

На правах рукописи



Власов Антон Владимирович

**ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ И ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
РУДНОЙ МАССЫ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ
ГОРИЗОНТОВ КОСТМУКШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Специальность

25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владикавказ 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»
на кафедре «Горное дело»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
РЫЛЬНИКОВА Марина Владимировна

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
ГАВРИШЕВ Сергей Евгеньевич

Кандидат технических наук,
Заместитель генерального директора по научной работе и развитию, заведующий лабораторией горнопромышленной геологии ОАО «ВИОГЕМ» (г. Белгород)
ЯНИЦКИЙ Евгений Станиславович

Ведущая организация:

ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук»
(ИГД УрО РАН), г.Екатеринбург

Защита диссертации состоится «24» июня 2022 г. в 12⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.246.02, созданного на базе Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), по адресу: 362021, РСО – Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, факс 8(8672) 40-72-03, E-mail: info@skgmigtu.ru , Gegelashvili@mail.ru .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) www.skgmi-gtu.ru .

Автореферат разослан «15» мая 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
профессор, доктор технических наук



М.В. Гегелашвили

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современные реалии горного производства характеризуются постоянным усложнением условий ведения горных работ. В разработку вовлекаются запасы глубоких горизонтов и залежи с низким содержанием ценных компонентов, четко прослеживается тенденция увеличения глубины разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом. С увеличением глубины горных работ происходит рост издержек производства, в первую очередь, это связано с увеличением расстояния транспортирования горной массы, что обеспечивается преимущественно автомобильным транспортом. Доля затрат на транспортирование горной массы автотранспортом зачастую превышает 70% от общих издержек на добычу руды.

Наряду с проблемой интенсификации горных работ, большое значение приобретает задача повышения полноты и комплексности использования добытого минерального сырья. В современных горно-технических условиях повышение качества товарной продукции является наиважнейшим фактором решения проблемы рационального и комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов страны для повышения эффективности эксплуатации недр. Решение этой проблемы способствует обеспечению горнопромышленных регионов и страны в целом сырьем, наиболее подготовленным для последующей переработки, что позволяет производить больше товарной продукции, даже без увеличения объема добычи. Преимущественное решение этого вопроса основано на постоянном совершенствовании техники и технологии управления качеством минерально-сырьевых потоков, что является основным компенсирующим и оптимизирующим фактором.

Одним из приоритетных направлений разработки глубоких горизонтов карьеров является переход с цикличной (ЦТ) на циклично-поточную технологию (ЦПТ) перемещения горной массы. Определение оптимального временного интервала и параметров перехода с ЦТ на ЦПТ позволяет эффективно управлять горными работами, в том числе путем обоснования параметров процессов управления качеством рудной массы. Оптимизация графика и режима горных работ в части перехода с ЦТ на ЦПТ обеспечивает возможность вовлечения в отработку большего количества рудных запасов. Данный подход соответствует политике государства в части рационального недропользования.

Неравномерность распределения ценных компонентов в массиве Костомукшского месторождений и изменение качественных характеристик содержания минеральных разновидностей руд по глубине массива под влиянием многочисленных геологических и эксплуатационных факторов определяют необходимость обоснования параметров геотехнологий рационального управления рудопотоками в единой гор-

нотехнической системе открытой геотехнологии с учетом распределения содержания полезных компонентов в массиве горных пород.

Основное внимание при этом должно уделяться процессам освоения месторождений и последующей переработки рудного сырья, начиная от геолого-разведки в добычном забое и до получения конечной продукции. Важное значение в решении этой проблемы имеет комплекс работ по подготовке рудного сырья в карьере для последующего обогащения. Этот процесс предусматривает разработку ряда организационных, экономических и технико-технологических мероприятий. В настоящее время возможности технических факторов исследованы и используются достаточно полно для повышения качества внутрикарьерной рудоподготовки рудной массы. Однако технологические и организационные возможности исчерпаны далеко не полностью и нуждаются в дальнейшем развитии. Поэтому обоснование логистической схемы карьера и технологии управления качеством рудопотоков с выбором рациональных параметров технологической схемы их формирования и перемещения в единой горнотехнической системе открытой разработки месторождений для конкретных горнотехнических условий представляет весьма актуальную задачу.

Целью исследования является обоснование выбора технологии и параметров процессов управления качеством рудопотоков для обеспечения эффективного перехода глубоких железорудных карьеров на циклично-поточную технологию.

Идея работы заключается в использовании установленных закономерностей в техногенно измененном качестве потоков железосодержащего сырья в природном массиве и в ходе основных технологически процессов для эффективного управления качеством потоков рудной массы и вскрышных пород в условиях перехода на циклично-поточную технологию при отработке глубоких горизонтов Костомукшского месторождения.

Для достижения установленной цели были сформированы и впоследствии реализованы следующие **задачи**:

- анализ опыта и перспектив развития процессов управления качеством рудной массы при открытой разработке мощных глубокозалегающих железорудных месторождений;

- систематизация способов и технологических схем управления качеством рудной массы при открытой разработке глубокозалегающих месторождений железных руд;

- разработка экономико-математической модели выбора технологической схемы и параметров процессов управления качеством рудопотоков при переходе Центрального карьера Костомукшского месторождения на циклично-поточную технологию;

– оценка влияния качества рудной массы на выбор технологии и показатели переработки железных руд;

– разработка технологических рекомендаций по управлению качеством рудной массы при освоении глубоких горизонтов Костомукшского месторождения.

Объект исследования: условия, технология и параметры управления качеством потоков сырья при переходе на циклично-поточную технологию на глубоких горизонтах Костомукшского железорудного месторождения.

Предмет исследования: технологическая схема и параметры управления качеством минерально-сырьевых потоков при переходе глубоких железорудных карьеров на циклично-поточную технологию на примере отработки глубоких горизонтов Костомукшского карьера.

Методы исследования. Общей теоретической и методологической основой работы является комплексный подход, включающий анализ и обобщение фундаментальных исследований в области методологии проектирования глубоких карьеров, отрабатывающих крутопадающие рудные месторождения, обобщение производственной и проектной практики горных работ. В качестве основных методов исследований использовались: мониторинг параметров и показателей технологических процессов на железорудном карьере; геоинформатика, имитационное и экономико-математическое моделирование с применением программы AnyLogic; системный анализ при исследовании процессов внутрикарьерного усреднения железной руды; методы математической статистики, теории вероятностей, динамического программирования; технико-экономические расчеты. Информационно-эмпирическая база исследования была сформирована на основе фактических данных разработки Костомукшского месторождения.

Защищаемые положения:

1. При сложноструктурном геологическом строении железорудного месторождения, представленного переслаиванием руд с различным содержанием ценного компонента и вскрышных пород, выделение в технологическом пространстве карьера некондиционных по мощности (менее 5 м), но кондиционных по содержанию железа магнитного (не менее 17%) из потока вскрышных пород методом сухой магнитной сепарации позволяет увеличить эффективность и полноту освоения месторождения.

2. Увеличение производственной мощности железорудного карьера при внедрении ЦПТ достигается за счет того, что рудная масса с кондиционным содержанием железа магнитного, которая не может быть отделена при выемке руды из забоя, в соответствии с данными эксплуатационной геологоразведки, посамосвального опробования качества горной массы отсортировывается методом сухой магнитной

сепарации и передается с вскрышного конвейера на рудный, что обеспечивает снижение потерь руды при отработке сложноструктурных блоков.

3. Доказано, что дробильные установки для дезинтеграции кондиционной руды, вскрышных пород и засоренной руды целесообразно размещать на общей технологической площадке – концентрационном горизонте. Это позволяет исключить перепробег автосамосвалов, так как все автосамосвалы направляются на единый концентрационный горизонт.

Научная новизна диссертационного исследования.

1. Научно-методический подход к выбору параметров процесса управления качеством потоков железосодержащего сырья в полном цикле эксплуатации глубоких железорудных карьеров на основе использования программного обеспечения AnyLogic с оптимизацией параметров технологических схем управления качеством рудной массы на базе разработанной экономико-математической модели.

2. Имитационная модель, построенная в системе Anylogic, отличающаяся учетом статистических данных по содержанию ценных компонентов в массиве месторождения и качеству рудной массы в загруженных автосамосвалах, а также предусматривающая применение схемы резервирования выдачи горной массы на вскрышном и рудном конвейерах, что обеспечивает увеличение производственной мощности рудника по руде.

К элементам научного и практического вклада относятся следующие теоретические и практические результаты:

- обоснование логистической схемы и технологии управления качеством рудопотоков при переходе на циклично-поточную геотехнологию освоения Костомукшского месторождения открытым способом;

- разработка алгоритма выбора технологии и параметров управления качеством рудопотоков при переходе на циклично-поточную геотехнологию извлечения запасов железорудных месторождений с невыдержанным вещественным составом;

- разработка технологических рекомендаций по управлению качеством рудной массы при освоении глубоких горизонтов Костомукшского месторождения.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций обеспечена применением современных методов анализа показателей и экономико-математического моделирования процессов освоения железорудного месторождения открытым способом, использованием апробированных методов и положений теории открытой геотехнологии, а также привлечением проектных и фактических материалов по предприятиям железорудной промышленности; сопоставимостью теоретических и экспериментальных результатов исследований с практикой проектирования и эксплуатации железорудных карьеров.

Практическая значимость работы состоит в разработке и внедрении технологических рекомендаций по управлению качеством рудной массы при разработке глубоких горизонтов Костомукшского месторождения с обеспечением повышения полноты и эффективности его освоения.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные идеи и принципы диссертационной работы докладывались на научных семинарах, научно-технических советах, международных конференциях: на II Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век», г.Пласт, 01-02.2020 г, Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2021», Москва, 25-29.01.2021 г, IV конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», г.Москва, 16-20.11.2020 г., научно-практическом семинаре «Определение условий и перспектив устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса России», г. Тырныауз, 22-28.03.2021 г, XI Международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр», 25-29.05.2021 г., III научно-практическая конференция «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие», г. Челябинск, 02-03.03.2020 г.

Публикации. Результаты проведенных исследований были опубликованы в 7 научных работах, в том числе 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Российской Федерации, рецензируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, насчитывающего 125 наименований. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу опыта перспектив развития процессов управления качеством рудной массы при разработке железорудных месторождений открытым способом. Выполнено обобщение мировой практики открытой разработки мощных глубокозалегающих железорудных месторождений, особенностей технологических процессов при переходе на отработку глубоких горизонтов карьера.

Процессу формирования требуемого качества продукции в настоящее время уделяется первостепенное значение в связи с тем, что современные требования к освоению недр предполагают повышение полноты и качества извлечения добываемого сырья на всех этапах разработки месторождения. Вопросы комплексного освоения

месторождений и управления качеством добываемой рудной массы нашли широкое развитие в трудах: акад. М.И. Агошкова, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова, А.А. Пешкова, В.Л. Яковлева, проф. Ю.И. Анистратова, А.И. Арсентьева, К.А. Васильева, С.Е. Гавришева, В.А. Галкина, П.Э. Зуркова, В.А. Щелканова, Г.Г. Ломоносова, П.П. Бастана, М.Г. Новожилова, В.Н. Попова, В.Н. Калмыкова, М.В. Рыльниковой, С.И. Фомина, Г.А. Холоднякова и других ученых, в трудах которых разработаны классификации технологических схем комбинированной геотехнологии и методы определения ее рациональных параметров, определены требования к способам управления качеством добываемой рудной массы и рационального использования природных ресурсов карьерного поля. Анализ исследований показал, что вопросы, связанные с выбором способа управления качеством рудопотоков и обоснования их рациональных параметров в единой горнотехнической системе при разработке железорудных месторождений требуют совершенствования.

Анализ исследований показал, что активное управление качеством руды обеспечивает повышение и стабилизацию объема выпускаемой фабрикой продукции, увеличение извлечения полезного компонента, что позволяет, в свою очередь, обеспечить на более высоком уровне эффективное развитие горного производства. Поэтому разработка методики выбора технологии управления качеством рудопотоков с обоснованием их рациональных параметров в единой горнотехнической системе для конкретных горнотехнических условий представляет актуальную задачу. Для конкретных горно-геологических условий освоения железорудного месторождения технологии рудоподготовки включают следующие технологические операции:

- разделение грузопотоков рудной массы в карьере на отдельные, отличающиеся по технологическим свойствам; при необходимости усреднение качественных показателей рудных потоков внутри технологических типов руд в целях формирования отдельных партий кондиционной руды для переработки на обогатительной фабрике;
- раздельная или селективная выемка и переработка руды с организацией в карьере или на поверхности многокомпонентных перегрузочных складов (по технологическим типам руд);
- раздельная добыча и перемещение руд разных технологических сортов с использованием ЦПТ;
- усреднение по нормируемым качественным параметрам руды (содержанию ценных компонентов, вредных примесей и др.) с организацией в карьере усреднительных перегрузочных (аккумулирующих) складов или посредством управления рудопотоками непосредственно в технологическом пространстве карьера;

– предобогащение руды в карьере или на отвале с отделением включений пустой породы или некондиций (посредством грохочения, сухой магнитной сепарации и пр.).

Разработка современных инновационных технологий управления качеством минерального сырья позволит решать задачи моделирования технологических процессов отработки рудных тел и выемочных единиц, планирования горных работ и стабилизации качественных показателей руды перед подачей ее на обогащение. Предусмотренные проектом параметры способов управления качеством поставляемой на обогатительную фабрику рудной массы при нарастании (изменении) информации о закономерностях распределения в карьерном поле участков залежей с различными геологическими и технологическими характеристиками подлежат периодическому уточнению, корректировке для уточнения параметров более полного извлечения основных и попутных компонентов полезных ископаемых конкретного месторождения.

Анализ состояния проблемы и опыта управления качеством рудопотоков позволил сформулировать цель, задачи и определить методы исследований.

Во второй главе диссертации получили развитие научно-методические основы и теория проектирования процессов управления качеством рудной массы при переходе карьера на циклично-поточную схему транспортирования.

Выполненная систематизация технологических способов управления качеством рудопотоков при открытой геотехнологии показала, что выбор метода управления качеством потоков минерального сырья в конкретных горно-геологических условиях открытой разработки состоит из последовательного решения взаимосвязанного блока задач с использованием разработанных методик, включающих:

- выявление и районирование (геометризация) в карьерном поле технологических состава и качества руд;
- выбор способа рудоподготовки и режимов управления качеством минерального сырья на основе установления закономерностей распределения в карьере типов и сортов руд;
- технико-экономическую оценку принятой технологии управления качеством минерального сырья и корректировку принятых решений на основе комплексной оценки горно-геологических, технико-технологических, экологических и экономических факторов.

При разработке типового алгоритма управления качеством потоков горной масса на железорудных месторождениях (рис.1) установлено, что представленная схема имеет существенный недостаток в случае, если кондиции на руду устанавливаются не только по содержанию ценных компонентов, но и с учетом мощности руд-

ных тел. Это влечет потери полезных ископаемых при отработке руды в блоках со сложным геологическим строением.

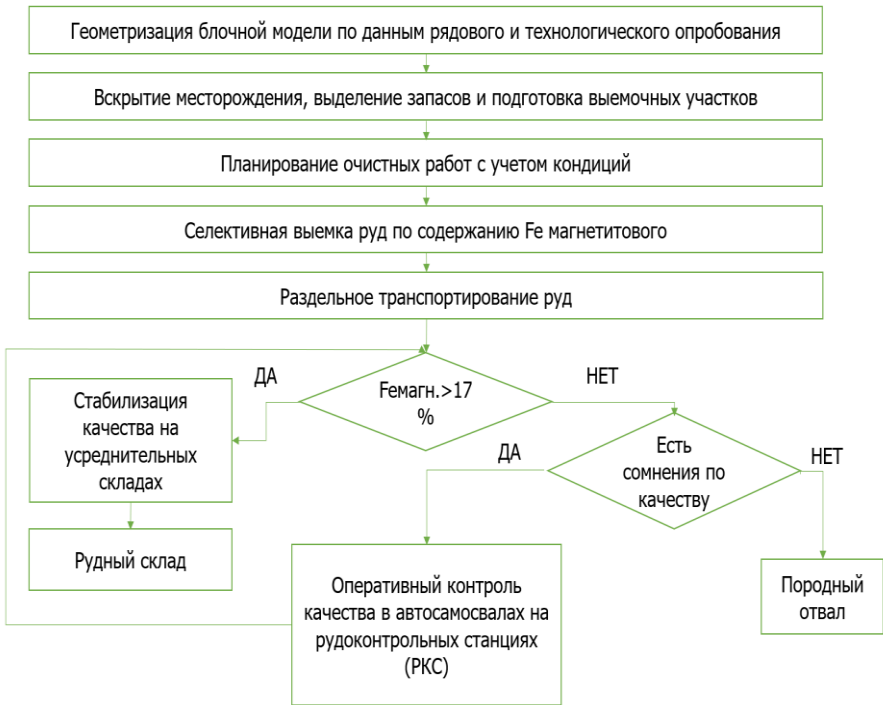


Рисунок 1 – Типовой алгоритм управления качеством на железорудных месторождениях при открытой разработке

Анализ факторов, определяющих выбор технологий и параметров управления качеством рудной массы при разработке месторождений железных руд, показал, что для контроля качества рудной массы прежде всего необходимо производить учет вещественного состава руды, содержания в ней ценных компонентов; гранулометрического состава; контрастности технологических свойств на всех стадиях освоения месторождения, начиная от геолого-разведочных работ до поставки на передел с оперативным управлением качеством рудопотоков на всех этапах технологической схемы.

Внедрение инновационных геотехнологий управления качеством сырья связано усложнением системы организации горных работ по сравнению с валовой добычей, снижением производительности горного оборудования и увеличением выемочно-

погрузочных и транспортных работ, необходимостью приобретения дорогостоящего оборудования с организацией дополнительных рабочих мест, ростом эксплуатационных затрат, что должно учитываться при выборе приоритетной технологии управления качеством рудопотоков.

Для решения этих задач определены принципы эффективного управления качеством рудоподготовки:

- постоянное уточнение качественных характеристик руды в массиве по результатам эксплуатационной разведки, магнитного каротажа, бурении стволов технологических скважин, химического анализа сырья на всех стадиях его добычи и переработки;
- использование ГИС при планировании горных работ (годовом, месячном, недельно-суточном, сменном), непрерывное пополнение ГИС уточненными данными о качестве полезных ископаемых;
- управление порядком взрывания обуренных эксплуатационных блоков;
- GPS-позиционирование экскавации с уточнением траектории перемещения ковша и с учетом положения экскаватора в забое, навигация транспортирования с учетом качества сырья в транспортных сосудах;
- внедрение систем АСУ для автоматизированного управления грузопотоками в карьере с учетом качества сырья.

Для выбора параметров процесса управления качеством рудопотоков разработана экономико-математическая модель с применением имитационного моделирования Anylogic.

Разработанная модель предусматривает:

- первичную обработку исходных данных службой диспетчеризации;
- на основе полученных ретроспективных данных производится генерация потока самосвалов с данными по направлениям движения, объемам и качеству транспортируемой горной массы;
- подсчет расстояний с перемещением автосамосвалов в условиях транспортной схемы с учетом расположения мест загрузки и разгрузки и оборудование комплекса ЦПТ;
- создание в среде Anylogic цифровой модели перемещения автосамосвалов по технологическим схемам карьера к местам разгрузки в дробильные комплексы рудного и вскрышного конвейеров;
- формирование модели перемещения автосамосвалов к дробильным и конвейерным установкам с учетом их технических характеристик в соответствии с проектной документацией;
- формирование комплексов аналитических расширений визуальных и цифровых;

- разработку алгоритмов, оценивающих степень загрузки бункера дробильной установки, время разгрузки, направление движения самосвала в том числе в случае выстраивания очереди к пункту разгрузки;
- оперативный учет времени движения автосамосвалов с согласованием расписания их движения, в реальных условиях загрузки, перемещения и разгрузки.

Запуск цифровой модели, имитирующей цикл движения автосамосвалов к комплексу ЦПТ позволяет оценить эффективность принятых решений:

- учет возникновения очереди из автосамосвалов на вскрышной конвейер;
- оценку простоя комплекса рудоподготовки с целью достижения увеличения производительности карьера;
- контроль избытка или недостатка автосамосвалов на всех стадиях технологических процессов для выполнения принципа потоковой выдачи горной массы;
- учет вариативности схем движения самосвалов с учетом очереди на комплекс СМС с целью избежания простоев оборудования.

Методика исследований для эффективного управления рудопотоками при введении ЦПТ включает анализ действующей системы управления качеством рудопотоков, оценку вещественного состава руд и пород на всех стадиях технологического цикла, тестирование цифровой модели, имитирующей поток горной массы, разработку технологических решений, обеспечивающих повышение полноты и комплексности освоения железорудного месторождения с учетом требуемого потребителем качества рудной массы.

Третья глава посвящена исследованию условий эффективного перехода на циклично-поточную геотехнологию при отработке глубоких горизонтов Костомукшского месторождения.

Результаты анализа геологического строения Центрального участка Костомукшского месторождения свидетельствуют о том, что ввиду сложного геологического строения железорудного месторождения, представленного переслаиванием руд с различным содержанием магнитного железа, выемка некондиционных по мощности (менее 5 м), но кондиционных по содержанию железа магнитного в забое не может быть осуществлена селективно.

Установлено, что содержание железа магнетитового коррелирует и снижается с повышением концентрации серы, попадание в концентрат которой значительно снижает качество товарной продукции. Причем, в магнетитовых и рибекит-магнетитовых кварцитах массовая доля пирита и пирротина находится примерно в

одном диапазоне, в то время, как в биотит-магнетитовых и грюнерит-магнетитовых концентрация пирротина значительно выше (рис. 2).

Исследование зависимостей распределения серы в минеральных разновидностях руд показало, что высокосернистые руды имеют выраженный литологический контроль – биотитовые и грюнеритовые кварциты.

В ходе статистической обработки данных установлено, что качество концентрата не зависит от содержания в исходной руде железа общего и магнетитового, а определяется минеральным и гранулометрическим составом.

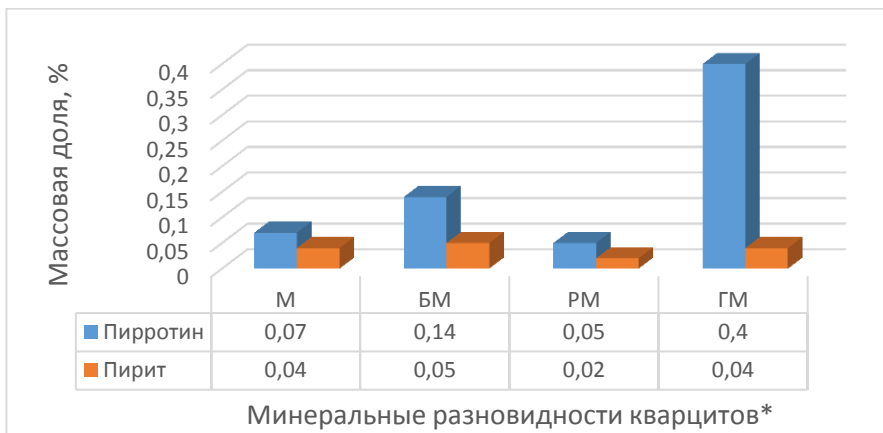


Рисунок 2 – Распределение сульфидных минералов по минералогическим типам руд: *М – магнетитовые, БМ – биотит-магнетитовые, РМ – рибекит-магнетитовые, ГМ – грюнерит-магнетитовые

Поскольку внедряемая на предприятии технология ЦПТ имеет преимущество по производительности вскрышной линии над линиями рудной и станции магнитной сепарации, был предложен алгоритм управления качеством рудопотоков, основанный на анализе геологических и логистических факторов (рис.3).

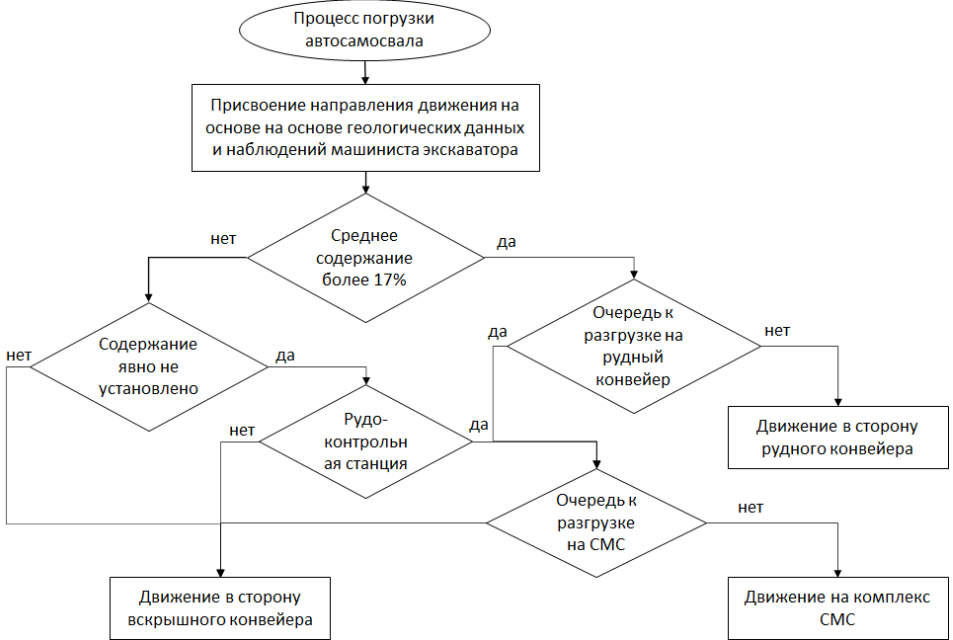


Рисунок 3 – Алгоритм выбора схем движения автосамосвалов на основе комплексной оценки геологических и логистических факторов

Результаты моделирования по представленному на рисунке 3 алгоритму показали, что проектируемый комплекс ЦПТ способен обеспечить необходимый уровень производительности. Так, например, очередь автосамосвалов на разгрузке наблюдается только на этапе старта модели, затем происходит перераспределение интервалов между рейсами и очередность снижается.

В результате моделирования установлено, что рекомендуемый подход к управлению качеством рудопотоков позволяет снизить простои автосамосвалов, тем самым повысить коэффициент использования вскрышного конвейера, освободив рудный конвейер от засоренной руды, что способно пропорционально повысить производительность рудника по руде.

В четвертой главе обоснована логистическая схема и технология управления качеством рудопотоков при циклично-поточной технологии. Принципиальная схема движения и основные методы управления качеством руды при внедрении ЦПТ представлена на рисунке 4.

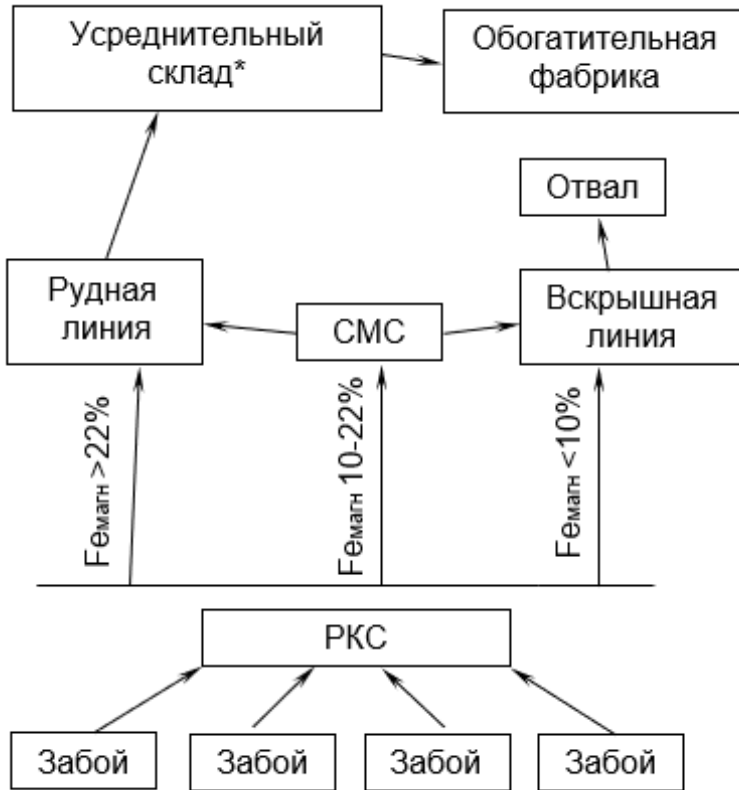


Рисунок 4 – Принципиальная схема движения и основные методы управления качеством рудопотоков при циклично-поточной технологии

Доказано, что установки для дробления руды, вскрыши и засоренной руды целесообразно размещать на общей площадке – концентрационном горизонте. Это позволяет исключить перепробег автосамосвалов, так как в данном случае все автосамосвалы направляются на концентрационный горизонт (рис. 5), при этом рудо-контрольная станция устанавливается непосредственно перед въездом на общую разгрузочную площадку. Доказано, что размещение оборудования поточной части в одном месте позволяет организовать гибкую систему резервирования транспортных средств перенаправлением потоков горной массы на свободный участок.

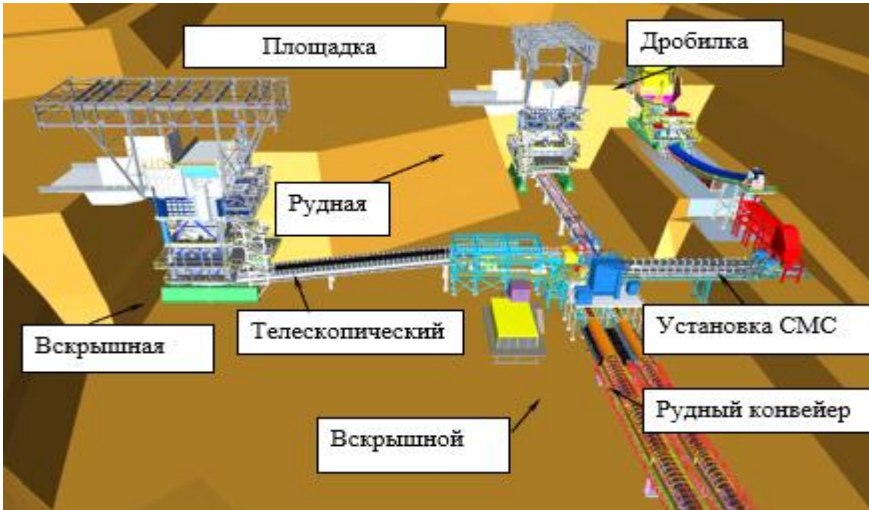


Рисунок 5 – Общий вид концентрационного горизонта

В ходе оценки динамики годовых эксплуатационных затрат (рис.6) по базовому варианту, ориентированному исключительно на применение в карьере автотранспорта и по двум сравниваемым вариантам ЦПТ, установлено, что эксплуатационные расходы по варианту ЦПТ с управлением качеством рудной массы по данным геологического опробования ниже на 17 %. При этом предложенный в диссертационной работе вариант управления качеством рудопотоков на базе оценки качества руды не только по данным учета геологических особенностей массива месторождения, но с распределением автосамосвалов по данным опробования горной массы, загруженной в кузов автосамосвала, позволяет дополнительно снизить себестоимость грузопотока еще на 14 %.

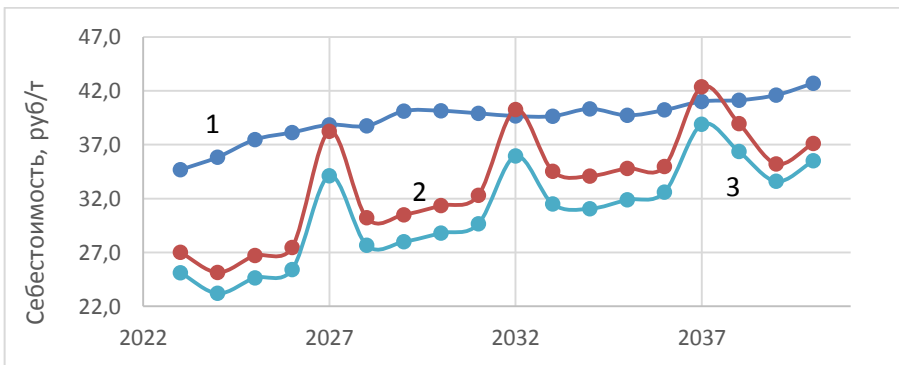


Рисунок 6 – Себестоимость транспортирования рудной массы: 1 – вариант с применением автотранспорта, 2 – вариант с внедрением ЦПТ, согласно разработанному

проекту, 3 – вариант с внедрением ЦПТ при распределении автосамосвалов на базе комплексной оценки геологических и логистических факторов

Совокупный доход от внедрения разработанной системы управления качеством с учетом перераспределения грузопотоков на базе логистических решений за период эксплуатации комплекса ЦПТ составит 875 млн. руб. (рис. 7).

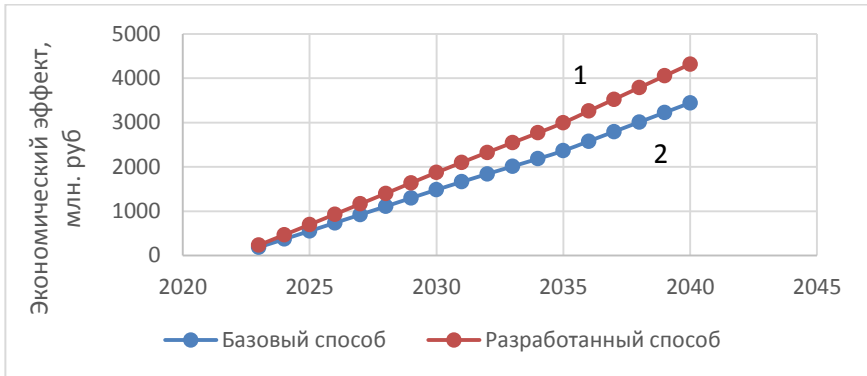


Рисунок 7 – Динамика совокупного эффекта от внедрения предложенного способа управления качеством рудопотоков (1) по сравнению с проектным вариантом внедрения комплекса ЦПТ (2)

Таким образом, определено, что вариант со строительством комплекса ЦПТ и установкой СМС в карьере, безусловно, является предпочтительным по сравнению с существующей схемой транспортирования горной массы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований дано решение актуальной научно-технической задачи: разработана методика выбора технологии и параметров процессов управления качеством потоков горной массы для эффективного перехода на циклично-поточную технологию глубоких железорудных карьеров. Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Истощение благоприятных к выемке запасов минерального сырья в условиях постоянного роста потребления минеральных ресурсов обусловило разработку модели выбора параметров процесса управления качеством рудопотоков на этапах разработки железорудных месторождений для эффективного решения проблемы комплексного освоения и сохранения недр, в основе которого лежит учет фактов

выявления кондиционных потоков рудной массы на вскрышном конвейере комплекса ЦПТ. Для условий Костомукшского месторождения доказана возможность выделения до 15% кондиционной рудной массы из потока вскрышных пород, направляемых на вскрышной конвейер.

2. Разработана методика проведения комплексных исследований вещественного состава железорудного сырья, обеспечивающая эффективное управление качеством рудопотоков при переходе глубокого железорудного карьера на ЦПТ. Установлено, что выделение из вскрышного потока кондиционной железосодержащей фракции позволяет повысить производительность карьера по руде не менее, чем на 4 %.

3. В ходе минералогических исследований установлено, что содержание железа магнетитового в руде Костомукшского месторождения снижается при повышении концентрации серы. Причем, в магнетитовых и рибекит-магнетитовых кварцитах массовая доля пирита и пирротина находится примерно в равном диапазоне, в то время, как в биотит-магнетитовых и грюнерит-магнетитовых рудах концентрация пирротина значительно выше, что осложняет процесс получения концентратов. Поэтому биотит-магнетитовые и грюнерит-магнетитовые кварциты могут быть вовлечены в основной направляемый в карьере на переработку рудопоток лишь в количестве не более 10% рудной массы. Доказано, что высокосернистые руды имеют выраженный литологический контроль – биотитовые и грюнеритовые кварциты. Этот признак позволяет выделять с вскрышного конвейера железосодержащую фракцию необходимого качества.

4. Предложен научно-методический подход к разработке модели обоснования выбора параметров процесса управления качеством рудопотоков на основе использования программного обеспечения AnyLogic и систематизации практических данных, собранных при освоении Костомукшского месторождения за период с 2016 по 2019 годы.

5. Доказано, что использование предложенной модели управления качеством рудопотоков на Центральном участке Костомукшского месторождения позволяет управлять работой комплекса СМС, при этом снизить в 2 раза нагрузку на узкую часть всей системы – дробильный комплекс. Итерации прогонов модели показали, что увеличение количества автосамосвалов не изменяет сложившуюся ситуацию, но смещение интервала погрузки в полной мере способно исключить простои комплекса ЦПТ.

6. Определено, что основными параметрами управления качеством рудопотока являются распределение содержания полезных компонентов и вредных примесей в разрабатываемом массиве месторождениях, во взорванном блоке, в ковше экскаватора, кузове автосамосвала, в приемном бункере и на конвейерной ленте. Управление этими параметрами с учетом выявленных зависимостей содержания

компонентов в рудной массе на всех стадиях технологического цикла позволит оптимизировать работу горно-транспортного комплекса в целом. Реализация предложенного алгоритма позволяет установить предпочтительную глубину перехода на ЦПТ, место размещения перегрузочных пунктов, дробилок, станции сухой магнитной сепарации.

7. Доказано, что дробильные установки для дезинтеграции руды, пород вскрыши и засоренной руды целесообразно размещать на общей площадке – концентрационном горизонте. Это позволяет исключить перепробег автосамосвалов, так как в данном случае все автосамосвалы направляются на концентрационный горизонт.

8. Установлено, что в варианте перехода на ЦПТ с управлением качеством рудной массы по данным геологического опробования снижаются расходы на 17 %. При этом предложенный в диссертационной работе вариант управления качеством рудопотоков на базе комплексной оценки качества руды по данным учета геологических особенностей массива месторождения и опробования содержания железа магнитного в горной массе, загруженной в кузов автосамосвала, позволяет снизить себестоимость грузопотока дополнительно на 14 %. Совокупных доход от внедрения разработанной системы управления качеством рудопотоков комплекса ЦПТ составляет 875 млн. руб.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора Власова А.В.:

В изданиях, рекомендуемых ВАК России:

1. Власов А.В., Оценка промышленных рисков на глубоких горизонтах карьера / Л.А. Гаджиева, А.Г. Рыльников., А.В. Власов, С.Я. Кливер // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. Вып. 4. С. 99-111. DOI:10.46689/2218-5194-2020-4-1-99-111.

2. Власов А.В. К обоснованию условий перехода на циклично-поточную геотехнологию в глубоких карьерах / А.В. Власов, А.Г. Шадронов, С.Я. Кливер, Ю.А. Лукьянов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. Вып. 4. С. 428-440.

3. Власов А.В. К обоснованию условий и параметров формирования горно-технических систем при строительстве и эксплуатации комплекса циклично-поточной геотехнологии в глубоких карьерах / В.С. Федотенко, А.В. Власов, С.Я. Кливер, А.Г. Шадронов // Горная промышленность. 2020. № 5. С. 102-107.

4. М.В. Рыльникова, А.В. Власов, М.А. Макеев. Обоснование условий применения автоматизированных систем управления открытыми горными работами строительства комплекса циклично-поточной геотехнологии в карьере с помощью имитационного моделирования // Горная промышленность. 2021. №4. С. 106-112.

Прочие:

5. Власов А.В. Оценка промышленных рисков при внедрении ЦПТ на глубоких горизонтах / Д.Н. Радченко, А.Г. Рыльников, Л.А. Гаджиева, А.В. Власов, С.Я. Кливер // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век» — М.:ИПКОН РАН. 2020. С. 33-35.

6. Власов А.В. К обоснованию условий перехода на циклично-поточную геотехнологию в глубоких карьерах / А.В. Власов, А.Г. Шадрунов, С.Я. Кливер, Ю.А. Лукьянов // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век» — М.:ИПКОН РАН. 2020. С. 27-28.

7. Власов А.В. Принципы управления качеством рудной массы при переходе на циклично-поточную геотехнологию при освоении железорудных месторождений // Труды Международной научно-технической конференции, г. Магнитогорск, 2021. – Магнитогорск: МГТУ, 2021. С.74-76.