarning ishga tushishidan elektr energiyasi sifati ko'rsatkichlariga ta'sirini va natijada elektromagnit moslik darajasining pasayishini kuzatish mumkin. Bundan tashqari, analizator hissalarining standart talablariga mos kelmasligi ham yoritish asboblari yorqinligining miltillashiga olib keladi [3-14].

Tok va kuchlanishlarning yuqori garmonik tashkil etuvchilari nosinusoidallik koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. 9-rasmda TPning T1 va T2 transformatorlarini 0,4 kV kuchlanishli shina-laridagi 39-garmonikagacha bo'lgan alohida fazalar kuchlanishlarining yuqori garmonik tashkil etuvchi koeffitsiyentlari keltirilgan.



9-rasm. Elektr energiyasini n-garmonika koeffitsiyenti bo'yicha o'lchash natijalari

Rasmdan ko'rinib turibdiki, C-fazadagi 19, 28 va 30-garmonik koeffitsiyentlar maksimal qiymatga ega va ruxsat etilgan qiymatlardan oshib ketgan.

Fazaviy siljish koeffitsiyentlarini aniqlash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Kuchlanish egri chizig'ining faza siljish koeffitsiyentlarini o'lchash natijalari

O'lchanadigan xarakteristika	A-faza			B-faza			C-faza			Me'yoriy qiymatlar
	O'lchov natijalari	T ₁ , %	T ₂ , %	O'lchov natijalari	T ₁ , %	T ₂ , %	O'lchov natijalari	T ₁ , %	T ₂ , %	
$K_{U,v}$	0	0,49		0	0,99		0	0,91		8
$K_{U,nb}$	34,69		0,49	23,32		0,99	40,65		0,91	12
	AB-fazalararo			BC-fazalararo			CA-fazalararo			
$K_{U,v}$	0	0		0	0		0	0		8
$K_{U,nb}$	4,14		0	6,34		0	4,39		0	12

1-jadval natijalari shuni ko'rsatadiki, fazalar kuchlanishi nomutanosibligidan egri chizig'i-ning siljish koeffitsiyenti ($K_{U,nb} > 12$) ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lib, bu esa fazalar nosimmetriyaligini ko'rsatadi. Fazalararo kuchlanish egri chizig'ining siljish koeffitsiyentlari ($K_{U,nb} < 12$)

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga mos keladigan qiymatdan kichik.

0,4 kV kuchlanishli tarmoqlardagi o'tkinchi jarayon va o'takuchlanishlarni baholash natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

O'tkinchi jarayon va o'ta kuchlanishlarni o'lchash natijalari

O'tkinchi jarayon			
Kuchlanish	U_A	U_B	U_C
Soni	1	1	1
Jami davomiylik, sek	00:14:09.016	00:14:09.037	00:14:09.071

Максимальная глубина, %	99,98	99,98	99,98
O'ta kuchlanish			
Kuchlanish	U_A	U_B	U_C
Soni	13	15	6
Jami davomiylik, sek	07:32:05.694	06:35:14.715	06:20:22.351
Максимальная глубина, %	1,15	1,14	1,15

1-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, tarmoqdagi kuchlanishning pasayishi soat 13:17 dan 13:31 gacha kuzatilgan, buni 6-rasm ma'lumotlari ham tasdiqlaydi. Vaqtning 06:20, 06:35 va 07:32 daqiqalarida tadqiqot ob'ektidagi tarmoq fazalarida kuchlanish me'yordan yuqori bo'lib, bu esa elektr uskunalarning ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda.

Transformatorlardagi quvvat isroflarini aniqlash uchun 3-jadvalda keltirilgan boshlang'ich ma'lumotlardan foydalanildi.

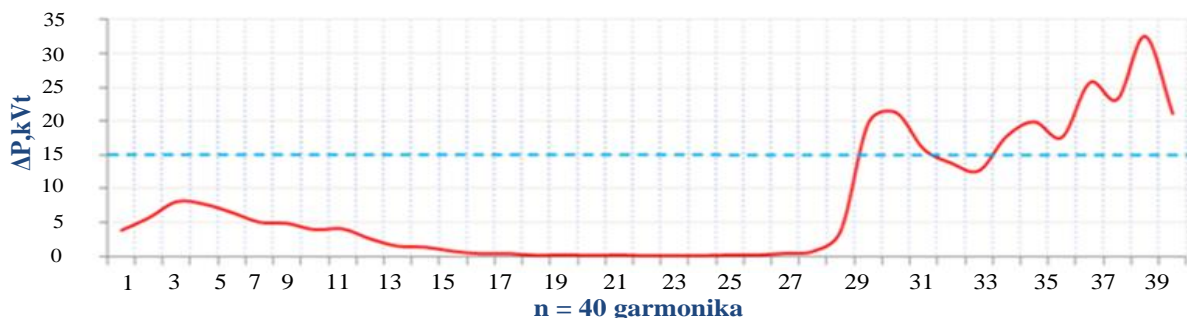
AR6-analizatori yordamida o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalariga ko'ra, tadqiqot ob'ektida kunlik iste'mol qilinadigan elektr energiyasi quvvati $W=7681$ kVt·soatni tashkil etgan.

3-jadval

Transformator va havo elektr uzatish liniyasi parametrlari

TP, kVA	$r_{tr.}, Om$	I_A, A	I_B, A	I_C, A
TM-160/10/0,4	4,35	31	42	43
0,4 kV kuchlanishli HEUL				
S_{EUL}, mm^2	L, km	r_f, Om	N_{kv}^2	k_q
25	1	1,14	1,02	1,1

Transformatoridagi yuqori garmonikalar hisobiga aktiv quvvatning qo'shimcha isrofini o'zgarish grafigi 10-rasmda ko'rsatilgan.



10-rasm. Transformatoridagi aktiv quvvat isrofining o'zgarish grafigi

Yuqori garmonikalar ta'siridagi quvvat isrofi (13)-ifoda bo'yicha aniqlanadi. 10-rasmdan ko'rinib turibdiki, 37- va 39-garmonikalardan kelayotgan quvvat isrofi nisbatan katta qiymatga ega bo'lib, ulardan kelayotgan aktiv quvvat isrofi yig'indisi $\Delta P_{v.g} = 58,28$ kVt. Alohida garmonikalarni hisobga olganda $I_{(37)} = 18$ A, $I_{(39)} = 20$ A tokni tashkil etmoqda.

0,4 kV kuchlanishli elektr uzatish tarmog'idagi aktiv quvvat isrofini 3-jadval ma'lumotlari asosida (14)-ifodani hisobga olgan holda aniqlaymiz.

$$\Delta P_{EUL} = 3 \cdot 38,56^2 \cdot 1,14 \cdot 1,1 = 5,59 \text{ kVt}$$

bu yerda, uch fazali tarmoqdagi tokning qiymati faza toklarining o'rtacha qiymatiga teng deb qabul qilingan.

Transformator va elektr uzatish liniyasidagi (EUL) quvvat isroflari bo'yicha (14) va (15)-ifodalarga muvofiq aktiv energiyaning kunlik umumiy isroflarini aniqlaymiz.

$$\Delta W = (58,28 + 5,59) \cdot 24 = 1532,88 \text{ kVt} \cdot \text{soat};$$

$$\Delta W_{\%} = \frac{1532,88}{7681} \cdot 100\% = 19,96\%.$$

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida aktiv energiya isrofi 19,96% ni tashkil etib, shundan 5,96% yuklama va 14% tarmoqdagi elektr energiya sifatining pastligi hisobidagi qo'shimcha isroflardir.

Yuqorida keltirilgan tadqiqot natijalarini "Boysun ko'mir koni" misolida ham tavsiya etiladi. Chunki tadqiqot o'b'yekti va ko'mir koni elektr ta'minoti "Boysun tumani elektr ta'minoti" korxonasi tomonidan 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'i orqali bir xil ta'minlanadi.

MUHOKAMA

Eksperimental tadqiqotlar natijasida kuchlanishning og'ishi O'zDSt 1044:2003 davlat standartida belgilangan me'yorlardan yuqori ekanligi aniqlandi. 1,a,b-rasmlardan ko'rinib turibdiki, faza va liniya kuchlanishining og'ishi soat 23:00 dan 05:00 gacha +10% dan +15% gacha oshdi hamda soat 13:17 dan 13:31 gacha kuchlanishning pasayishi kuzatildi.

Shuningdek, soat 06:20 dan 07:32 gacha bo'lgan davrda 13 marta o'ta kuchlanish jarayoni yuzaga kelgan (2-jadvalga qarang). Kuchlanish og'ishining nostandart o'zgarishlari 0,4 kV kuchlanishli maishiy elektr iste'molchilarda ishlatiladigan uskunalarning ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. *Masalan*, elektr dvigatel qisqich (klemma)laridagi kuchlanish pasayganda iste'mol qilinadigan quvvat va tok miqdori oshib, dvigatel chulg'amlari qiziydi. Natijada dvigatelning ishlash muddati ham qisqaradi. Dvigatel qisqich (klemma)laridagi kuchlanishning oshishi reaktiv quvvat sarfining ko'payishiga olib keladi. Shuningdek, dvigatelning yuklanish koeffitsiyentining kamayishi bilan reaktiv quvvat sarfi ham ortadi. Kuchlanish ortishining har bir foiziga o'rtacha hisobda reaktiv quvvat iste'moli 3% ga ortadi (asosan dvigatelning salt ishlash tokining oshishi hisobidan), bu esa 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlarida aktiv quvvat isrofining oshishiga olib keladi. Kuchlanishning og'ishi lampalarning yorug'lik oqimiga ham ta'sir qiladi, shuningdek, maishiy texnika (televizor, muzlatgich, kompyuter va boshqalar)ning ish sifati va xizmat muddatiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi.

4-rasmda soat 18:00 dan 02:19 gacha bo'lgan oraliqda chastotaning og'ishi +2 Gs dan ortiq, soat 15:00 dan 15:07 gacha esa -2 Gs dan -3 Gs gacha bo'lishi ko'rsatilgan. CHastotaning 49,9 dan 49,5 Gs gacha o'zgarishi, *masalan*, televizorning texnik signalini me'yordan deyarli to'rt barobar oshishiga olib keladi va uskunaning ishlash muddatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

XULOSA

Eksperimental tadqiqotlar natijasida 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining tarmoqlarida elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari O'zDSt 1044:2003 davlat standarti me'yorlariga mos kelmaganida, ortiqcha isroflar yuzaga kelishi aniqlandi. Kuchlanish va energiya isroflari fazaviy yuklamalarning notekis taqsimlanishi hamda fazaviy kuchlanishlarning yuqori garmonikalarini paydo bo'lishi tufayli yuzaga keladi. Shuningdek, yuqori garmonikalar hisobidan aktiv quvvat isrofi 19,96% ni tashkil etishi aniqlandi.

Eksperimental tadqiqotlar natijalari quyidagilarni aniqlash imkonini berdi:

- 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlarida energiya isrofining oshishiga ta'sir ko'rsatuvchi asosiy omillar sifatida TP transformatorlari va iste'molchilar quvvatining mutanosib emasligi, shuningdek, alohida fazalar yuklanishining notekisligini hisoblash mumkin;

- alohida o'zgartiruvchi qurilmalarning ishlashining tarmoqdagi elektr energiyasi sifatiga sezilarli ta'siri mavjud va yuqori garmonika filtrlarini o'rnatish talab etiladi;

- TP transformatori chiqish fiderlaridagi iste'molchilar qisqichlaridagi faza kuchlanishlari-ning bir tekisligini ta'minlash uchun 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining tarmoqlarida elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash tamoyili asosida fazalar yuklamasining simmetriyalash chora-tadbirlarini amalga oshirish kerak.

EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTRIC POWER QUALITY PARAMETERS AND LOSSES IN 0.4 KV DISTRIBUTION NETWORKS OF MINING ENTERPRISES

M.K. Bobojonov¹, R.Ch. Karimov¹, O.S. Raximov², A.L. Haqberdiyev¹, D.Sh. Xushvaktov¹

¹Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

²Polytechnic Institute in Khujand, Khujand, Tajikistan

ABSTRACT

The article examines the issue of experimental research on the quality indicators of electric energy and energy losses in mining industry electrical networks with a voltage of 0.4 kV. As a result of the increase in the number of manufacturing enterprises and workshops in the republic, an asymmetric distribution of single-phase and three-phase consumers in power networks is being observed, which leads to an increase in energy losses of up to 21% due to phase imbalance and asymmetry of load currents. During the research process, the initial parameters of the 0.4 kV mining industry network, the single-line power supply diagram, and the line load currents were determined. The assessment of electric power quality and the determination of loss levels were carried out using the AR6 analyzer. The experimental results made it possible to form a digital database of numerical data on daily consumption, consumer characteristics, and electric power quality indicators. As the main factors affecting energy losses, the impact of the mismatch between transformer and electrical consumer capacities, phase load unbalance, and the generation of higher harmonics by power electronic converter devices on power network quality has been identified. Based on this, the possibilities for developing measures to reduce energy losses and improve the quality of electric power in 0.4 kV mining industry networks have not been considered.

KEYWORDS

O'zDSt 1044:2003 state standard; 0.4 kV mining industry power (electrical) network; energy losses; phase asymmetry; experimental research; energy analysis; AR6 analyzer.

REFERENCE

1. The Law of the Republic of Uzbekistan №O'RQ-940 dated August 7, 2024. "On Energy Saving, Rational Use of Energy, and Improvement of Energy Efficiency".
2. State standard of Uzbekistan O'zDSt 1044:2003. "Methods for measuring and analyzing quality indicators of electrical energy in general-purpose power supply systems" (Protocol №05-19 dated July 18, 2003. – P.27).
3. I.V.Naumov, G.V.Lukina, S.V.Sukyaysov, et al. Methodology for Calculating the Asymmetry Indices of Currents and Voltages in a 0.38 kV Network with a Symmetrizing Device // Bulletin of Altai State Technical University named after I.I.Polzunov, 2001, №2. pp.49-56.
4. V.V.Karchin, V.T.Sidorova, A.N.Leukhin. Improving the Power Quality Indicators in 0.4 kV Rural Distribution Networks through Reactive Power Compensation // Proceedings of Higher Educational Institutions. Problems of Energy, 2015, №1-2. pp.61-67.
5. G.V.Lukina, S.I.Bondarenko, E.V.Samarkina. Experimental Study of Electric Power Quality Indicators on a Physical Model of a 0.38 kV Network with a Symmetrizing Device // Bulletin of Irkutsk State Agricultural Academy, 2016, № 72. pp.138-146.
6. N.V.Savina, N.S.Bodrug. Problems of Standardizing Electric Power Quality During the Transition to Intelligent Power Systems // Proceedings of Higher Educational Institutions. Power Engineering Problems, 2016, №5-6. pp.19-26.
7. R.Ch.Karimov, D.Sh.Xushvaktov, D.X.Xalmanov. The problem of improving electrical energy quality indicators as an example of the economic development of Boysun district. AIP Conference Proceedings 3152, 040024 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0218807>
8. Sh.D.Dzhuraev, R.A.Rahimov, R.Ch.Karimov, et al. Study and Analysis of Power Quality in the Electrical Networks of the Outdoor Lighting of the Dushanbe City. Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, pp.1167–1169. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755782
9. L.V.Fetisov, N.V.Rozhentsova, O.A.Bulatov. Improving the Quality of Electric Power in Low-Voltage Networks // Proceedings of Higher Educational Institutions. Power Engineering Problems, 2018, №20(11-12). pp.99-106.
10. R.Ch.Karimov, M.K.Bobojanov, et al. Development and experimental study of circuits of contactless device for automation of compensation of reactive power of capacitor batteries. E3S Web of Conferences 289, 07012 (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907012>
11. O.S.Rakhimov, et al. Experimental Study of Power Quality Indicators and Energy Losses in Low-Voltage Rural Electrical Networks // Proceedings of Higher Educational Institutions. Power Engineering Problems, 2021, Vol.23, №3, pp.209-222. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-209-222
12. R.Ch.Karimov, Sh.J.Juraev, S.T.Ismoilov, D.Sh.Khushvaktov. Study of Power Quality in the 0.4 kV Consumer Power Supply System // Scientific Journal "Problems of Energy and Resource Saving" (ISSN: 2091-5985), Tashkent, 2023, №4. pp.172-182.
13. R.Ch.Karimov, D.Sh.Khushvaktov. Software for Calculating Electrical Energy Consumption in Low-Voltage Consumers. Certificate of official registration of a computer program №DGU 45043 issued by the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan. December 4, 2024.
14. M.K. Bobojanov, E.G. Usmanov, R.Ch. Karimov. Innovative Approaches to Improving and Analyzing Power Quality in 0.4 kV Distribution Networks. Journal of Energy and Resource Saving Problems (ISSN: 2091-5985), Tashkent, 2025, №3. pp.58-74.

Information about authors:

Bobojonov Maxsud Kalandarovich	- DSc. Professor. Professor of the Department of Power Supply. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0000-0002-0244-2932 , E-mail: mbobojanov@yahoo.com
Karimov Raxmatillo Choriyevich	- PhD. Associate Professor. Head of the Department of Electrical Engineering. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0000-0002-0129-5643 , E-mail: raxmatillo82@mail.ru
Raximov Oxunbobo Sayfiddinovich	- PhD. Associate Professor. Professor of the Department of Power Supply and Automation. Polytechnic Institute in Khujand. Khujand, Tajikistan E-mail: rahimov_o_1948@mail.ru
Haqberdiyev Alim Latipovich	- PhD. Associate Professor of the Department of Mining Electromechanics. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0009-0008-3708-0848 , E-mail: alim.haqberdiyev2017@yandex.com
Xushvaktov Dilmurod Shuxratovich	- Assistant of the Department of Electrical Engineering. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0009-0002-1278-4124 , E-mail: dilmurodxushvaktov5@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ХАРАКТЕРА ПОВРЕЖДЕНИЯ****Н.Б. Пирматов¹, М.У. Муминов², Ш.З. Райхонов², А.Д. Ан²**¹*Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан.*²*Алмалыкский государственный технический институт, Алмалык, Узбекистан.*

Doi: 10.5281/zenodo.18093032

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены основные факторы, влияющие на надежность изоляции высоковольтных кабелей, эксплуатируемых в условиях горных предприятий. Проведён анализ влияния температурных, влажностных и механических нагрузок на деградацию изоляционных материалов. Особое внимание уделено воздействию агрессивной горной среды, перепадов давления и вибраций, характерных для подземных выработок. На основе экспериментальных данных и анализа эксплуатационных случаев определены типичные механизмы и характер повреждений изоляции, включая частичные разряды, пробой и старение материала. Предложены методы диагностики и профилактики повреждений, направленные на повышение долговечности и эксплуатационной надежности кабельных систем. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании, техническом обслуживании и модернизации систем электроснабжения горных предприятий.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

высоковольтные кабели, изоляция, надежность, горные предприятия, повреждения, диагностика, старение материалов, пробой, изоляция, жила, замыкание.

ВВЕДЕНИЕ

Современные горнодобывающие предприятия представляют собой сложные технологические системы, функционирование которых невозможно без надежного и бесперебойного электроснабжения. Одним из ключевых элементов электротехнической инфраструктуры выступают высоковольтные кабельные линии, обеспечивающие передачу энергии к мощным потребителям в подземных и наземных производственных участках. Однако эксплуатация кабельных систем в условиях повышенной влажности, запылённости, вибрационных и механических воздействий горной среды сопровождается ускоренным старением и деградацией изоляции, что напрямую отражается на их надежности и сроке службы [1].

В отличие от обычных промышленных объектов, горные предприятия характеризуются высокой динамикой внешних факторов: колебания температуры, наличие агрессивных газов, нестабильное давление и интенсивные механические нагрузки. Эти условия формируют комплексное воздействие на изоляционные материалы, вызывая микроповреждения, частичные разряды и постепенное снижение электрической прочности. В результате возрастает риск аварийных отключений, пожаров и простоев оборудования, что приводит к значительным экономическим потерям и угрозам безопасности персонала [2].

Несмотря на наличие широкого спектра исследований в области повышения надежности кабельных систем, влияние именно горнотехнических условий на состояние изоляции высоковольтных кабелей до настоящего времени изучено недостаточно. Отсутствие систематизированных данных о характере и закономерностях повреждений в специфических условиях подземных выработок ограничивает возможности оптимизации технического обслуживания и прогнозирования ресурса кабельных линий.

В связи с этим актуальной задачей является комплексное исследование факторов, определяющих надежность изоляции высоковольтных кабелей, работающих в горнодобывающей отрасли, а также выявление характерных видов повреждений и механизмов их возникновения. Решение данной задачи позволит повысить эксплуатационную надежность систем электроснабжения, минимизировать аварийность и оптимизировать регламентные процедуры технического контроля [3].

АНАЛИЗ

Научные исследования, посвященные анализу и синтезу Надежность изоляции высоковольтных кабелей в значительной степени, определяется совокупностью внешних и внутренних воздействий, действующих на кабельную систему в процессе эксплуатации. В условиях горных предприятий данные воздействия приобретают

комплексный характер и проявляются значительно интенсивнее, чем в стандартных промышленных установках.

Температурные и влажностные факторы: Одним из ключевых факторов деградации изоляции является температурный режим эксплуатации. В подземных выработках температура окружающей среды может изменяться в широком диапазоне, что вызывает чередование процессов теплового расширения и сжатия изоляционных слоёв. Такие колебания приводят к образованию микротрещин, ускоряющих проникновение влаги и ухудшение диэлектрических свойств материала. Высокая влажность и наличие конденсата дополнительно способствуют возникновению частичных разрядов и поверхностным утечкам тока.

Механические нагрузки и вибрационные воздействия: Горные предприятия характеризуются интенсивными механическими колебаниями, связанными с работой бурового, транспортного и вентиляционного оборудования. Вибрации и динамические нагрузки вызывают постепенное ослабление сцепления между слоями изоляции, сдвиги жил и экранирующих элементов. Это приводит к локальным перенапряжениям и увеличению вероятности электрического пробоя.

Агрессивная среда и химические воздействия: Воздействие агрессивных газов, пыли, влаги и масляных аэрозолей в шахтных выработках приводит к химической деградации изоляционных материалов. Полиэтиленовые и резиновые оболочки подвержены процессам старения, окисления и растрескивания, что снижает их электрическую прочность и ускоряет развитие дефектов.

Электрические перегрузки и частичные разряды: Частичные разряды представляют собой один из наиболее опасных факторов внутреннего разрушения изоляции. Они возникают в микрополостях и трещинах материала под воздействием локальных перенапряжений. Многократное повторение таких процессов приводит к постепенному углеродированию каналов, термическому разрушению полимерных компонентов и снижению сопротивления изоляции.

Несоблюдение эксплуатационных норм и дефекты монтажа. Практика эксплуатации показывает, что значительная часть поврежденных высоковольтных кабелей обусловлена

нарушениями технологий монтажа и соединения кабельных муфт. Неправильный выбор сечений, отсутствие герметизации и несоблюдение радиусов изгиба создают дополнительные напряжения, ускоряющие старение изоляции.

Предварительное определение вида и характера повреждения. После выполнения всех мер безопасности при работах в действующих электроустановках. Приступают к определению вида и характера повреждения. С помощью мегомметра и омметра производят измерения на разземленном кабеле между жилами и каждой жилой и оболочкой(землей). Данными измерениями выявляются повреждения однофазные и межфазные с сопротивлением от 0 до сотен ком. При измерениях не всегда удается выявить характер повреждения, в таком случае используют испытательную установку высокого выпрямленного напряжения. Поочередно испытывают все три жилы кабеля испытательным напряжением $(4-6U_{ном})$. В ходе испытания определяется характер повреждения [4,5,6,7].

Испытание высоковольтных кабелей. Испытание производится на полностью смонтированном кабеле при монтаже всех муфт и окончательной прокладке, а также в виде контроля при смотанном кабеле на бухту. Испытание производится испытательной установкой выпрямленного напряжения по однопериодной схеме, при обратном включении высоковольтного выпрямителя.

Испытание производится испытательной установкой выпрямленного напряжения при коэффициенте пульсаций напряжения не более $\pm 1.5\% U_{исп}$. Испытательное напряжение принимается в соответствии с таблицей №1 на основании правил эксплуатации электрооборудований. Для кабелей до 35 кВ с бумажной и пластмассовой изоляции длительность приложения полного испытательного при приёмсдаточных испытаниях – 10 минут, в процессе эксплуатации – 5 минут. Для кабелей с резиновой изоляцией длительность полного испытательного напряжения – 5 минут. Испытываются все жилы кабеля по отношению к другим жилам и оболочке (экрану, земле). Нулевые жилы кабелей испытываются полным испытательным напряжением если нет оговорки об этом в паспорте на кабель. [8,9].

Таблица 1

Испытательное напряжение кабелей

Категория испытаний	Кабели с бумажной изоляцией на напряжение, кВ					Кабели с пластмассовой изоляцией на напряжение, кВ					Кабели с резиновой изоляцией на напряжение, кВ		
	До 1	2	3	6	10	0,66*	1*	3	6	10	3	6	10
П	6	12	18	36	60	3,5	5,0	15	36	60	6	12	20
К	2,5	10-17	15-25	36	60		2,5	7,5	36	60	6	12	20
М		10-17	15-25	36	60			7,5	36	60	6**	12**	20**

Испытание выпрямленным напряжением одножильных кабелей с пластмассовой изоляцией без брони (экранов), проложенных на воздухе, не производится.

После ремонтов, не связанных с ремонтом кабеля, изоляция проверяется мегомметром на напряжение 2500 В, а испытание повышенным

выпрямленным напряжением не производится. Кабели с изоляцией СПЭ (Сшитый полиэтилен) испытываются согласно заводской документации на кабель. Допустимые токи утечки в зависимости от испытательного напряжения и допустимый коэффициент асимметрии при измерении тока утечки приведены в таблице №2.

Таблица 2

Токи утечки и коэффициенты асимметрии для силовых кабелей

Кабели напряжением, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Допустимые значения токов утечки, мА	Допустимые значения коэффициента асимметрии, (I_{max}/I_{min})
6	36	0.2	8
	45	0.3	8
10	50	0.5	8
	60	0.5	8

По окончании испытания испытуемый кабель должен быть разряжен через добавочное сопротивление и заземлен не менее чем на 2 минуты.

Абсолютное значение тока утечки не является браковочным показателем. Кабели с удовлетворительной изоляцией должны иметь стабильные значения токов утечки. При проведении испытания ток утечки должен уменьшаться. Если не происходит уменьшения значения токов утечки, а также при его увеличении и нестабильности (броски), испытание производится до выявления дефекта, но не более чем 15 минут. Испытание высоковольтного кабеля индукционным методом с помощью прибора П-806. Порядок проведения испытания: после подключения датчика П805-ДИ2 (индукционный датчик) и головных наушников, включается прибор П806 и выбирается «Режим 1024 или 2048 Гц», датчик подносится к генератору для проверки работы прибора, датчика, наушников (должен иметь место сильный звук, и индикация

напряженности магнитного поля на дисплее прибора). Производят отыскание трассы кабеля по показаниям выключены напряженности и силе звука в головных наушниках, проходя по трассе кабеля проверяется методом минимума место залегания кабеля. Если предполагаемая трасса не подтверждается, то производят повторную трассировку. При нахождении предполагаемого места повреждения делается отметка, и место повреждение подтверждается акустическим способом. В основном индукционным способом удачно отыскиваются повреждения между жилами, без спайки на оболочку. При спайках на оболочку данный метод работает с очень плохой точностью. Поиск повреждения проводится следующим образом. Оператор выходит на трассу, держа индукционный датчик так, как показано на рисунке (датчик можно держать и вертикально). При обследовании трассы в телефонах будет слышаться звук, изменяющийся по громкости с шагом скрутки. За повреждением (0,5-2 м) звук исчезает. [10,11].

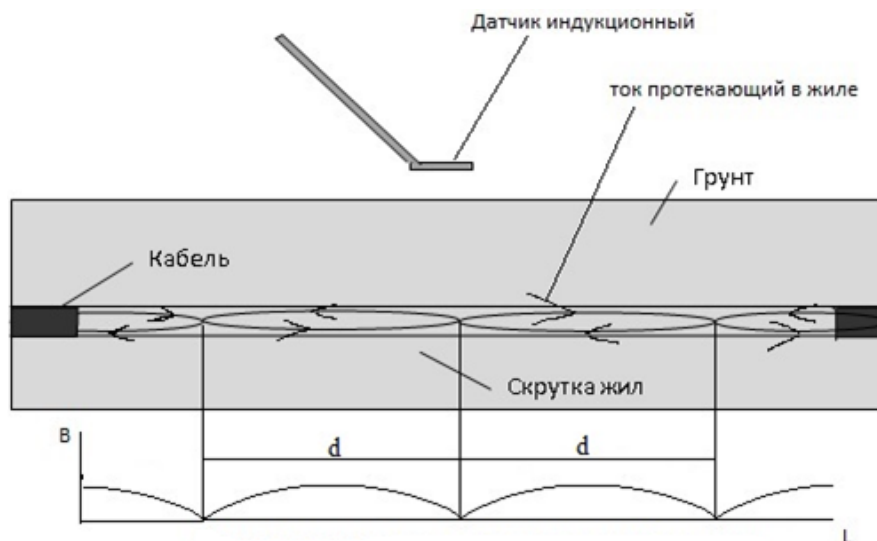


Рис.1. Распределение магнитной составляющей индукции над кабелем при шаге скрутки d.

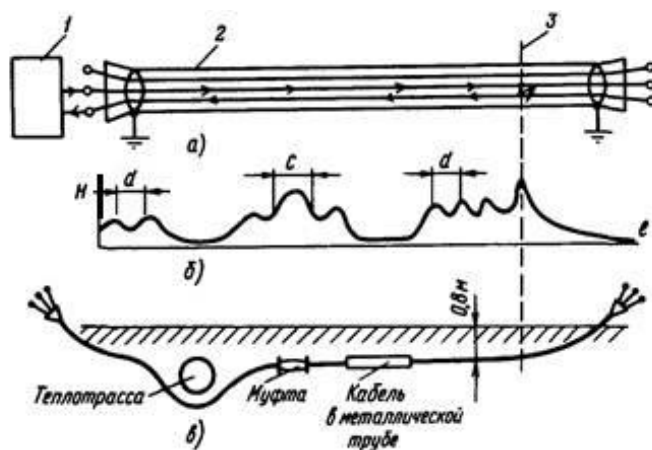


Рис.2. Локализация места повреждения кабеля непосредственно на трассе:

1 – генератор (ГЗЧ-2500 или подобный); 2 – искомый кабель; 3 – место межфазного замыкания.
 а – схема подключения генератора; б – эпюра величины напряженности магнитного поля над кабелем с замыканием жил через небольшое остаточное сопротивление; в – трасса прокладки поврежденного кабеля; с – длина повышения звука над кабельной муфтой. d – шаг скрутки кабеля $s \neq d$, обычно шаг скрутки 0.4-2 метра в зависимости от конструкции, а муфты 1 – 1.3 м.

В результате исследования были сделаны следующие работы: 1 Экспериментальные данные, ходе проведённых испытаний методом индукционного напряжения были получены данные, характеризующие поведение изоляции при различных внешних и внутренних воздействиях. Основное внимание было уделено следующим факторам: уровень влажности окружающей среды (от 30% до 90%); температура окружающей среды (от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$); уровень индуцированного напряжения (до 1.5 Уном); наличие микроповреждений в изоляции (смоделированных дефектов); длительность воздействия индукционного поля. В результате экспериментов зафиксировано, что при повышении влажности более 70% и температуре выше $+35^{\circ}\text{C}$ увеличивается вероятность пробоя изоляции при прочих равных условиях. Также наблюдается рост тока утечки и снижение электрической прочности кабельной изоляции. Определены характеры повреждений, применение индукционного метода позволило выявить и классифицировать следующие типы повреждений: локальные пробои — характерны для кабелей с микротрещинами в изоляции, тепловое старение — определяется по постепенному снижению сопротивления изоляции и росту тангенса угла диэлектрических потерь, влажностная деградация — сопровождается постепенным снижением пробивного напряжения и увеличением тока утечки в зависимости от длительности воздействия. Сделана сравнение с теоретическими данными полученные экспериментальные результаты подтвердили теоретические модели деградации изоляции. Наиболее выраженное снижение надёжности наблюдалось при комплексном воздействии высокой температуры и

влажности. Это согласуется с гипотезой о гидrolитическом и тепловом старении полимерных материалов. [12,13,14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведённый анализ позволяет заключить, что долговечность изоляции высоковольтных кабелей в условиях горных предприятий определяется сочетанием физических, химических и электрических факторов. Для повышения надёжности необходим комплексный подход, включающий использование термостойких и влагозащищённых материалов, внедрение систем онлайн-диагностики и регулярный контроль параметров изоляции в процессе эксплуатации.

Проведённое исследование показало, что индукционный метод является эффективным и неразрушающим способом диагностики высоковольтных кабелей. Он позволяет выявлять дефекты изоляции, локализовать повреждённые участки и проводить оценку технического состояния кабельных линий без вывода их из эксплуатации. Метод обладает высокой чувствительностью, надёжностью и может быть использован в системах мониторинга в реальном времени.

Практические рекомендации на основе анализа результатов предлагаются следующие меры для повышения надёжности изоляции: применение влагоустойчивых полимеров с улучшенными диэлектрическими свойствами; регулярная диагностика методом индукционного напряжения на повышенных частотах; мониторинг температуры и влажности в зоне прокладки кабелей; установка дополнительных экранов или барьеров в местах повышенного индуцированного поля.

**TOG‘-KON KORXONALARIDA ISHLATILADIGAN YUQORI KUCHLANISHLI
KABELLARNING IZOLYATSIYASI ISHONCHLILIGIGA TA‘SIR ETUVCHI OMILLARNI
O‘RGANISH VA SHIKASTLANISH XARAKTERINI ANIQLASH**

N.B. Pirmatov¹, M.U. Muminov², Sh.Z. Raykhonov², A.D. An²

¹*Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O‘zbekiston.*

²*Olmaliq davlat texnika instituti, Olmaliq, O‘zbekiston.*

ANNOTATSIYA Ushbu maqolada tog‘-kon korxonalarida ekspluatatsiya qilinayotgan yuqori kuchlanishli kabe'llarning izolyatsiyasi ishonchliligiga ta‘sir etuvchi asosiy omillar ko‘rib chiqilgan. Harorat, namlik va mexanik yuklamalarning izolyatsion materiallar degradatsiyasiga ta‘siri tahlil qilingan. Maxsus e‘tibor tog‘ sharoitlariga xos agressiv muhit, bosimning o‘zgarishi va tebranishlarning ta‘siriga qaratilgan. Eksperimental ma‘lumotlar va ekspluatatsion holatlar tahlili asosida izolyatsiyaning odatiy shikastlanish mexanizmlari va xususiyatlari aniqlangan, jumladan qisman razryadlar, teshilish va materialning eskirishi. Shuningdek, kabe'llar tizimlarining uzoq muddatli xizmat muddati va ekspluatatsion ishonchliligini oshirishga qaratilgan diagnostika va profilaktika usullari taklif etilgan. Tadqiqot natijalari tog‘-kon korxonalarining elektr ta‘minoti tizimlarini loyihalash, texnik xizmat ko‘rsatish va modernizatsiya qilish jarayonlarida qo‘llanilishi mumkin.

KALIT SO‘ZLAR yuqori kuchlanishli kabe'llar, izolyatsiya, ishonchlilik, tog‘-kon korxonalari, shikastlanishlar, diagnostika, materiallarning eskirishi, teshilish, izolyatsiya qatlami, tok o‘tuvchi jila, qisqa tutashuv.

**STUDY OF FACTORS AFFECTING THE RELIABILITY OF HIGH-VOLTAGE CABLE
INSULATION IN MINING ENTERPRISES AND DETERMINATION OF THE NATURE OF
DAMAGE**

N.B. Pirmatov¹, M.U. Muminov², Sh.Z. Raykhonov², A.D. An²

¹*Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan.*

²*Almalyk State Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan.*

ABSTRACT This article examines the main factors influencing the reliability of high-voltage cable insulation used in mining enterprises. The effects of temperature, humidity, and mechanical loads on the degradation of insulating materials are analyzed. Special attention is paid to the influence of the aggressive mining environment, pressure fluctuations, and vibrations typical of underground workings. Based on experimental data and operational case studies, the typical mechanisms and types of insulation damage—such as partial discharges, breakdown, and material aging—have been identified. Diagnostic and preventive methods aimed at increasing the durability and operational reliability of cable systems are proposed. The research results can be used in the design, maintenance, and modernization of power supply systems in mining enterprises.

KEYWORDS high-voltage cables, insulation, reliability, mining enterprises, damage, diagnostics, material aging, breakdown, conductor, short circuit.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Специальные кабельные изделия: учебное пособие / В.М.Аникеенко, И.В.Флеминг; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.- 127 с.
2. «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника». – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 40 с.
3. Щеглов, Н. В. — *Современные виды изоляции. Часть 6. Изоляция силовых электрических кабелей.* Издательство: Новосибирский государственный технический университет. ISBN 978-5-7782-2377-6.
4. Высоковольтные гибкие кабели/В.С.Дмитревский ,Д.Д.Румянцев.–М.:Энергия,1974.–176с.
5. СоболевВ.Г.Шахтные бронированные кабели.–М.:Недра,1973.–136. с.
6. Хошмухамедов И.М. и др. Монтаж, наладка и эксплуатация эл. оборудования. Изд-во Московского Гос. горного университета. М 2005 (621.31 (075.8)).

7. Каминский М.Л. Проверка и испытание электрических машин. М., «Энергия», 1977. 404 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 462).
8. Муминов, М.У., Ш.Ю. Дархонова, и И.А. Усманиева. «Функции и условия эксплуатации гибких кабелей, используемых в горнодобывающей промышленности». *Таълим фидойлари* 19 (2022): 21-24.
9. Пешков И.Б., Уваров Е.И. Кабельная промышленность 100 лет в содружестве с энергетиками / XX век. // Электроэнергетика. М.: Мастер, 2003.
10. М.И. Семененко, Г.К. Хромова, Т.Ф. Кузина Электрическая прочность высоковольтных кабельных бумаг при постоянном, переменном и импульсном напряжениях. Электрическая промышленность. Серия Кабельная техника, 1970, № 8.
11. С.Е. Глейзер Электрическое поле при постоянном напряжении в маслонаполненных кабелях с градированной изоляцией. Электротехническая промышленность. Серия Кабельная техника, 1975, № 7. Старший преподаватель кафедры электротехники и электромеханики
12. С.Д. Холодный, Э.Т. Ларина, В.М. Леонов Конструирование изоляции кабельных изделий. — М.: МЭИ, 1988 г.
13. Основы кабельной техники. Учебное пособие для вузов. Под. редакцией. В.А. Привизенцева. Издание 2-е, переработанное и дополненное. М.: 1975.
14. Muminov M.U., Lapasov H “Egiluvchan elektr kabellarning konstruktiv xususiyatlari va ishlatiladigan materiallar tahlili”. (2025). *Образование наука и инновационные идеи в мире*, 70(8), 420-426. <https://scientific-jl.com/obr/article/view/18801>.

Information about authors:

Pirmatov Nurali Berdiyovich	– Professor, Department of Electrical Machines and Drives Engineering, Tashkent State Technical University; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Street, 2, Republic of Uzbekistan ORCID: 0000-0001-5212-2593, e-mail: pirmatovnurali@gmail.com
Muminov Maxmudjon Umurzakovich	– Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Almalyk State Technical Institute, 110100, Almalyk city, Republic of Uzbekistan, M. Ulugbek street, 45. ORCID: 0009-0005-0865-6404, e-mail: muminov33355@mail.ru
Raykhonov Shuhrat Zaripovich	– Head of the Department of “Electrical Engineering and Electromechanics” of the Almalyk State Technical Institute, Associate Professor, 45 M. Ulugbek Street, Almalyk, 110100, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0009-0004-5895-6758, e-mail: shuhratrayxonov1990@gmail.com
An Arthur Dmitriyevich	– Senior lecturer at the department of Electrical Engineering and Electromechanics, Almalyk State Technical Institute, 110100, Almalyk, M.Ulug‘bek 45 Str., Republic of Uzbekistan ORCID: 0009-0005-2763-9589, e-mail: arturan1993@mail.ru

НОАЁН ҚУТБЛИ СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ЎЗ-ЎЗИНИ ҚЎЗГАТИШ ЖАРАЁНИ ЗОНАЛАРИНИНГ ЧЕГАРАЛАРИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ

А.Е. Бекишев, У.Н. Бердиёров

Тошкент давлат техника университети, Тошкент, Ўзбекистон

Doi: 10.5281/zenodo.18093055

АННОТАЦИЯ

Ушбу мақолада ноаён қутбли синхрон генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиш жараёни зоналарининг чегараларини математик моделлаштириш масаласи кўриб чиқилган. Маълумки синхрон генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиш жараёни салбий ҳолат ҳисобланади, чунки кучланиш ва тоқларнинг қийматлари жуда катта бўлиши мумкин ва энг асосийси уларни бошқариб бўлмайди. Шу сабабли синхрон генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиш жараёни зоналарининг чегараларини таҳлил қилиш эксплуатация жараёнида муҳим ҳисобланади.

КАЛИТ СЎЗЛАР

синхрон генератор, ўз-ўзини қўзғатиш жараёни, синхрон ва асинхрон ўз-ўзини қўзғатиш жараёни, математик моделлаштириш.

КИРИШ

Ўз-ўзини қўзғатиш - бу система элементлари ва генератор чулғамларида кучланиш ва тоқнинг

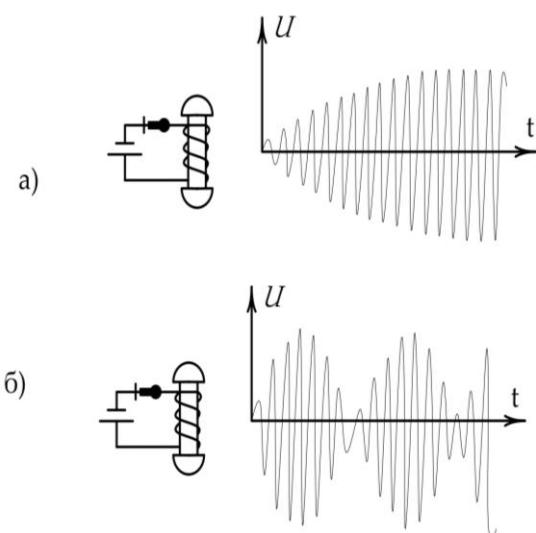
(U ва I) ўз-ўзидан ортиб кетиши билан характерланувчи электромагнит нотурғунликдир [1-8].

Ўз-ўзини қўзғатиш содир бўлишининг зарурий шarti статор занжирида машинанинг индуктив каршилиги билан тебраниш контурини вужудга келтирувчи уланган сифимнинг мавжуд бўлишидир. Машина чулғамларининг хусусий ва ўзаро каршиликлари ротор айланганда вақт давомида ўзгарувчанлиги сабабли контурда электр тебранишлар сўнмасдан, аксинча ортиб борувчи шароит юзага келиши мумкин. Бу ўз-ўзини қўзғатишни ифодалайди.

Синхрон генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиш жараёни салбий ҳолат ҳисобланади, чунки кучланиш ва тоқларнинг қийматлари жуда катта бўлиши мумкин ва энг асосийси уларни бошқариб бўлмайди. Генераторлар шиналари ва системанинг тугун нукталарида кучланишнинг ўзгариш характери бўйича ўз-ўзини қўзғатиши синхрон ва асинхрон турларга бўлинади.

Агар ток ва кучланишнинг ортиб бориши нисбатан секин ва текис бўлса, у ҳолда ўз-ўзини қўзғатиш синхрон деб аталади (1,а- расм). Статор ва ротор магнит майдонларининг айланиш тезликлари бир хил. Синхрон ўз-ўзини қўзғатиш фақат аён кутбли синхрон генераторларда юз бериши мумкин.

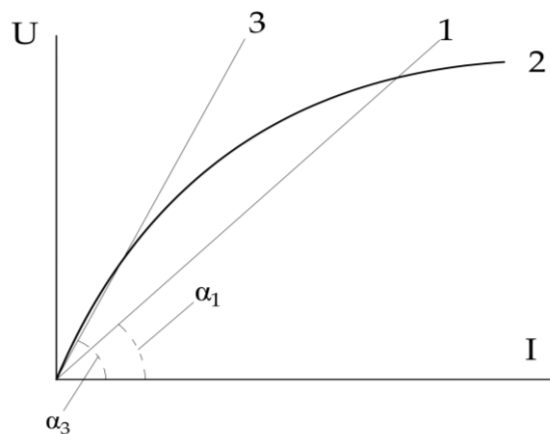
Агар ток ва кучланишнинг ортиб бориши тез ва узилишлар орқали бўлса, у ҳолда ўз-ўзини қўзғатиш асинхрон деб аталади (1,б- расм). Статор ва ротор магнит майдонларининг айланиш тезликлари ҳар хил бўлади. Асинхрон ўз-ўзини қўзғатиш аён ва аёнмас кутбли синхрон генераторларда юз бериши мумкин. Маълум шароитларда синхрон ва асинхрон ўз-ўзини қўзғатишлар бир вақтнинг ўзида содир бўлиши мумкин [1-8].



1-расм. Синхрон генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиши: а) синхрон, б) асинхрон

АСОСИЙ ҚИСМ

Синхрон машинанинг синхрон ўз-ўзини қўзғатиши. Синхрон генератор ЭЮК генераторнинг салт ишлаш токига ва сифимдаги кучланишнинг токка боғланиш характеристикасини, яъни тармоқ характеристикасини қурамыз (2-расм) [1].



2- расм. Синхрон генератор ва тармоқнинг тавсифи: 1 - тармоқнинг тавсифи $U = X_s \cdot I$; 2 - генераторнинг салт ишлаш тавсифи x ; 3 - генераторнинг тўғриланган салт ишлаш тавсифи

Ўз-ўзини қўзғатиш ҳолати, яъни ток ва кучланишнинг узлуксиз ортиб бориши тармоқ характеристикаси (1) ва генераторнинг салт ишлаш характеристикаси (2) кесишган тақдирда бўлиши мумкин. Бошқача айтганимизда, ўз-ўзини қўзғатиш мавжуд бўлиши учун (1) характеристика салт ишлашнинг тўғри чизиқли характеристикасидан (салт ишлаш характеристикасига координаталар бошида ўтказилган уринмадан) пастда жойлашиши, яъни $\alpha_1 < \alpha_3$ бўлиши лозим. Сўнгги шарт куйидаги тенгсизликка тўғри келади:

$$X_s < X_d . \tag{1}$$

Буни куйидаги фикрлар асосида кўрсатиш мумкин. Салт ишлаш характеристикасидан куйидагини ёзиш мумкин:

$$\Delta E / \Delta I = \operatorname{tg} \alpha_3 . \tag{2}$$

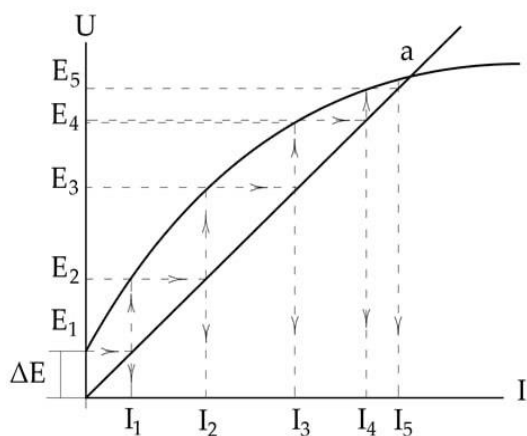
Шу билан бирга, бу тенгликнинг чап қисми салт ишлаш ҳолатига мос келувчи қаршилиқни характерлайди, яъни биринчи яқинлашишда уни машинанинг бўйлама ўқ бўйича индуктив қаршилиги X_d деб ҳисоблаш мумкин.

Бундай ҳолда (1) ни ҳисобга олиб, синхрон ўз-ўзини қўзғатишнинг пайдо бўлиш ва мавжуд бўлиш шартини ҳосил қиламиз:

$$X_q < X_c < X_d . \tag{3}$$

Ўз-ўзини қўзғатишнинг физик маъносини кўриб ўтамыз. Маълумки, машинанинг индуктив қаршилиги статор токининг ўзгаришига нисбатан иккиланган частота билан ўзгаради ва шу сабабли, “статор-линия” блокада ёпик контур пайдо бўлиб, агар манба мавжуд бўлса, унда ток оқиб туради. Шунингдек, маълумки, ҳар қандай пўлат ўзак қолдиқ магнетизм ва мос ҳолда қолдиқ ЭЮК ΔE га эга. Ўз-ўзини қўзғатишнинг содир бўлишига ушбу қолдиқ ЭЮК туртки ҳисобланади.

Фараз қилайлик, генератор, линия, трансформатор индуктивликлари ва линия сифимидан ташкил топган статор контурида ЭЮК ΔE ҳисобига қиймат жихатидан катта бўлмаган ток пайдо бўлди. Ўз-ўзини қўзғатиш содир бўлишининг механизмини қисқартирилган кўринишда қуйидаги схема бўйича тасвирлаш мумкин (3- расм) [1].



3- расм. Ўз-ўзини қўзғатишнинг содир бўлиш жараёни

Қолдиқ ЭЮК ΔE таъсирида ток I_1 пайдо бўлиб, у ЭЮК E_2 ни индукциялайди. Бу ЭЮК I_2 токнинг пайдо бўлишига олиб келади. Ток I_2 , ўз навбатида, ЭЮК E_3 ни ҳосил қилади ва жараён 1 ва 2 характеристикаларнинг кесишиш нуқтасида барқарор ўз-ўзини қўзғатиш ҳолати ўрнатилмагунча давом этади.

Кўрилатган контурда ўсиб боровчи тебраниш содир бўлади ва кучланиш ортади. Шундай қилиб, юқорида келтирилганлардан ўз-ўзини қўзғатишнинг биринчи мезонини ҳосил қилиш мумкин:

$$X_d > X_s > X_q \quad (4)$$

Магнит нуқтаи назаридан турбогенераторлар симметриклиги ($X_d = X_q$) ва ротор контурларининг ёпиклик шарти доимо бажарилганлиги (ротор массиви, демпфер системаси) сабабли уларда фақат асинхрон ўз-ўзини қўзғатиш содир бўлиши мумкин.

Турбогенераторлар магнит симметрик машиналар сифатида синхрон ўз-ўзини қўзғатиш I зонасига эга эмас (4-расм).

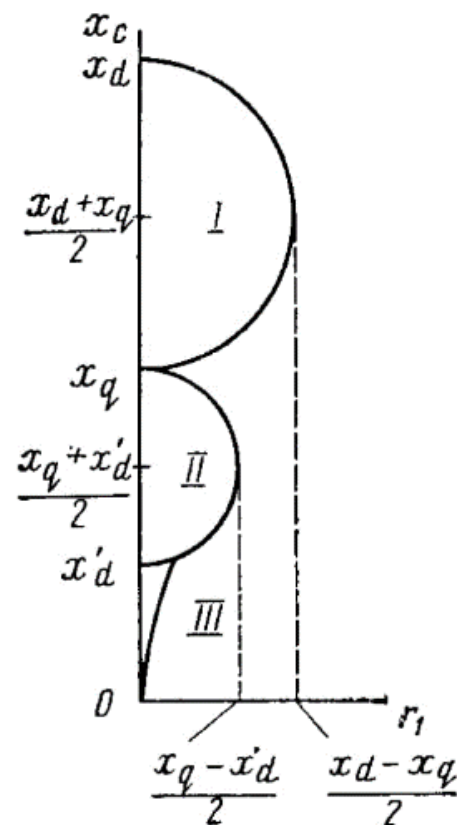
Турбогенераторнинг тўлиқ асинхрон ўз-ўзини қўзғатиш зонаси (II ва III) қуйидаги чегаралар доирасида жойлашган

$$0 < x_c < x_d, \quad (5)$$

Турбогенераторлар (ноаён кутбли синхрон генераторлар) қўзғатиш чулғамининг етар-лича катта ўзгармас вақт доимийсида r ва x_c координата ўқларидаги II асинхрон ўз-ўзини қўзғатиш зонаси тахминан, маркази ордината ўқида координаталар бошидан $(x_d + x'_d) / 2$ масофада жойлашган, радиуси эса $(x_d - x'_d) / 2$ га тенг бўлган ярим айлана билан ифодаланади.

Шундай қилиб, қабул қилинган тахминларга кўра белгиланган II зона чегарасига қуйидаги тенгсизликлар мос келади.

$$\left. \begin{aligned} x'_d < x_c < x_d, \\ 0 < r < (x_d - x'_d) / 2. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$



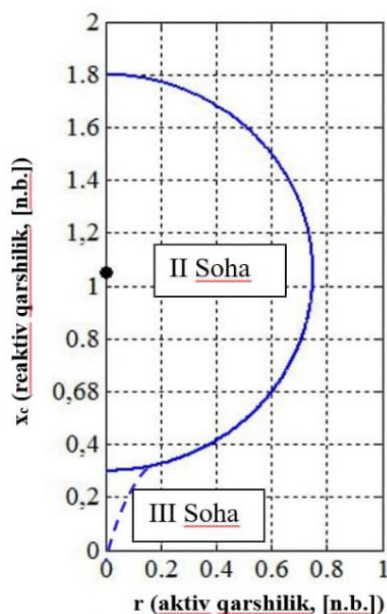
4-расм. Демпфер чулғами бўлмаган аён кутбли синхрон машинанинг ўз-ўзини қўзғатиш зонаси

Шуни ҳисобга олиш керакки, турбогенераторларнинг асинхрон ўз-ўзини қўзғатиш зонаси III, уларнинг кичик ва катта сирпанишларда етарлича катта асинхрон моментни ҳосил қилиш қобилияти туфайли, гидрогенераторларга қараганда анча кенгроқдир.

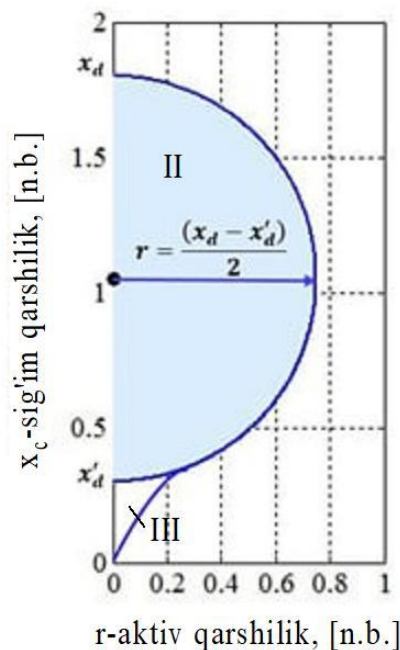
5-расмда номинал қуввати 3 кВА, номинал кучланиши 230 В, айланиш тезлиги 1500 айл/мин

бўлган ноаён кутбли синхрон генераторнинг тўлик асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш зоналари (II ва III) кўрсатилган. Бу асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш зоналари MATLAB дастури ёрдамида ҳисоблаб аниқланган.

6-расмда номинал қуввати 3 кВА, номинал кучланиши 230 В, айланиш тезлиги 1500 айл/мин бўлган икки ўқи бўйича кўзгатиладиган ноаён кутбли синхрон генераторнинг тўлик асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш зоналари (II ва III) кўрсатилган. Бу асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш зоналари MATLAB дастури ёрдамида ҳисоблаб аниқланган.



5-расм. Анъанавий ноаён кутбли синхрон генераторнинг репульсион-синхрон ўз-ўзини кўзгатиш соҳаси (II); асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш соҳаси (III)



6-расм. Икки ўқи бўйича кўзгатиладиган ноаён кутбли синхрон генераторнинг репульсион-синхрон ўз-ўзини кўзгатиш соҳаси (II); асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш соҳаси (III)

ХУЛОСА

5 ва 6 – расмларни такқослаш орқали қуйидаги хулосани бериш мумкин, яъни анъанавий турбогенераторларга нисбатан икки ўқи бўйича кўзгатиладиган турбогенераторларнинг асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш зонаси III нисбатан кенгрок бўлиб, турбогенераторларнинг асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш зонаси III, уларнинг кичик ва катта сирпанишларда етарлича катта асинхрон моментни ҳосил қилиш қобилияти туфайли, гидрогенераторларга қараганда анча кенгрок бўлар экан.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ПРОЦЕССА САМОВОЗБУЖДЕНИЯ НЕЯВНОПОЛЮСНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

А.Е. Бекишев, У.Н. Бердиёров

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается вопрос математического моделирования границ зон процесса самовозбуждения неявнополюсного синхронного генератора. Как известно, процесс самовозбуждения синхронного генератора является негативным состоянием, поскольку величины напряжений и токов могут быть очень большими, а главное, ими невозможно управлять. Поэтому анализ границ зон процесса самовозбуждения синхронного генератора имеет важное значение в процессе его эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

синхронный генератор, процесс самовозбуждения, синхронный и асинхронный процесс самовозбуждения, математическое моделирование.

**MATHEMATICAL MODELING OF THE BOUNDARIES OF THE SELF-EXCITATION
PROCESS OF A NON-POLED SYNCHRONOUS GENERATOR**

A.E. Bekishev, U.N. Berdiyev

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

This article considers the issue of mathematical modeling of the boundaries of the self-excitation process zones of a non-polarized synchronous generator. As is known, the self-excitation process of a synchronous generator is a negative state, since the values of voltages and currents can be very large, and most importantly, they cannot be controlled. Therefore, the analysis of the boundaries of the self-excitation process zones of a synchronous generator is important in the operation process.

KEYWORDS

synchronous generator, self-excitation process, synchronous and asynchronous self-excitation process, mathematical modeling.

ФЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Электромеханик ўткинчи жараёнлар. //К. Р. Аллаев. Ўқув кўлланма. -Т.: “Молия” нашриёти, 2007 йил. 272 б.
2. Веников В.А., Анисимова Н.Д., Долгинов А.И., Федоров Д.А. Самовозбуждение и самораскачивание в электрических системах. –М.: Издательство «Высшая школа», 1964. -197 с.
3. Maroufian S., Pillay P. Self-excitation criteria of the synchronous reluctance generator in stand-alone mode of operation. 2016-12-01. pp. 1-5.
4. Кутарёв А.М. Специальный курс электрических машин. –Оренбург.: ГОУ ОГУ, 2008. -128 с.
5. Genadijs Zaleskis, Ivars Rankis, Marcis Prieditis. Self-Excitation System for Synchronous Generator. *Electrical, Control and Communication Engineering* 2013 / 4. Pp. 32-37.
6. Mounir N., Enany M., El-Said F. Dynamic operation of isolated self-excited synchronous generator under static loads. *Journal of Electrical Systems*, 17(3): 2021. pp. 310-323.
7. Fares Rebahi, Amar Bentounsi, Hocine Khelifa, Oussama Boulkhrachef, Djiaid Meherhera. Comparative study of a self-excited induction and synchronous reluctance generators capabilities. International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE), 19-21 November 2019. pp.1-5.
8. Antti-Juhani Nikkilä; Antti Kuusela; Minna Laasonen; Liisa Haarla; Arto Pahkin. Self-Excitation of a Synchronous Generator During Power System Restoration. Опубликовано в: *IEEE Transactions on Power Systems* Том: 34, Выпуск: 5, сентябрь 2019. pp. 3902-3911.

Information about authors:

-
- Bekishev Allabergan** – Associate professor at the department of Electrical Machines and Electric Drive Engineering, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan
ORCID:<https://orcid.org/0000-000-3019-2050>, e-mail: allaberganbekisev@gmail.com
-
- Berdiyev Ulugbek** – Assistant at the department of Electrical Power plants, Networks and Systems , Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan
ORCID:<https://orcid.org/0009-0004-5193-8661>, e-mail: berdiyev1811@gmail.com
-

МУНДАРИЖА / ОГЛАВЛЕНИЕ

КОНЧИЛИК МАШИНАЛАРИ ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ

Махмудов А. Методика определения параметров системы разработки карьеров облицовочного камня на основе горно-геометрического анализа массива.....	3
Куанышев М.К., Каукаров А.К., Жаманбаев Б.У., Мурзагалиев А.Ж., Утебаев И.С. Оптимизация ресурса и повышения эффективности поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания горных машин.....	8
Annaqulov T.J., Ziyadov N.R. Angren ko‘mir koni misolida lentali konveyerlarga texnik xizmat ko‘rsatish va diagnostika tizimini takomillashtirish.....	16
Ataqulov L.N., Shomurodov B.Kh. Literature analysis on increasing the cleaning efficiency of air filters of machines used in mining enterprises.....	20
Toshov J.B., Makhmudov Sh.A., Makhmudova G.A. Analysis of causes and methods of solving complications in uranium in-situ in-situ leaching technology.....	23

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ВА МЕТАЛЛУРГИЯ

Октамов У.Х., Шодмонов О.О., Шаназаров С.И. Методология исследований редкометаллоносных процессов.....	31
Рахимзода Х.Ш., Эшов Б.Б., Мирзажанова С.Б., Бадалов А.Б., Осими О. Перспективы производства меда из Таджикистана.....	36
Худояров С.Р., Халикулов У.М., Мухаметджанова Ш.А., Файзуллаев С.Н., В.Б. Хамроев Получение железосодержащих концентратов из переработанных сталеплавильных шлаков методом мокрой электромагнитной сепарации.....	42
Маткаримов С.Т., Мирзажоннова С.Б., Сайдирахимова М.И., Саидова М.С., Бекназарова Г.Б. Сравнительный анализ технологических параметров электролиза цинка в отечественной и зарубежной практике.....	48

ГЕОЛОГИЯ-ҚИДИРУВ ВА НЕФТЬ-ГАЗ МАШИНАЛАРИ

Shomurodov Sh.E., Xalimatov I., Zakirov R.T. Gaz va gazokondensat konlarida mahsuldor qatlamlarining gaz beruvchanlik koeffitsientini bashoratlashtirishning ilmiy asoslar va modellashtirish usullari.....	53
Jo‘rayev M.N., Mirxodjayev B.I., To‘rayev Sh.B. Namunalarga ishlov berishda Richards-Chechetta tamoyili va uning statistik tahlili.....	57

ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИГИ ВА АВТОМАТЛАШТИРИШ

Bobojanov M.K., Karimov R.Ch., Raximov O.S., Haqberdiyev A.L., Xushvaktov D.Sh. Konchilik korxonalarining 0,4 kV kuchlanishli tarmoqlarida elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlari va isroflarini eksperimental tadqiq qilish.....	62
Пирматов Н.Б., Муминов М.У., Райхонов Ш.З., Ан А.Д. Исследование факторов, влияющих на надежность изоляции высоковольтных кабелей горных предприятий и определение характера повреждения.....	72
Бекишев А.Е., Бердиёров У.Н. Ноаён кутбли синхрон генераторнинг ўз-ўзини кўзғатиш жараёни зоналарининг чегараларини математик моделлаштириш.....	77
Мундарижа / Оглавление	82