Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

На правах рукописи

Аргимбаева Кристина Владимировна

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОСЕКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИМИ ХВОСТАМИ ОБОГАЩЕНИЯ ГОКов КМА

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Лигоцкий Д.Н.

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 11

1.1 Актуальность проблемы освоения техногенных месторождений 12

1.2 Закономерности формирования техногенных месторождений и распределения в них полезных компонентов 18

1.3 Анализ существующих технологий формирования и разработкитехногенных месторождений 22

1.4 Выводы по главе 1 25

ГЛАВА 2 ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕННОГО ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИМИ ХВОСТОХРАНИЛИЩАМИ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА 27

2.1 Изучение криогенных процессов в хвостохранилище Лебединского ГОКа 27

2.2 Исследование физико-механических свойств и гранулометрического состава техногенного сырья Лебединского ГОКа 35

2.3 Разработка и изучение состава для изоляции добычных блоков техногенного сырья от внешних осадков 38

2.4 Выводы по главе 2 44

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ 46

3.1 Описание технологии формирования и разработки железосодержащего хвостохранилища Лебединского ГОКа 46

3.2 Исследования по управлению сегрегационным процессом на примере железосодержащих хвостов обогащения Лебединского ГОКа 46

3.3 Обоснование параметров формирования техногенного месторождения для последующей отработки 54

3.4 Обоснование параметров потерь, возникающих при ведении горных работ в i-ой секции сформированного техногенного месторождения, гидравлическим экскаватором типа обратная лопата 62
3.5 Обоснование параметров потерь, возникающих при ведении горных работ в i-ой секции сформированного техногенного месторождения экскаваторами драглайнами 66
3.6 Методы сокращения потерь при отработке техногенного месторождения в пределах каждой секции 74
3.7 Выводы по главе 3 81
ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЕКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОГРАНИЧЕНИЯ 84
4.1 Актуальность математического моделирования при разработке техногенных месторождений. 84
4.2 Постановка задач моделирования и общий метод их решения 85
4.3 Математическая модель транспортной системы разработки 89
4.4 Выводы по главе 4 105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 107
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 109
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт внедрения 109
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Патенты и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 109

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В современных условиях в связи с ростом потребления продукции минерально-сырьевого комплекса происходит истощение запасов крупных месторождений, увеличивается спрос на готовую продукцию, ухудшается состояние окружающей среды и возникает настоятельная необходимость вовлечения в разработку техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения. Накопление отходов горно-металлургического производства в техногенных объектах осуществляется непрерывно. Так, только в хвостохранилищах горнодобывающих предприятий ГОКов КМА накопилось свыше 600 млн.т. железосодержащих отходов с содержанием полезного компонента до 30 %. При этом наиболее остро стоит вопрос создания новых емкостей для размещения хвостов обогащения с последующей отработкой на Лебединском ГОКе, где существующие хвостохранилища практически заполнены.

В настоящее время формирование хвостохранилищ происходит по классической схеме с естественной дифференциацией полезных компонентов, что не позволяет выделить экономически выгодные зоны для отработки. По ранее проведенным исследованиям доказано, что валовая выемка техногенного сырья приводит к значительным ущербам в виде повышения себестоимости добычи до 16 %, снижения извлечения полезного компонента в 2 раза, производительности выемочно-погрузочного оборудования до 35 %. Поэтому создание посекционной технологии формирования и открытой разработки техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА, является актуальной задачей. Это позволит повысить производительность выемочно-погрузочного оборудования и полноту извлечения полезного компонента, что в свою очередь снизит себестоимость добычи техногенного сырья.

Работа соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации по п. 6 «Рациональное

природопользование» (утвержден Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899). Ее направленность отвечает стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (Распоряжение Правительства от 22 декабря 2018 г. № 2914-р) в части создания новых технологий, позволяющих обеспечить отечественную горнодобывающую промышленность дополнительными запасами железорудного сырья.

Степень разработанности темы исследования

Вопросам комплексного освоения недр и рационального использования ресурсов посвящены исследования ведущих ученых: Агошкова М.И., Гавришева С.Е., Мельникова Н.В., Никитина Б.М., Ильина С.А., Капутина Ю.Е., Уманца В.Н., Холоднякова Г.А., Малярова И.П., Трубецкого К.Н., Рыльниковой М.В. и др. Они впервые систематизировали и классифицировали техногенные месторождения и образования, выделили основные этапы и последовательность разработки для сформированных (старых) техногенных месторождений.

Несмотря на наличие обширного теоретического потенциала и научно-методической базы, до сих пор не разработаны эффективные и безопасные технологические схемы формирования и разработки техногенных месторождений, представленных хвостами обогащения, которые обеспечили бы высокую производительность выемочно-погрузочного оборудования и повысили экономическую привлекательность и полноту извлечения техногенного сырья.

Предмет исследования - технология формирования и открытой разработки техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА.

Объект исследования - железосодержащие хвостохранилища ГОКов КМА.

Цель работы - разработка посекционной технологии формирования и освоения техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА, позволяющей повысить полноту извлечения полезного компонента.

Идея - при разработке посекционной технологии формирования и освоения техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА, необходимо учитывать сегрегационный процесс.

Задачи исследования

1. Оценить объем техногенного сырья, динамику образования, а также методическую базу формирования и вовлечения его в разработку.

2. Разработать посекционную технологию формирования техногенных месторождений с выделением различной крупности техногенного сырья за счет управления сегрегационным процессом.

3. Разработать физическую модель устройства по управлению сегрегационным процессом.

4. Разработать состав для изоляции осушенной секции от внешних осадков.

5. Разработать технологию освоения техногенного месторождения с использованием экскаватора драглайна и гидравлического экскаватора типа обратная лопата и установить зависимости параметров техногенного месторождения от применяемого выемочно-погрузочного оборудования, потерь добываемого сырья.

6. Экономически обосновать целесообразность вовлечения в разработку сформированного посекционно техногенного месторождения, представленного железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА.

Научная новизна

1. Установлены зависимости распределения осевых и окружных составляющих скоростей потока от диаметра трубопровода при транспортировании железосодержащих хвостов обогащения.

2. Выявлена зависимость потерь полезного компонента при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата от ширины разрабатываемой секции и глубины черпания экскаватора.

3. Установлены аппроксимационные зависимости радиуса рабочей зоны добычного забоя экскаватора драглайна от глубины его копания в пределах разрабатываемой секции техногенного сырья.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по следующим пунктам областей исследований: п.1 «Научные основы создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях», п.5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых», п.9. «Технология и оборудование для формирования и отработки техногенных месторождений».

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Установлен механизм сегрегационного процесса, происходящего при заполнении секции хвостами обогащения.

2. Разработаны технологические схемы формирования и освоения железосодержащих техногенных месторождений, представленных хвостами обогащения ГОКов КМА, обеспечивающие управляемое разделение техногенного сырья по крупности и плотности.

3. Разработан состав, позволяющий изолировать осушенные секции техногенного сырья от внешних осадков.

4. Предложена методика определения оптимальной ширины секции при формировании техногенных месторождений, представленных хвостами обогащения ГОКов КМА.

5. Предложена методика сокращения потерь при отработке техногенных месторождений, представленных хвостами обогащения ГОКов КМА, в пределах каждой секции.

6. Результаты диссертационных исследований используются в проектных работах, выполняемых ООО «Маггеопроект» для отработки отвалов техногенного

сырья (Участок № 3 «Северный доменный шлакоотвал» и Участок № 2 «Южный шлакоотвал»), что подтверждается актом об использовании результатов кандидатской диссертации от 17.05.2024 г. (Приложение А).

Методология и методы исследований

Для решения поставленных задач использован комплексный метод, включающий: анализ отечественной и зарубежной литературы; проведение в лабораторных условиях исследований свойств лежалых хвостов; проведение экспериментов по управлению сегрегационным процессом и забою экскаватора драглайна; математическое трехмерное параметрическое моделирование и обработку результатов исследований на ЭВМ с использованием специализированных программных комплексов.

Положения, выносимые на защиту

1. Управление сегрегационным процессом при посекционной укладке техногенного сырья по крупности и плотности позволяет при шаге навивки равном диаметру трубопровода с вероятностью 0,88 выделить мелкий класс - 3,1+0 мм.

2. Рекомендуемая технология формирования и отработки секции с использованием гидравлических экскаваторов типа обратная лопата (или экскаваторов драглайнов), позволяет обеспечить сокращение потерь полезного компонента не менее чем на 10-15 %.

3. Экранирование секций сформированного техногенного месторождения от внешних осадков за счет использования рекомендуемого состава с 5 % содержанием гидроксипропилметилцеллюлозы позволяет повысить производительность отработки секции не менее чем на 10 %.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена значительным объемом проанализированной и обобщенной исходной информации для аналитических исследований, экспериментальных исследований в натурных и лабораторных условиях, применением современных методов анализа и обработки экспериментальных данных, хорошей сходимостью расчетных данных с результатами лабораторных и натурных экспериментов.

Апробация результатов

Основные положения диссертационной работы освещались на: IV Международном форуме студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков «Проблемы горного дела» (г. Донецк, ноябрь 2024 г.), III Международном форуме студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков «Проблемы горного дела» (г. Донецк, апрель 2023 г.), XXII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, с международным участием (г. Нерюнгри, октябрь 2022 г.), II Международном форуме студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, посвященном 100-летию ДонНТУ (г. Донецк, апрель 2021 г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе и обобщении существующего опыта разработки техногенных месторождений; создании и научном обосновании новой технологии; разработке методики и проведении лабораторных и экспериментальных исследований; получении аналитических зависимостей; формулировке основных научных положений и выводов; разработке практических рекомендаций; подготовке публикаций по теме исследования.

Публикации

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 12 печатных работах (пункты списка литературы № 7-9, 15-19, 46, 85-86, 97), в том числе в 5 статьях–в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3-х статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получены 2 патента и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Приложение Б).

Структура диссертации

Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 103 наименования, 2

приложений. Диссертация изложена на 127 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков и 16 таблиц.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность научному руководителю доценту Д.Н. Лигоцкому, развитие идей которого, постоянное внимание и помощь способствовали успешному выполнению работы; сотрудникам кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых за ценные советы и помощь в научной работе; зав. лабораторией физико-механических свойств и разрушения горных пород Научного центра геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского горного университета М.Д. Ильинову за содействие в проведении экспериментальных исследований.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разработка хвостохранилищ является одной из острых проблем комплексного освоения недр и охраны окружающей среды. Впервые идея вовлечь в разработку отходы обогатительных фабрик возникла в США в XX веке. [96]

В 60-е годы Агошков М.И. и Мельников Н.В. ввели направление использования техногенных минеральных ресурсов. Оно получило широкое распространение в стране.

Наиболее известными учеными в данной области являются: Маляров И.П., Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Рыльникова М.В., Холодняков Г.А. и др. Они впервые систематизировали и классифицировали техногенные месторождения и образования. [63, 65, 66] А также обобщили метод разведки техногенных месторождений, выявили особенности внутреннего строения и пространственнойизменчивости содержания полезных компонентов, разработали методические рекомендации по разведке и оценке техногенных месторождений и др. Проф. Маляров И.П. выделил основные этапы и последовательность разработки для старых техногенных месторождений (Рисунок 1.1). [35]

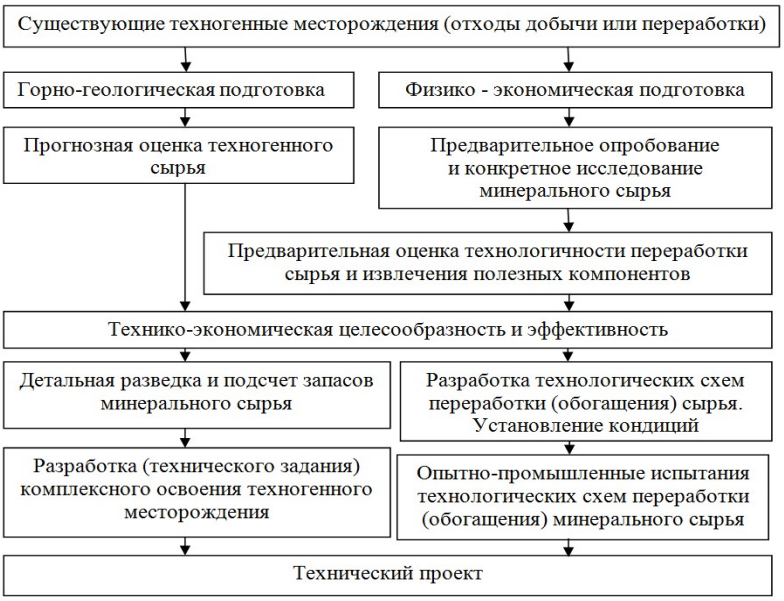


Рисунок 1.1 – Основные этапы подготовки существующих техногенных месторождений к разработке [35]

Среди иностранных исследователей, которые занимаются вопросамитехногенных месторождений, можно выделить таких ученых, как Дж. С. Эдайнсих, В. Кару, Г. Блайт, М. Тайеби-Хорами, Д.М. Фрэнкс, Э.Н. Лоусон и другие.

Они подробно обосновали необходимость вовлечения в разработку техногенных месторождений, [99, 100] представленных хвостами обогащения, васпекте снижения экологического воздействия на окружающую среду; [77, 78, 90] развили направление извлечения ценных полезных компонентов из ранее заскладированных на горнодобывающих предприятиях отходов; предложиликонцепцию консервации техногенных месторождений для сохранения ценностиполезных компонентов в них. [92, 93, 98]

1.1 Актуальность проблемы освоения техногенных месторождений

С каждым годом потребление минерального сырья в мире возрастает на 5-20 %, минерально-сырьевая база значительно истощается, известные крупные месторождения уже отработаны, а освоение удаленных месторождений является, как правило, нерентабельным и сопровождается сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями. Это приводит к необходимости поиска новых дешевых источников сырья. Перспективными являются отходы обогащения, металлургических заводов и отвалы бедных забалансовых руд. Промышленные отходы образуются на всех этапах горного производства (Рисунок 1.2). Запасы отходов горноперерабатывающих предприятий в отвалах, хвосто- и шламохранилищах обогатительных фабрик, шлакоотвалах металлургических заводов достигают миллиардов тонн, а содержание полезных компонентов в них в ряде случаев превышает уровень их содержания в недрах. [33, 34, 87] В виду этого существенно возрастает значение техногенных образований, которые становятся реальным и весомым резервом сырьевой базы, а вовлечение их в разработку становится все более актуальной задачей, стратегически важной для государства.

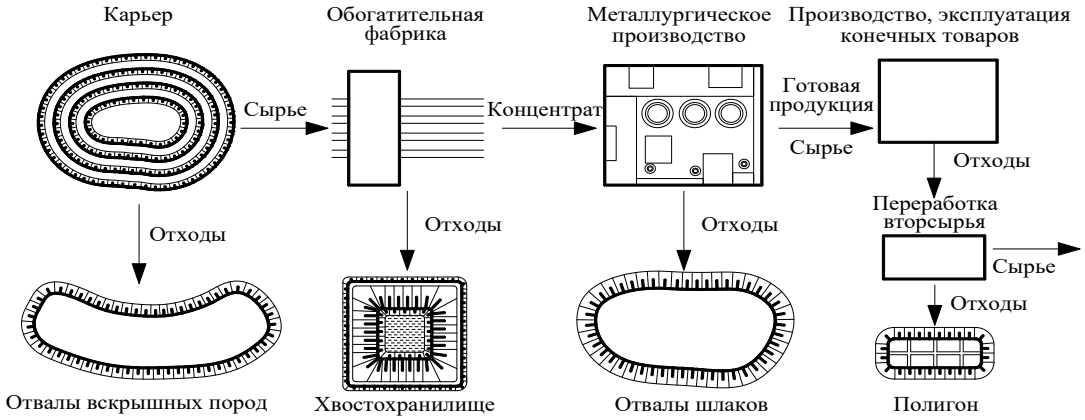


Рисунок 1.2 – Схема образования и размещения отходов добывающего и перерабатывающего производств

Проблема разработки техногенных месторождений и комплексного освоения сырья имеет несколько аспектов:

1. Ресурсный.

Ежегодно происходит истощение запасов минерально-сырьевой базы, в эксплуатацию вовлекаются новые месторождения с более сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями. Содержание полезных компонентов в сырье падает, в результате чего для получения того же количества продукции необходимо переработать больше горной массы. Так, например, содержание железа в рудах за последние 25 лет снизилось с 57 % до 21 %, начали вести добычу железистых кварцитов. [5, 65] Если в конце 19 века большая часть добываемых медных руд содержала 5-8 % Cu, в 1925 г. – уже 0,7-3 %, то в начале 21 века – 0,4-1 %. В этих условиях утилизация отходов и снижение потерь при добыче и обогащении позволяет увеличить сырьевой потенциал. [102, 103]

В отходах горного производства на территории стран СНГ накоплены громадные запасы свинца, цинка, меди, золота, серебра, вольфрама, олова и многих других полезных компонентов, извлечение которых могло бы удовлетворить потребности страны на несколько десятилетий вперед при современном уровне их использования. [4, 71]

Горнопромышленные отходы являются крупным и дешевым сырьевым источником для комплексного извлечения ряда ценных компонентов. [1, 73] Концентрация отдельных металлов в них значительно превышает их

концентрацию в рудах. Относительное содержание ценных компонентов в некоторых отходах характеризуется данными из таблицы 1.1, где за единицу принято среднее содержание металла в рудах отрасли.

Таблица 1.1 – Относительное содержание полезных компонентов в отходах [27]

Вид отходов	Относительное содержание
Медная подотрасль	
Отвальные шлаки	1,05-1,4 Zn
Конверторные шлаки	1,5-2,0 Cu
Тонкая пыль:	
шахтных печей	6,0 Cu; 5,5 Zn
обжиговых печей	3,64 Cu; 9,0 Zn; 2,5 Au; 11,4 Ag
конверторная	2,1 Cu; 15,7 Ag
Свинцово-цинковая подотрасль	
Цинковый осадок	2,9 Pb; 7,3 Zn; 6,5 Ag
Пыль свинцовая	30,4 Pb; 3,9 Zn; 1,3 Cu; 4,4 Ag
Шлаки отвальные	4,5 Zn
Никель-кобальтовая подотрасль	
Осадок отвальный	5,3 Co; 0,4-0,7 Ni
Хвосты флотации	1,75 Co

Большие перспективы в части утилизации имеют отходы обогатительного производства. В отдельных случаях несовершенство технологии переработки руд приводит к низким показателям извлечения при обогащении комплексных, шламистых, окисленных, тонковкрапленных руд, что заставляет рассматривать хвосты обогащения, шламы не как отходы, а как перспективное сырье для доизвлечения полезных компонентов. На Урале, в Кузбассе в хвостохранилищах прошлых лет складированы миллионы тонн хвостов магнитного обогащения железосодержащих руд скарнового типа. В хвостах содержится от десятых долей до одного процента меди и цинка, кобальта, никеля, молибдена и золота. [21, 48] Тяжелые цветные и благородные металлы приурочены, в основном, к пириту, халькопириту и пирротину. Исследованиями показана возможность получения из этого вида сырья медного и коллективного сульфидного концентратов. В качестве дополнительного источника сырья могут служить и так называемые лежалые хвосты (хвосты, длительное время находящиеся в хранилищах) в тех случаях когда: [7, 62]

- содержание в них ценного компонента становится соизмеримым с содержанием в перерабатываемой руде;

- создается принципиально новая, часто комбинированная технология, позволяющая доизвлекать ценные минералы;

- изменяется коньюктура на отдельные виды полезных ископаемых и становится рентабельным их извлечение из хвостов.

Например, бедные забалансовые руды и лежалые хвосты руд цветных металлов подвергаются кучному выщелачиванию. Наиболее широкое распространение эта технология получила применительно к медным, урановым, медно-цинковым, золотосодержащим рудам.

В связи с системным понижением содержания полезных компонентов в добываемых рудах, значительная часть ранее образованных отвалов бедных, забалансовых руд, вскрышных пород имеет промышленное значение как дополнительный источник для получения металлов и других ценных компонентов по более совершенным технологиям. В качестве примера могут служить железистые кварциты, которые до 1950 г. складировались в отвалы или применялись для мощения дорог, а в настоящее время используются для производства высококачественных железорудных концентратов. [31] На ряде медных шахт США в качестве закладочного материала применялись бедные забалансовые руды, а сейчас этот закладочный материал используется в качестве исходного для извлечения ценных минералов, в частности, золота, содержание которого около 60 г/т. На горно-обогатительных предприятиях России накоплены сотни миллионов тонн забалансовых руд, содержащих свыше 500 тыс. т меди, около 100 тыс. т свинца и цинка, более 10 тыс. т молибденита, большое количество редких и рассеянных элементов. Указанные отходы, полученные в первую очередь от переработки богатых руд, по существу являются техногенными месторождениями. [27, 83, 99]

Проблема комплексности использования минерального сырья – не только проблема экологии, ресурсов, новых технологий, это, прежде всего, экономическая проблема.

2. Экономический.

Экономический аспект проблемы разработки техногенных месторождений требует сопоставления экономических оценок ущерба от выброса отходов и доходов от их утилизации. [28] Утилизируя отходы, уже сейчас можно сократить объем добываемой горной массы на 20-25 %, снизить общую себестоимость продукции на 10-15 % и оздоровить экологическую обстановку в районах горноперерабатывающих предприятий. [26, 48, 57]

3. Экологический.

В результате своей деятельности горнодобывающими предприятиями нарушено более 20 миллионов гектар земель, в частности 59 % - горными выработками, 38 % - отвалами и отходами обогащения, 3 % - места оседания, провалов и других нарушений поверхности. [56, 79] На Курской магнитной аномалии ежегодные объемы вскрыши составляют около 90 млн. $м^3$ и лишь 15 % из них используются в хозяйственных целях. В результате чего к настоящему времени в контурах горных отводов Лебединского, Стойленского, Михайловского ГОКов заскладировано порядка 3 млрд. $м^3$ пород нарушенной структуры и около 1,5 млрд. $м^3$ отходов обогащения. В зоне прямого нарушения земель горно-обогатительными комбинатами КМА сформировался техногенный рельеф: под отвалами и хвостохранилищами занято 43 % площади. По прогнозам к 2026 г. под отвалами, гидроотвалами и хвостохранилищами будет занято до 55 % площади земельных отводов. Нарушения окружающей среды, связанные с размещением техногенных образований, распространяются в радиусе до 40 км от центра их складирования под воздействием внешних факторов (водная и ветровая эрозии, фильтрация загрязненных вод). [27, 60, 90] На рисунке 1.3 показана схема негативного воздействия горнодобывающего предприятия на окружающую среду.

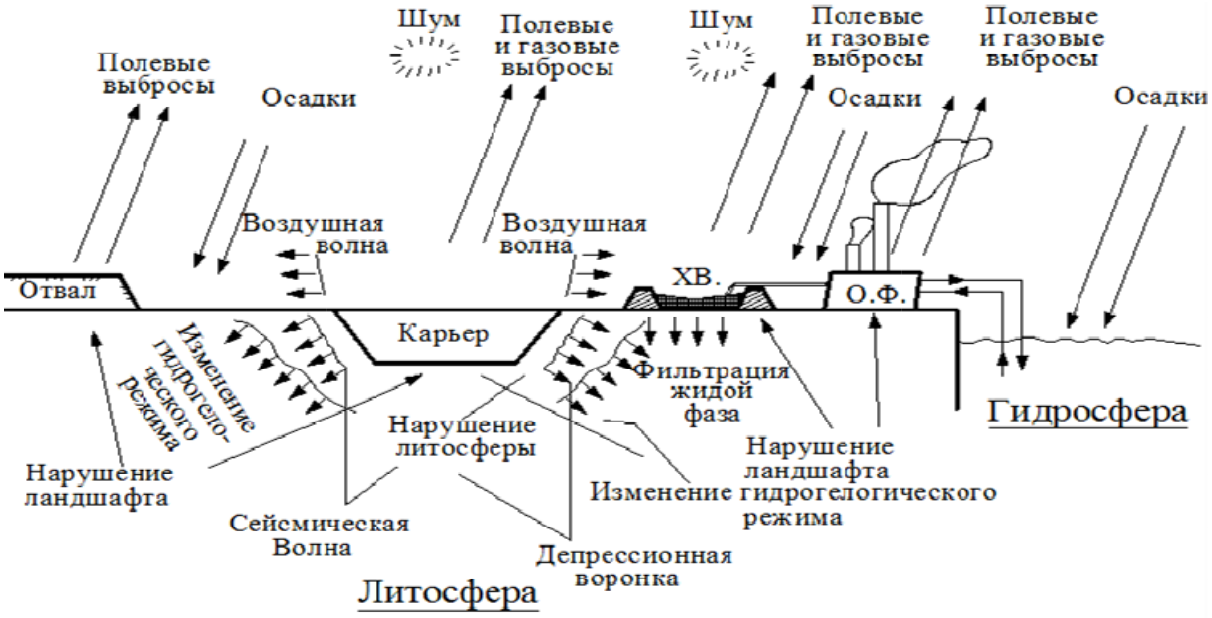


Рисунок 1.3 – Схема взаимодействия горного предприятия с окружающей средой

Происходящие непосредственно на хвостохранилищах процессы пылеобразования и окисления в свою очередь приводят к загрязнению почвы, воздуха, поверхностных и подземных вод. Так, с 1 га сухой поверхности хвостохранилищ на горных предприятиях ГОКов КМА может уноситься до 2-5 т мелкодисперсной пыли в сутки. На хвостохранилище апатитонефелиновой обогатительной фабрики АО «Апатит» периодически (2-3 раза каждое лето) на поверхности возникает мощное пылевое облако, которое под воздействием ветра распространяется на большие расстояния, вредно влияя на окружающую природу и организм людей. Активно пылящая поверхность составляет более 100 га, с которой каждый раз при определенной интенсивности ветра сдувается слой песка толщиной 1 см, что в сумме составляет 10 тыс. $м^3$ или 28 тыс. т песка. [48, 57, 58]

Из-за несовершенства сооружений хвостохранилищ, отстойников высокоминерализованные воды фильтруются в подземные водоносные горизонты или в поверхностные водотоки, загрязняя их примесями твердых минеральных веществ, флотационных реагентов, большинство которых токсичны, ионами тяжелых металлов, сульфатами, хлоридами и прочим. Через загрязнение атмосферного воздуха и воды горное производство воздействует на биосферу, растительность, животный мир и, в конечном счете, на человека. [20, 26]

Потери изъятых земель, пригодных к использованию, нарушение экологического равновесия и затраты на содержание являются весомым ущербом, который наносят хвостохранилища. Оптимальным решением снижения негативного экологического воздействия отходов на окружающую среду является включение их в замкнутые циклы и вовлечение в разработку. [30, 32]

Все вышеперечисленное заставляет обратить серьезное внимание на проблему вовлечения в разработку горнопромышленных отходов. [27, 83, 101]

1.2 Закономерности формирования техногенных месторождений и распределения в них полезных компонентов

Существующие железосодержащие хвостохранилища ОАО «Лебединский ГОК» сложены хвостами обогащения магнетитовых и гематитовых руд. При обогащении железных и гематитовых руд чрезвычайно тонкие дисперсные включения золота в железе обусловливают высокие потери этого металла в хвостах обогащения. Находящиеся в сростках с железом минералы меди и цинка являются причиной насыщения хвостохранилищ этими металлами. Из этого следует, что железосодержащие хвостохранилища при определенных условиях можно рассматривать как комплексные техногенные месторождения по добыче железа с попутным извлечением золота, меди и цинка.

Закономерности формирования техногенных месторождений зависят от условий залегания, способа разработки природного месторождения и методов обогащения руд.

При разработке месторождений, содержащих черные металлы, добытая рудная масса подвергается переработке на обогатительной фабрике. В зависимости от количества полезных компонентов в природной залежи, их минералогического состава, мощности рудного тела, количества примешиваемых пород при добыче (разубоживания), содержания полезных компонентов во вмещающих породах применяют различные способы переработки руд на обогатительной фабрике. Подготовка рудной массы к обогащению, как правило,

включает процессы дробления и измельчения руды. Образующиеся в процессе обогащения отходы направляются в хвостохранилища.

Строение хвостохранилищ зависит от технологии складирования отходов обогатительной фабрики, порядка их размещения во времени и сроков давности складирования, а также физико-механических свойств складируемого материала - гранулометрического состава, степени дробления и измельчения, состояния (кусковый материал, шлам, пульпа), соотношения твердой и жидкой фаз и др. При складировании материала может происходить, с одной стороны, усреднение его качественных характеристик в определенных объемах вследствие его перемешивания, а с другой - гравитационная дифференциация и сегрегация. При складировании хвостов обогащения образование хвостохранилищ в большинстве случаев производится рассредоточенным способом путем намыва отдельных участков. [12] При формировании участков потоки пульпы меняют свое русло, и только у пруда образуется сплошной поток по всей ширине фронта намыва. На участке намыва происходит разделение материала по крупности, а, следовательно, и по содержанию отдельных компонентов.

При заполнении равнинных хвостохранилищ подача песков с обогатительной фабрики ведется участками по 200-500 м. Одновременно на этом участке находится 4-12 выпусков. Намыв участка производится послойно высотой 0,3-0,5 м. Средняя интенсивность намыва до 0,7 м/год. Перекладка распределительного пульповода производится 1 раз в 5 лет, т.е. намывается за это время 3-3,5 м хвостов. При формировании хвостохранилища вблизи сброса пульпы осаждаются фракции размером +0,35-0,63 мм, далее оседают фракции +0,14-0,35 мм и на дальних участках менее мелкие и легкие фракции.

В распределении золота установлены отчетливые закономерности - в вертикальном разрезе обогащенные золотом слои чередуются с бедными, что обусловлено ритмичным поступлением материала с фабрики. Как и для большинства техногенных месторождений цветных и драгоценных металлов прослеживается повышение содержания полезного компонента в нижних частях

хвостохранилища, что объясняется перераспределением золота вследствии его высокой плотности.

При формировании хвостохранилищ цветных металлов, содержание которых в руде составляет несколько процентов от общего объема рудной массы, но удельный вес минералов выше удельного веса вмещающих пород, в хвостохранилище происходит формирование небольших по площади залежей в виде отдельных линз, пропластков, жил, штоков, гнезд и других залежей неправильной формы в окружении пустых некондиционных песков.

Установлено повышение концентраций свинца и цинка по глубине залегания хвостов из-за осаждения наиболее крупных и тяжелых частиц. Запасы серебра и золота, несмотря на их небольшое содержание, но имеющие большую плотность обычно выпадают вместе с цинком и свинцом в местах слива хвостовой пульпы. Медь и цинк концентрируются также в окрестностях точек подачи в хвостохранилище пульпы из-за осаждения наиболее крупных и тяжелых частиц. Медные минералы, как более легкие, концентрируются в средней нижней части хвостов, а цинковые - преимущественно в нижней части. [58]

Проведенные исследования показали, что наибольшее содержание меди отмечается вблизи мест слива шлама. По мере удаления от места слива содержание меди падает. [32]

На кафедре разработки месторождений полезных ископаемых в Горном университете были проанализированы работы по геометризации содержания полезных компонентов методом изолиний в плане и на разрезах по глубине на основе данных опробования геологоразведочных скважин Текелийского, Лениногорского, Кировоградского, Ковдорского хвостохранилищ, а также шламохранилищ ЦГОКа и Марганецкого ГОКа.

Анализ изменчивости содержания полезных компонентов в хвостах обогащения показал, что оно происходит благодаря гравитационной дифференциации твердой фазы пульпы в процессе заполнения хвостохранилища, в результате чего происходит образование пространственно обособленных достаточно крупных обогащенных металлами участков, приуроченных обычно к

месту слива пульпы. Наблюдается существенная анизотропия изменчивости содержания металла в трех ортогональных направлениях, причем максимальная изменчивость чаще всего наблюдается по вертикали.

Форма и размеры техногенных залежей в плане определяются условиями намыва хвостов в хвостохранилище, плотностью пульпы, удельным весом полезных компонентов и их содержанием в пульпе. На вертикальных разрезах хвостохранилищ цветных металлов выделяются участки, обогащенные полезным компонентов в виде линз, гнезд, а иногда и более сложных форм, при этом мощность залежей изменяется от нескольких метров до десятков метров.

Для хвостохранилищ предприятий черной металлургии характерной особенностью является их слоистая структура в виде пластов с ярко выраженным чередованием обогащенных пропластков и безрудных участков. [35] Дифференциация хвостов по качеству, как в плане, так и глубине позволяет организовать селективную разработку техногенных залежей с различными типосортами руд и производить их переработку по различным технологическим схемам. [6]

Всего в России зарегистрировано более 300 хвосто- и шламохранилищ горноперерабатывающих комплексов. Однако, на большинстве этих техногенных месторождений до сих пор не проводилось серьезных геологоразведочных работ на предмет выявления характера распределения в них полезных компонентов.

На всех хвосто- и шламохранилищах черной и цветной металлургии необходимо проведение следующих видов работ:

1) Построение карт распределения ценных полезных компонентов по акватории хвостохранилища.

2) Выявление горизонтальной и вертикальной зональности распределения металлов в хвостохранилище.

3) Выделение участков с относительно высокими концентрациями металлов в хвостохранилище.

1.3 Анализ существующих технологий формирования и разработки техногенных месторождений

В настоящее время существует малое количество технологий формирования и разработки хвостохранилищ, которые зарегистрированы Федеральным институтом промышленной собственности. [68, 69]

Некоторые виды технологий, применяемые на горнодобывающих предприятиях РФ:

Технология освоения техногенных месторождений с предварительной выемкой пород и последующим выщелачиванием

Известен способ формирования и разработки техногенного месторождения RU2699097C1, представленный на рисунке 1.4.

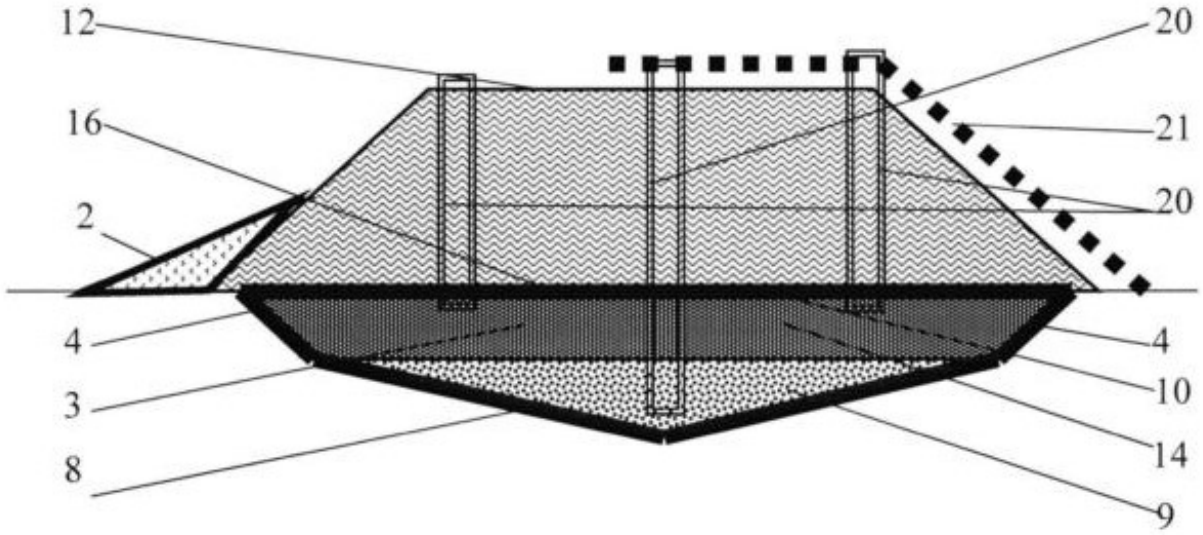


Рисунок 1.4 – Схема формирования техногенного месторождения с предварительной выемкой пород: 2 – потенциально плодородные породы;3 – выработка; 4 – борта выработки; 8 – слой гидроизоляции; 9 – защитный слой; 10 – горизонтальная поверхность; 12 – верхняя рабочая площадка предотвала;14 – конусы; 16 – гидроизоляция; 20 – продуктивный раствор; 21 – плодородный слой почвы [54]

В границах техногенного месторождения снимается плодородный слой и складируется по периметру ведения горных работ, далее производится выемка горных пород до заданной отметки. В торце образованной выемки создается

предотвал, производится гидроизоляция образованной выработки путем чередования слоев глинистых пород и мелкой фракции скальных пород. Поверх полученного основания отсыпают отвал и покрывают его предварительно снятым плодородным слоем. Дальнейшая разработка сформированного месторождения осуществляется методом выщелачивания. [54]

Технология формирования техногенных месторождений с внутриотвальным обогащением

Способ формирования техногенных месторождений, предложенный акад. К.Н. Трубецким (патент RU2182964C2 от 27.05.2002). Формирование основано на использовании известного природного эффекта – зависимость характера знака соединений металлов, частиц или минералов от исходных кислотно-щелочных свойств среды. Поочередно формируются дренажный, обогащаемый (из некондиционных железных руд, обладающих отрицательным либо положительным зарядом в зависимости от характера металлосодержащего раствора) и выщелачиваемый (из железосодержащих пород) слои. Затем обрабатывают полученный массив металлосодержащим раствором. В результате чего в пределах обогащаемого слоя происходит сорбционное осаждение железа. [52]

Технология разработки хвостохранилищ бурошнековой установкой

Способ разработки хвостохранилищ (патент RU2177548C1 от 27.12.2001, рисунок 1.5) заключается в делении площади хвостохранилища на выемочные блоки, проходку по центру блоков траншеи с использованием драглайна. При этом дно траншеи формируют ниже обогащенных пропластков. Отделение породы осуществляется с использованием бурошнековой установки, а дальнейшая транспортировка – ленточным конвейером. [51]

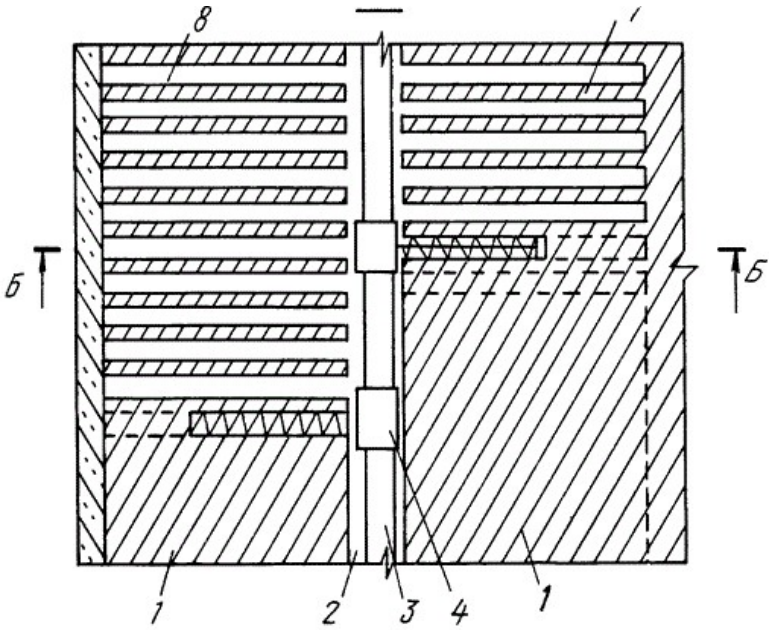


Рисунок 1.5 – Схема разработки хвостохранилищ с использованием бурошнековой установки: 1 – выемочные блоки; 2 – траншея; 3 – ленточный конвейер; 4 – бурошнековая установка [51]

Послойная технология разработки хвостохранилищ траншеями

Способ разработки хвостохранилищ, предложенный акад. К.Н. Трубецким (патент SU1642016 от 15.04.1991), представлен на рисунке 1.6. Отработку хвостов ведут слоями «сверху-вниз» с помощью траншей, образованных по обе стороны породной полосы, шириной, равной двум радиусам вращения кузова экскаватора, с погрузкой их в транспортное средство и отправкой на обогатительную фабрику.

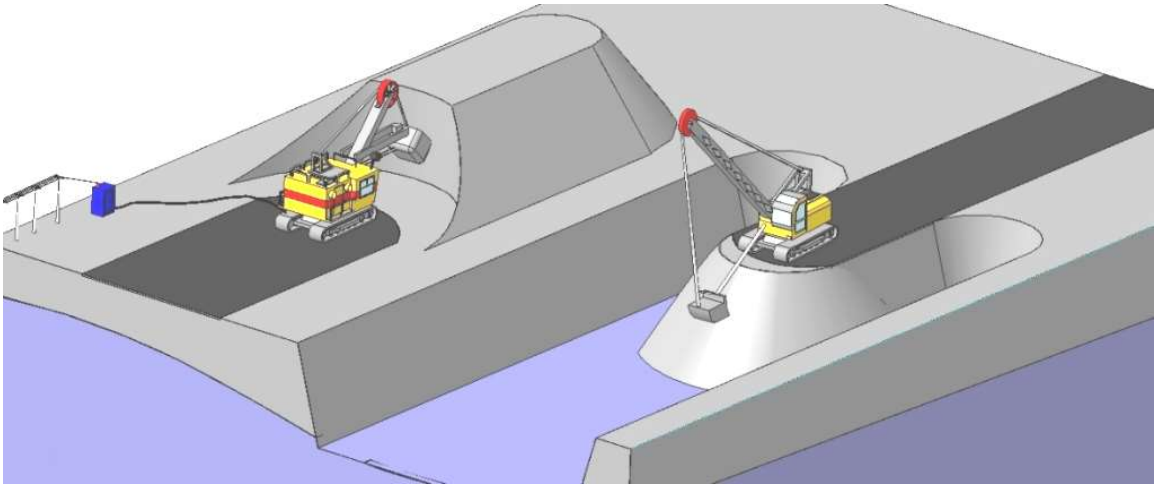


Рисунок 1.6 – 3Д модель способа послойной разработки хвостохранилищ траншеями

Недостатками этого способа являются: валовая выемка; значительные затраты на дополнительные мероприятия по повышению устойчивости выемочно-погрузочного, транспортного оборудования; возможность возникновение оползней в добычном забое; недостаточно эффективное высушивание полусухих хвостов. [64]

1.5 Выводы по главе 1

1. Проведен анализ необходимости вовлечения в разработку техногенных месторождений, динамики объемов накопленных горнопромышленных отходов и содержания полезных компонентов в них, имеющейся на сегодняшний день научно-методической базы по освоению техногенных месторождений. Запасы отходов горноперерабатывающих предприятий в отвалах, хвосто- и шламохранилищах обогатительных фабрик, шлакоотвалах металлургических заводов достигают миллиардов тонн, а содержание полезных компонентов в них в ряде случаев превышает уровень их содержания в недрах.

2. В контурах горных отводов ГОКов КМА в настоящее время валовозаскладировано около 1500 млн. $м^3$ отходов обогащения без четко отчерченных границ сортности техногенного сырья, содержащих значительное количество железа, кремния и даже меди, цинка, золота. Хвостохранилищами занято 43 % площади земель, которые дошли до проектных показателей заполнения, что обосновывает необходимость формирования новых емкостей по совершенно новому принципу с учетом управления сегрегационным процессом для дальнейшей высокоэффективной отработки.

3. Анализ закономерностей формирования техногенных месторождений и распределения в них полезных компонентов позволил выявить, что характерной особенностью железосодержащих хвостохранилищ является их слоистая структура в виде пластов с ярко выраженным чередованием обогащенных и безрудных участков. Содержание полезного компонента повышается при приближении к месту выпуска пульпы.

4. Анализ существующих технологий формирования и разработки техногенных месторождений выявил их несовершенство и устарелый подход, а именно: валовое складирование техногенного сырья, что приводит к снижению качества сырья и, как следствие, их привлекательности для дальнейшего освоения. Техногенное сырье, направляемое на складирование, имеет разное строение по качественному составу, что предопределяет интерес его освоения в различный временной интервал с учетом научно-технического прогресса. Ввиду этого, формирование техногенных месторождений с управляемым сегрегационным процессом и последующей отработки секции с заранее известным качественным составом является актуальной задачей.

5. Экономическая целесообразность вовлечения в разработку техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения, обусловлена сокращением объема добываемой горной массы до 20 %, снижением себестоимости продукции на 10-15 % и улучшением экологической обстановки.

ГЛАВА 2 ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕННОГО ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИМИ ХВОСТОХРАНИЛИЩАМИ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА

2.1 Изучение криогенных процессов в хвостохранилище Лебединского ГОКа

Динамика криогенных процессов, происходящих в хвостохранилищах в различные периоды времени, в значительной мере влияет на параметры формирования с дальнейшей его эксплуатацией при вовлечении в разработку. [80]

Практически каждый год в различных странах происходят аварии горнотехнических сооружений, в том числе хвостохранилищ (техногенных месторождений), причем последствия этих разрушений свидетельствуют о серьезной опасности для людей, инженерных сооружений и элементов окружающей среды.

В связи с этим параметры формируемых и разрабатываемых техногенных месторождений, обеспечивающие безопасный режим с наименьшим риском аварии, приобретают все большую актуальность и требуют скорейшего решения для разработки и реализации мероприятий по снижению риска и повышению устойчивости горных выработок в техногенных месторождениях, что в свою очередь связано с гидрохимическим составом водной массы, с технологическими особенностями формирования и технологиями ведения горных работ.

При формировании техногенных месторождений с большими расходами гидросмеси, малой ее плотности (отношение твердой (Т) и жидкой (Ж) фазы ниже 1:15) и незначительной длиной надводного пляжа (до 100-150 м) существуют необходимые технические возможности для оперативного регулирования определяющих параметров теплового состояния гидросмеси: размеров карт намыва, направления растекания потока и др.

Однако, в практике эксплуатации хвостохранилищ, особенно при складировании хвостов обогатительных фабрик черной металлургии, возможны случаи значительной удаленности прудка от гребня ограждающей дамбы. Кроме того, стремление к использованию энергетически экономичных схем хвостового

хозяйства приводит к повышению отношения Т:Ж и соответствующему возрастанию плотности гидросмеси, поступающей в хвостохранилище. Специфика зимнего гидронамыва в этих условиях заключается в возможности переохлаждения взвесенесущего потока при его добегании до прудка и, как следствие, образования наледей и криогенных включений в пределах надводного пляжа.

Оценка устойчивости таких хвостохранилищ, вопросы управления надежностью процессов формирования и эксплуатации намывных техногенных месторождений с учетом прогноза направленности криогенных процессов в намытом массиве хвостов формируют самостоятельную актуальную задачу, имеющую большое научно-практическое значение, которое также направлено на изучение гидрохимического состава жидкой фазы пульпы.

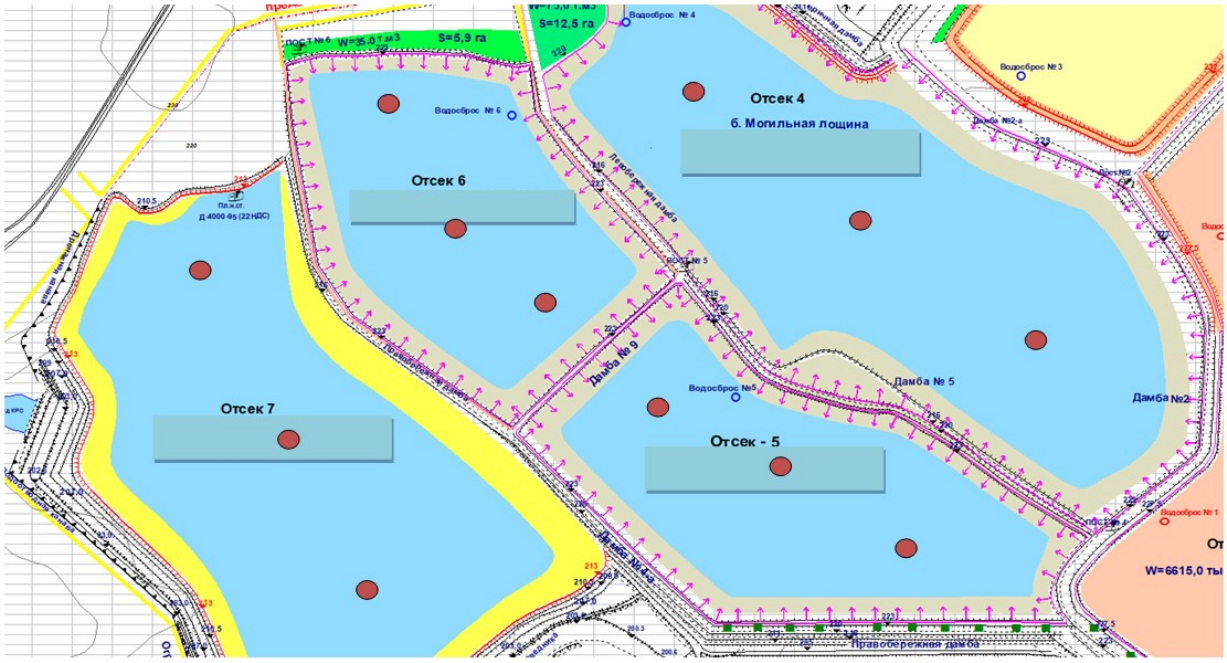
В условиях горно-обогатительного комбината, осуществляющего добычу руд, обогащение железистых кварцитов с использованием большого количества воды, подлежащей в последствие осветлению, существует риск уменьшения устойчивости горных выработок при ведении горных работ в пределах техногенного месторождения, а именно обрушение добычного забоя, снижение несущей способности поверхности хвостохранилища, образование опасных участков с талыми хвостами в зимний/летний период (Рисунок 2.1) и др.

Рисунок 2.1 – Попадание выемочно-погрузочного оборудования в участок с талыми хвостами

Анализ гидрохимической информации позволяет определять качественный состав вод, их взаимосвязь с криогенными процессами и своевременно устанавливать опасные участки с низкой несущей способностью.

Для определения химического состава жидкой фазы хвостохранилища был произведен отбор проб воды из отсеков водоемов хвостохранилища. Отобрано за отчетный год 16 проб из отсеков № 4, 5, 6, 7, а также 8 проб из прудка Орлиный Лог (Рисунок 2.2).

а



б

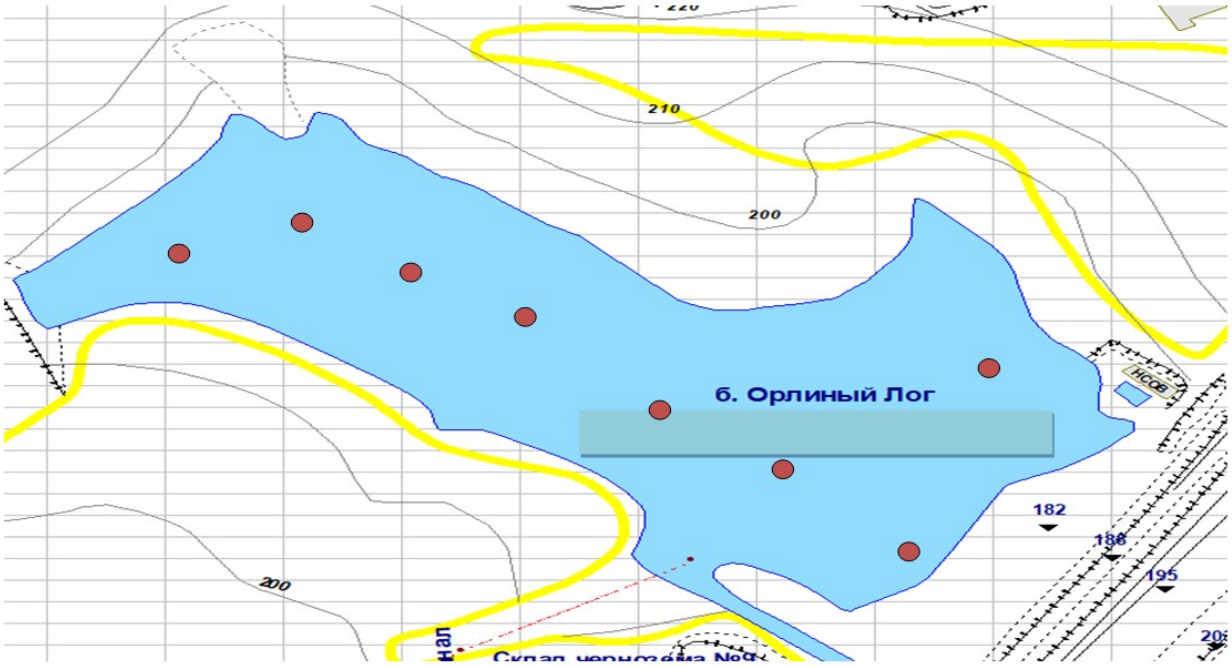


Рисунок 2.2 – Схема отбора проб водной массы, где ● - места отбора проб

В настоящее время воды хвостохранилища по своему составу сульфатно-гидрокарбонатные, минерализация от 315,05 мг/л (прудок Орлиный Лог) до 660,0 мг/л (остальные отсеки).

Обращает на себя внимание резкое увеличение минерализации воды в прудке головной плотины начиная с октября 2022 года. Во всех пробах 2022 г. минерализация составляет от 1195,0 мг/л до 1260 мг/л, т.е. вода соленая. Содержание сульфатов значительно увеличилось: 241,6-261,3 мг/л.

Причиной изменения качества воды в фильтрационном прудке плотины объясняется проводимыми Стойленским ГОКом в этом районе работами по складированию отвалов рыхлой вскрыши. В результате динамических нагрузок в нижнем бьефе головной плотины произошли инженерно-геологические и гидрогеологические изменения. Увеличение минерализации поверхностного водоема произошло за счет подпитки подземными водами, сформированными под Стойленскими отвалами и обогащенными высоким содержанием сульфатов. Кроме того, насосная станция по перекачке воды из прудка головной плотины в аварийную емкость способствует подтягиванию фильтрационных вод со стороны Стойленских отвалов.

Тем не менее, в прудке-отстойнике Орлиный Лог, куда в конечном итоге поступает вода из прудка головной плотины, за счет процессов окисления вода пресная – 315,05-418,0 мг/л.

В фильтрационном прудке головной плотины вода жесткая от 8,7 мг-экв./л до 10,7 мг-экв./л, загрязнена нефтепродуктами – 0,55-0,72 мг/л.

Во всех отсеках хвостохранилища эпизодически наблюдается превышение предельно-допустимых концентраций по железу, особенно в прудке Орлиный Лог. В отсеке №4 и в прудке головной плотины определено превышение допустимых норм по марганцу в одной пробе из четырех.

Отмечается стабильное превышение ПДК нефтепродуктов по всем отсекам хвостохранилища в среднем в 1,6 раза. Превышение содержания БПКв 1,8 раза, ХПК в 3,5 раза говорит об органическом загрязнении поверхностных вод.

Поверхностные воды хвостохранилища не загрязнены азотными соединениями, за исключением одной пробы в отсеке №4 – 1,7 мг/л.

В большинстве проб воды отмечается наличие синтетических поверхностно-активных веществ, но их концентрации не превышают допустимые нормы.

Содержание меди, марганца, цинка, фосфора значительно ниже нормативов по всем точкам отбора.

Направленность криогенных процессов оценивалась по результатам инженерно-геологических изысканий и гидрохимического анализа жидкой фазы техногенного сырья, а также численным моделированием задач теплопроводности.

В основу аналитического прогноза были положены результаты полевых исследований температурного и гидротермического режимов хвостохранилища, а также условий теплообмена пляжа с атмосферой. Решались одномерные задачи теплопроводности: о тепловом влиянии намываемого выше проектной отметки заполнения хвостохранилища слоя хвостов и об оценке средней скорости деградирования мерзлоты в зоне фильтрационного потока. [84]

Хвостохранилища Лебединского горно-обогатительного комбината расположены в районе с резко континентальным климатом. Абсолютный максимум температур воздуха (плюс 36°С) приходится на июль месяц, минимум (минус 52°С) — на декабрь. Годовой объем складирования хвостов обогащения составляет 30 млн. т. или 16,7 млн. $м^3$. Годовой выход пульпы — 320 млн. $м^3$/год при средней величине консистенции 1:9. Первичная береговая ограждающая дамба высотой 3-5 м возведена намывным способом из местных грунтов. Дальнейшее ее наращивание до высоты 60 м осуществляется эксплуатационным способом поярусно с помощью безэстакадного торцевого намыва хвостов. Намыв ведется в зависимости от сезона по двум схемам: в период устойчивых положительных температур воздуха производится наращивание боковой призмы хвостохранилища с образованием уклона пляжа 1:40; при отрицательной температуре воздуха складирование хвостов осуществляется сбросом пульпы из торца труб диаметром 1000 мм, вынесенных за пределы боковой призмы на 150-250 м от оси дамбы обвалования. При этом длина надводного пляжа достигает

700-1000 м.

Строение дамбы характеризуется крайне неоднородной толщей, сложенной переслаивающимися талыми и мерзлыми отложениями хвостов и льда. Мерзлые слои и лед не выдержаны по простиранию и имеют характерные размеры 100-300 м (по длине) и 1-5 м (по толщине). Содержание криогенных включений увеличивается по мере удаления от гребня дамбы к прудку, достигая на расстоянии 400-500 м максимального значения Λ=0,4-0,6 (отношение суммарной мощности криогенных включений к общей глубине разведанной инженерно-геологическимиизысканиями толщи намытых отложений).

Результаты термометрических наблюдений по глубине хвостохранилища представлены на рисунке 2.3 в виде одной из термограмм, совмещенной с литологической колонкой разведочной скважины.

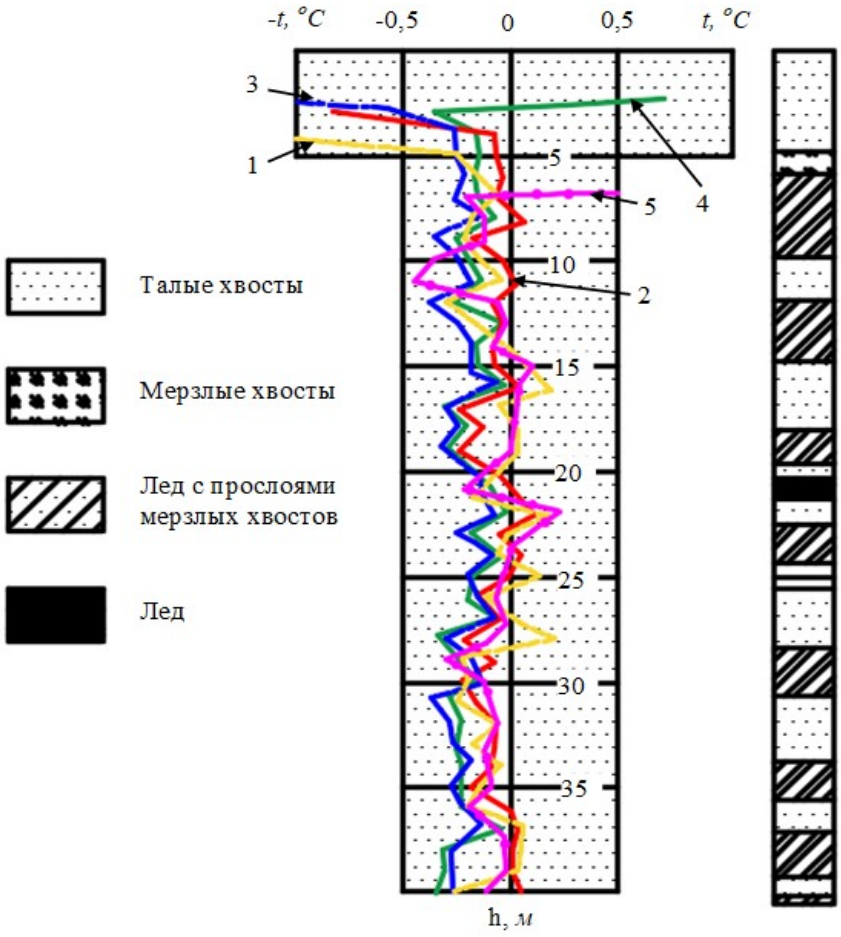


Рисунок 2.3 – Усредненная геотермограмма намытых отложений хвостов на различные моменты наблюдений 1-5 по отсекам водоемов хвостохранилищ Лебединского ГОКа

Близость между собой значений температур мерзлых и талых хвостов указывает на присутствие вялой мерзлоты с температурой, близкой к температуре фазового перехода. На глубинах ниже 7-10 м диапазон изменения температур составляет от -0,5 до -0,4°С.

Расчетами установлено, что в пределах гребня и упорной призмы, где используется летняя схема намыва, хвосты существенно отепляются — происходит процесс деградаций нижележащей мерзлоты, тем более интенсивный, чем больше толщина слоя ежегодного наращивания и чем ниже суммарная влажность мерзлых отложений.

В зависимости от этих факторов скорость продвижения нулевой изотермы вниз может колебаться от 1 до 7 м/год. На участках пляжа, где осуществляется зимний намыв хвостов, фазовое состояние материала не меняется, а его температура практически сохраняет свои отрицательные значения. Более того, расчеты показали, что в определенных условиях возможно полное промерзание нефильтрующих участков дамбы. К этим условиям относятся, например, условия зимнего намыва с устройством эффективной термоизоляции пляжа при положительной температуре воздуха.

В расчетах учитывалась экспериментально установленная гидротермическими исследованиями пространственная стратификация фильтрационного потока. Разделы стратификации в вертикальном направлении приурочены к прослоям хвостов, находящимся в различном фазовом состоянии, и характеризуются перепадами температур до 7-8°С на глубинах потока от 8 до 20 м.

По длине пути фильтрации температура фильтрационного потока изменяется от 0-2°С (предпрудковая зона) до 14-16°С (гребень и низовой откос дамбы). Наибольшее влияние на размеры оттаивающего слоя оказывает фильтрационный поток в зоне боковой призмы, температура которого существенно превышает температуру воды в предпрудковой зоне за счет подпитки теплыми инфильтрационными водами. Это указывает на преимущественное направление деградации мерзлоты от гребня дамбы к прудку.

Получена достаточно низкая суммарная скорость протаивания высокольдистых (W=40 %) отложений хвостов за счет теплового воздействия фильтрационного потока в предпрудковой зоне и зоне боковой призмы, составляющая около 1 м/год.

Полученные закономерности находят свое подтверждение в результатах инженерно-геологических изысканий — повторного бурения одноименных скважин в период 2015-2022 гг.

В качестве дублируемых выбирались наиболее характерные скважины, как с точки зрения их расположения (на откосе, пляже, предпрудковой зоне), так и по количеству криогенных включений. Всего пробурено 11 повторных скважин, из них 10 — с расчетным интервалом времени 7 лет и 1 — с интервалом 3 года. Для каждой пары скважин подсчитывались соответствующие значения Λ, которые характеризовали относительное содержание мерзлоты и льда ниже устья дублируемых скважин на моменты первоначального и повторного бурения, а также средняя относительная скорость оттаивания (промерзания) криогенных включений за период исследования $\xi=\Delta\Lambda/\tau$. Изменение соответствующих величин Λ и ξ по длине надводного пляжа на момент повторного бурения показано на рисунке 2.4.

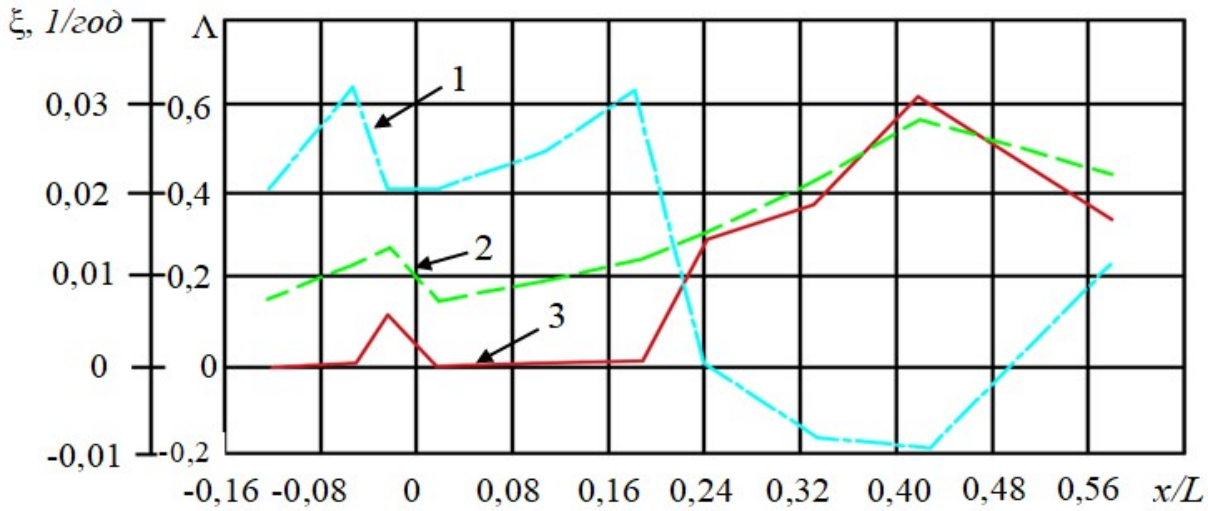


Рисунок 2.4 - Относительное содержание криогенных включений **Λ** (1, 2) и средняя скорость их изменения **ξ** (3) по длине надводного пляжа: 1 — 2015 г.; 2 — 2022 г.

2.2 Исследование физико-механических свойств и гранулометрического состава техногенного сырья Лебединского ГОКа

Подраздел посвящен исследованию физико-механических свойств и гранулометрического состава техногенного сырья, что в свою очередь влияет на выбор оптимальной высоты добычного забоя и производительность выемочно-погрузочного оборудования.

Отбор проб и определение физико-механических характеристик проводились согласно ГОСТам и методикам, принятым в лаборатории исследования процессов обогащения Лебединского ГОКа. [70, 85, 95]

Места отбора проб по ширине пляжа определялись положением осветительных мачт на хвостохранилище, расстояние между которыми 200 м.

Отбор проб проводился при намыве слоя хвостов толщиной 50-100 см с глубины 10-15 см.

В каждом створе пробы отбирались в следующем порядке от места выброса пульпы: 0 м; 5 м; 10 м; 15 м; 25 м и далее через каждые 25 м до границы с отстойным прудком.

Каждая точка имеет привязку в плановом и высотном положении, которая определяется маркшейдерами.

Отбор проб хвостов, из которых отсыпана дамба, производился по всем участкам возведения дамб хвостохранилища через каждые 50 м. Пробы отбирались в трех точках: на оси дамбы, на внутренней и внешней бровках дамбы.

Основные результаты лабораторных исследований представлены в таблице 2.1 и на рисунках 2.5-2.6.

Результаты сдвиговых испытаний образцов железосодержащих хвостов обогащения представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Усредненные значения физико-механических свойств техногенного сырья по всем отсекам

№п/п	Пикет	Расстояние от дамбы м	Абсолютная отметка, м	Физико-механические характеристики грунтов						Гранулометрический состав (% содержание частиц диаметром, мм.)								
				Плотность Естеств. сложения гр./см^3.	Плотность Скелета гр./см^3.	Влажность %	Плотность минерал. части гр./см^3.	Коэфф. фильтра-ции м./сутки	Средн. взвешен. диаметр мм.	> 1,25	-1,25 + 0,8	-0,8 +0,56	-0,56 + 0,28	-0,28 + 0,14	-0,14 + 0,071	- 0,071 + 0,045	< 0,045	Итого 100%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Критерии безопасности				Технологический регламент (2005 год)						Содержание частиц менее 0,05 мм. - не более 60%								
				1,8	1,43	11,0	2,9	1,74	0,18									
Отсек № 1-2																		
1			№ 2	1,63	1,48	9,84		7,56	0,16	0,96	0,94	2,53	10,15	16,83	24,00	9,56	35,01	100,0
Отсек №3-4																		
2			№ 1	1,59	1,48	7,27		10,01	0,21	1,46	1,45	3,14	13,91	25,09	25,55	7,79	21,62	100,0
3			№ 2а	1,68	1,48	13,43		13,67	0,17	1,87	1,32	2,68	8,80	16,00	22,84	6,53	39,96	100,0
4			№ 13	1,61	1,44	12,08		7,56	0,15	0,89	0,87	1,87	7,93	18,81	25,78	7,43	36,42	100,0
5			№ 3	1,58	1,46	7,88		12,12	0,20	1,44	1,29	2,94	13,25	23,36	26,19	7,88	23,68	100,0
Отсек №5																		
6			№ 4а	1,69	1,53	12,24		6,12	0,17	1,18	1,21	3,10	10,87	14,44	26,33	11,13	31,72	100,0
7			№ 5	1,62	1,46	11,25		9,07	0,24	0,76	1,46	4,06	22,85	28,32	19,01	4,55	18,98	100,0
8			Пр. дамба	1,74	1,52	11,05			0,23	2,54	2,36	5,48	15,42	16,30	19,50	9,44	28,95	100,0
	По хвостохранилищу			1,64	1,48	10,63		8,26	0,19	1,39	1,36	3,23	12,90	19,89	23,65	8,04	29,54	100,0

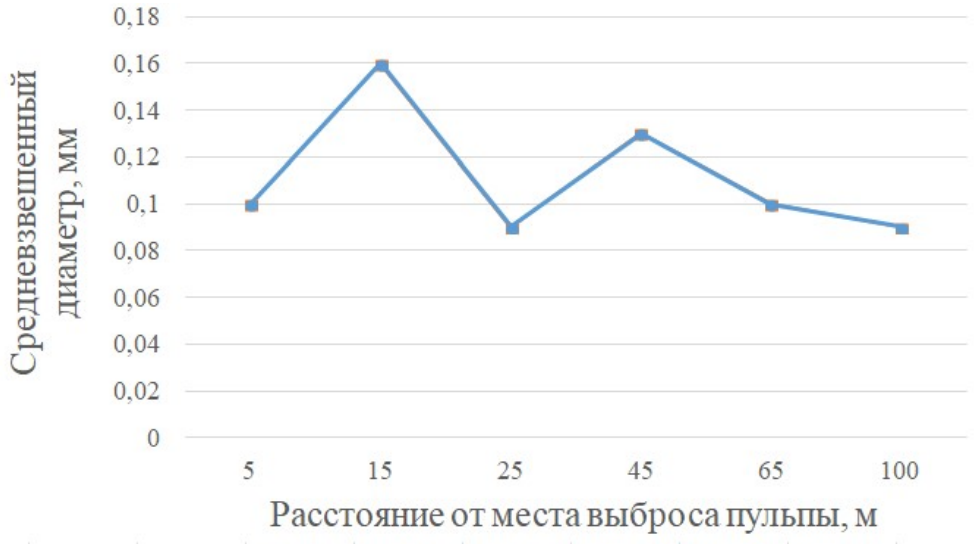


Рисунок 2.5 - Зависимость средневзвешенного диаметра от расстояния места выброса пульпы

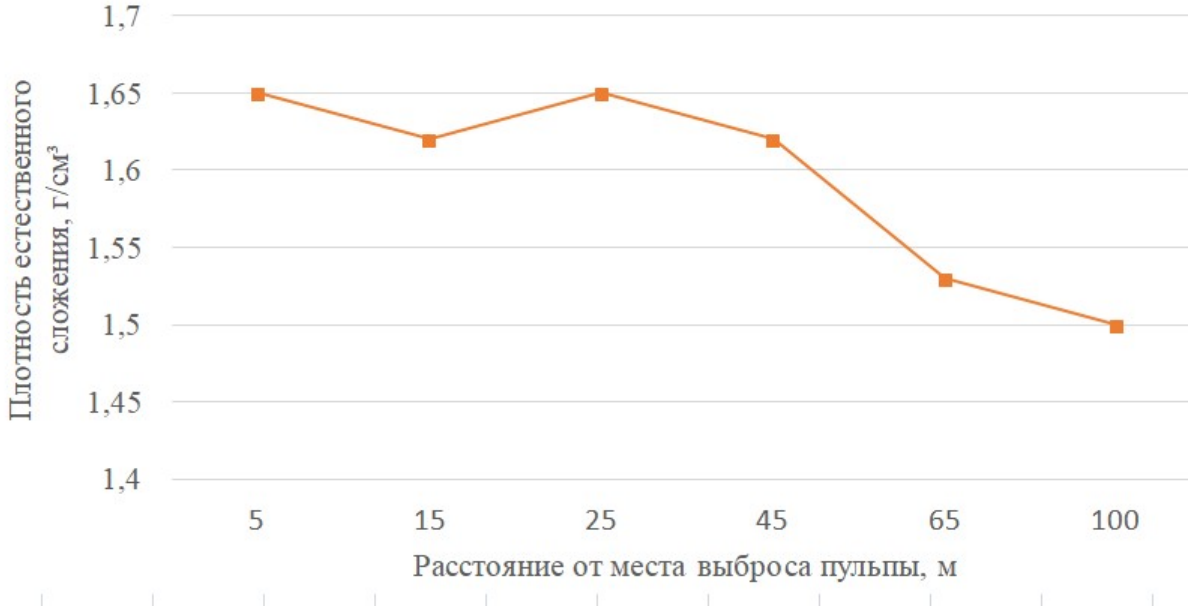


Рисунок 2.6 - Плотности естественного сложения от расстояния места выброса пульпы

Таблица 2.2 - Результаты сдвиговых испытаний образцов железосодержащих хвостов обогащения Лебединского ГОКа

Среднезвешенный диаметр хвостов $d_{св}$, мм	Угол внутреннего трения φ, град.	Сцепление С, Мпа	Расстояние от выпуска L, м
0,02	26	0,01022	82
0,047	27	0,009	156
0,06	31	0,00613	200
0,08	30	0,00554	260

Продолжение таблицы 2.2

Среднезвешенный диаметр хвостов $d_{св}$, мм	Угол внутреннего трения φ, град.	Сцепление С, Мпа	Расстояние от выпуска L, м
0,1	29	0,0068	30
0,12	38	0,0032	300
0,15	34	0,0029	300
0,18	35	0,003	5
0,21	32	0,004	150

Анализ полученных результатов показал, что железосодержащие хвосты обогащения Лебединского ГОКа имеют различный гранулометрический. При определенном интервале средневзвешенного диаметра частиц влажность изменяется от 7,27 % до 13,42 %, что объясняется низким коэффициентом фильтрации от 6,12 до 13,67 м/сут.

Результаты сдвиговых испытаний показали низкое сцепление, что характеризует поверхность хвостохранилища как слабонесущую и при расчетах устойчивости горных выработок следует принимать сцепление равным нулю. [89]

2.3 Разработка и изучение состава для изоляции добычных блоков техногенного сырья от внешних осадков

Вовлечение в разработку техногенных месторождений является важным резервом интенсивного развития ресурсосбережения, повышения малоотходности горно-обогатительного производства, охраны недр, рационального землепользования и защиты окружающей среды. При этом может быть получено дополнительно природного минерального сырья в объеме до 7 %; а также достигнут социально-экологический эффект в виде освобожденных земельных территорий.

Развитие технологии разработки техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами, невозможно без изоляционного состава от воздействия внешних осадков и обрушений профиля добычного забоя. Как было доказано в работе [3], что с повышением влажности в хвостах обогащения, снижается высота добычного уступа, коэффициент запаса

устойчивости с последующими внезапными обрушениями. Что приводит к длительным простоям выемочно-погрузочного оборудования.

Как показывает практика, основным источником повышения влажности хвостов после проведенных мероприятий осушения являлось выпадение внешних осадков, как в летний, так и в зимний период. Повышенная влажность способствовала развитию динамики криогенных процессов с появлением мерзлых включений.

В связи с этим, в данном разделе решается вопрос разработки изоляционного раствора, предназначенного изолировать подготовленные к выемке добычные блоки, перспективные участки техногенного месторождения для последующей отработки.

Анализ отечественных и зарубежных изоляционных составов выявил многочисленные их недостатки и непригодность к использованию в условиях техногенных месторождений.

Известен состав изоляционного строительного раствора (патент RU № 2662741, опубл. 30.07.2018 г.), который содержит по отношению к общему составу строительного раствора: по меньшей мере одно неорганическое вяжущее, выбранное из цемента и извести, в количестве от 50 до 95 мас.%, по меньшей мере 1 мас.% полимерной добавки, по меньшей мере 0,2 мас.% реологической добавки, выбранной из эфиров целлюлозы, эфиров крахмала и их смесей, а также по меньшей мере 70 об.% облегчителей, имеющих теплопроводность ниже 55 мВт/м*К, и, при необходимости, заполнители. [74]

Недостатком этого состава является то, что под воздействием высоких температур все изоляционные и прочностные свойства теряются, состав разрушается, низкая адгезия к поверхностям (массив горных пород, пластик, стекло), низкие прочностные свойства.

Техническим результатом изоляционного состава является создание состава с повышенной прочностью и устойчивостью к климатическим и динамическим факторам.

Этот результат достигается тем, что состав для изоляции пород и отходов от внешнего воздействия включает в себя следующие реагенты и товарные продукты, их содержащие: вода представляет собой чистую, промышленную сточную воду, прудовую воду или их комбинации; цемент, выпускаемый по ГОСТ 31108-2016; уксусная кислота, выпускаяемая по ГОСТ Р 55982-2014; целлюлозно-диспергируемый полимер $C_2H_6O_2 \cdot CH_4O$гидроксиэтилметилцеллюлоза CAS 9004-32-4, поставляемый в РФ по ТН ВЭД 3912398500; синтетическое волокно, выпускаемое по ГОСТ 32085-2013; железоокисный пигмент, выпускаемый по ГОСТ 18172-80.

За счет того, что состав для изоляции пород и отходов от внешнего воздействия содержит такие компоненты как цемент или зольная пыль, вода, полимеры и волокна, железоокисный пигмент, получаемое покрытие устойчиво к климатическим и динамическим факторам, пожаро-, взрывобезопасен, тонкое, но прочное, с кратковременным или долговременным сроком существования, а также обладает повышенной адгезией к наносимой поверхности.

Указанный технический результат обеспечивается совместным действием совокупности компонентов, используемых в составе для изоляции пород и отходов от внешнего воздействия.

Добавление цемента способствует ускорению отверждения композиции при нанесении на поверхность, предотвращению сползания смеси из-за климатического фактора. Кислота создает слабощелочную среду для лучшего растворения полимера и улучшенного взаимодействия с цементом или угольной золой. Полимер придает смеси высокие адгезионные свойства. Волокно способствует приданию прочности и целостности образуемому покрытию. Железоокисный пигмент придает сплошность образуемой защитной поверхности при визуальном контроле.

Предлагаемый состав [55] по механизму оказывает следующее действие: блокирует поступление кислорода к обработанной поверхности, увеличенная адгезия позволяет создавать сплошное покрытие на различных поверхностях (скальная порода, пластик, стекло, уголь, хвосты обогащения и др.), благодаря

прочности, способен противостоять климатическим факторам, а также минимальным динамическим проявлениям.

Полученный состав должен представлять густую вязкую консистенцию в виде «молочного коктейля», в основе которого находится ацетат кальция $(C_2H_3O_2)_2Ca$, кремниевая кислота H_2SiO_3, молочная кислота $nC_3H_6O_3$, обладать улучшенной адгезией и стойкостью к низким температурам, нагреву без потери свойств.

Изучение разработанного состава производилось на 6 различных массовых долях раствора в лаборатории НЦ «Геотехнологии и проблем горного производства» Санкт-петербургского горного университета.

Раствор готовился с использованием следующего оборудования: лабораторный смеситель, лабораторные весы ВМ 6101, водонагреватель.

Отверждение раствора производилось на воздухе при 200 С в течение 240 ч, в автоклаве LAC-5100 S при 1200 С и 1500 С в течение 3 ч.

Водопоглащение раствора определялось по изменению массы в зависимости от времени выдержки образцов в воде, отобранной из хвостохранилища Лебединского ГОКа, представленной по своему составу сульфатно-гидрокарбонатными с минерализацией от 315,05 мг/л (прудок Орлиный Лог) до 660,0 мг/л (остальные отсеки).

Показатели прочности раствора определены методом разрушения 5 образцов цилиндрической формы (диаметром 50 мм, длиной 100 мм) соосными встречно направленными сферическими инденторами.

В таблицах 2.3-2.4, на рисунке 2.7 показаны компонентный состав, использованный для приготовления раствора, а также результаты лабораторных исследований.

Талица 2.3 – Компонентный состав (примеры 1-5)

Компонентный состав	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5
	масс. %	масс. %	масс. %	масс. %	масс. %
Цемент	15	20	25	50	65
Уксусная кислота	0	1	5	10	15

Продолжение таблицы 2.3

Компонентный состав	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5
	масс. %	масс. %	масс. %	масс. %	масс. %
Целлюлозно-диспергируемый полимер	0	0,1	5	10	15
Синтетическое волокно	0,1	0,2	15	30	35
Железоокисный пигмент	0	1,0	15	20	25
Вода	Остальное				

Талица 2.4 – Результаты лабораторных исследований составов

Свойства состава	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5
Смываемость водой при нанесении на 1 м^2 поверхности 200 г вещества, г/м^2	1	1	2	3	1
Адгезия, МПа	3	5	7	8	5
Огнестойкость	не горит	не горит	не горит	не горит	плавится/ разруша-ется
Предел прочности при одноосном растяжении, МПа	0,3	1,45	1,84	1,41	0,40
Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	-	13,18	14,45	13,14	-
Предельное сопротивление срезу без нормальных напряжений, МПа	-	2,98	3,15	2,80	-

а

б

в

Рисунок 2.7 – Лабораторные исследования приготовленных образцов на одноосное сжатие сферическими инденторами: а – вид установки, б – результат испытания образца с замером

Исследованиями установлено, что уменьшение гидроксипропилметилцеллюлозыв растворе приводит к уменьшению деформации образцов. Небольшое увеличение концентрации гидроксипропилметилцеллюлозы в образцах вызывает резкое уменьшение прочности и значительное увеличение деформаций на разрыв, тогда как при недостатке указанный характер изменения параметров прочности и деформации проявляется в гораздо меньшей степени.

По рисунку 2.8 видно, что при максимально достигнутой влажности хвостов, соответствующей 26 %, допускается применение забоя экскаватора с безопасной высотой 5 м, что обуславливает меньшую вместимость секции и, соответственно, снижение производительности выемочно-погрузочного оборудования (Рисунок 2.9). При этом выпадение внешних осадков еще больше увеличивает влажность хвостов и приводит к обрушению забоя экскаватора.

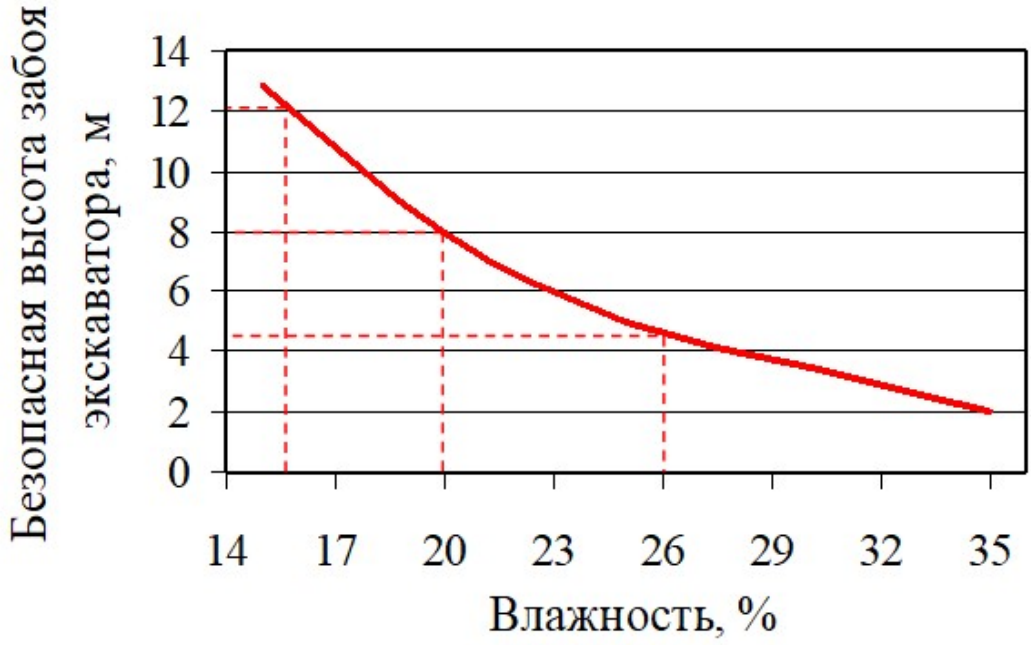


Рисунок 2.8 – Зависимость безопасной высоты забоя экскаватора от влажности средневзвешенных лежалых хвостов при $K_{зу\,р.у} = 1{,}3$

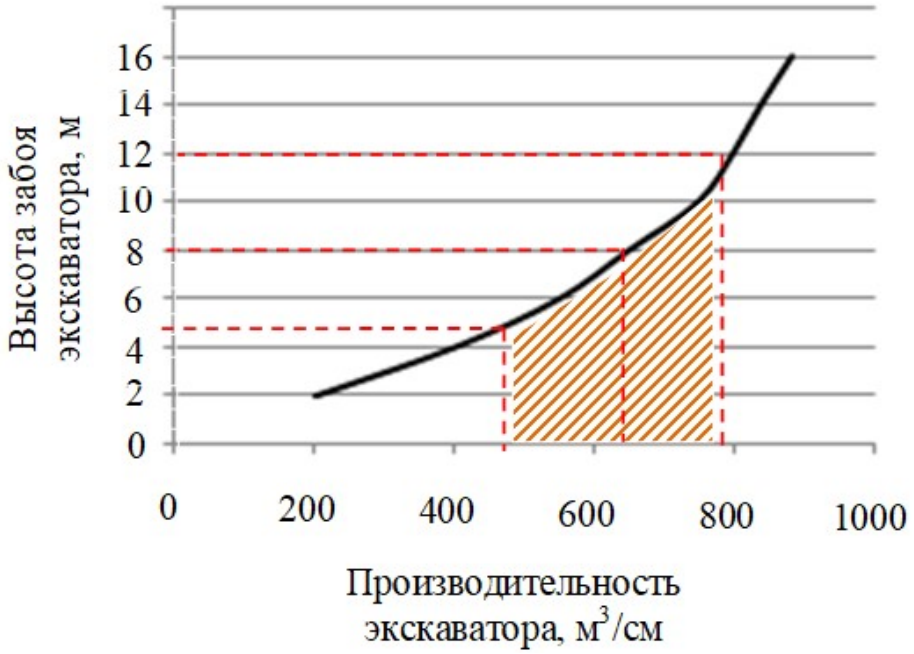


Рисунок 2.9 – Зависимость производительности выемочно-погрузочного оборудования от высоты забоя экскаватора

2.4 Выводы по главе 2

1. Воды в хвостохранилищах Лебединского ГОКа по своему составу сульфатно-гидрокарбонатные, минерализация от 315,05 мг/л (прудок Орлиный Лог) до 660,0 мг/л (остальные отсеки), что придает соленость воде и выделению зон разной степени талости по глубине залегания.

2. Анализ полученных результатов позволил выделить в поперечном сечении хвостохранилища по всем отсекам три характерных участка, различающихся по направленности и скорости развития мерзлотных процессов:

- Наружный откос дамбы и пляжная зона на относительной длине x/L=0,20-0,24; на этом участке величина Λ практически равна нулю, что указывает на полную деградацию ранее существовавшей мерзлоты (ξ=0,02-0,03 1/год).

- Центральная зона пляжа *(x/L*- от 0,24 до 0,50) с высокой насыщенностью участка криогенными включениями, фазовое состояние которых во времени практически не меняется (Λ=0,28-0,6; $\xi \leq 0$).

- Предпрудковая зона хвостохранилища ($0,5 \leq x/L < 0,7$) незначительным отепляющим влиянием прудка (Λ=0,45-0,34; ξ=0-0,1 1/год).

3. Результаты сдвиговых испытаний железосодержащих хвостов обогащения показали низкий показатель сцепления, что характеризует поверхность хвостохранилища как слабонесущую и при расчетах устойчивости горных выработок следует принимать сцепление равным нулю, и низкий коэффициент фильтрации от 6,12 до 13,67 м/сут.

4. Состав, направленный на изолирование добычных участков от внешних осадков, основанный на ацетате кальция $(C_2H_3O_2)_2Ca$, кремниевой кислоты H_2SiO_3, молочной кислоты $nC_3H_6O_3$, обладает улучшенной адгезией до 8 МПа и пределом прочности при одноосном сжатии от 0,3 до 1,84 МПа. Это достигается путем добавления гидроксипропилметилцеллюлозы.

5. Небольшое увеличение концентрации гидроксипропилметилцеллюлозы в интервале от 0,1 % до 15 % от масс. доли в образцах вызывает резкое уменьшение прочности и значительное увеличение деформаций на разрыв, тогда как при недостатке указанный характер изменения параметров прочности и деформации проявляется в гораздо меньшей степени.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

3.1 Описание технологии формирования и разработки железосодержащего хвостохранилища Лебединского ГОКа

При формировании и отработке техногенного месторождения создается дамба, которая может иметь различную конструкцию. [82, 88, 94]Полученная емкость делится на секции при помощи перегородок из скальной вскрыши. Отсыпка перегородок по длине производится с оставлением промежутка между перегородкой из скальной вскрыши и дамбой для водоотведения. Укладка техногенного сырья производится рассредоточенным выпуском в каждую секцию трубами с крупной (богатой) фракцией и с мелкой (бедной) фракцией техногенного сырья. Разделение на крупную (богатую) или мелкую (бедную) фракции осуществляется устройством по управлению сегрегационным процессом. После заполнения секций производится разработка техногенного сырья в пределах каждой секции с двух его сторон при помощи гидравлических экскаваторов типа обратная лопата или экскаваторов драглайнов на всю глубину секции. Экскавируемое техногенное сырье погружается в автосамосвал и транспортируется на обогатительную фабрику для дальнейшей переработки и использования в различных отраслях промышленности. [53, 46, 97]

3.2 Исследования по управлению сегрегационным процессом на примере железосодержащих хвостов обогащения Лебединского ГОКа

Выполненные исследования показали, что управление сегрегационным процессом при формировании техногенного месторождения возможно за счет вставки сплошной навивки в трубопровод. Она способствует увеличению скорости потока хвостов, изменению траектории движения, а также искусственной сегрегации хвостов обогащения в теле потока.

Создание винтообразного движения с помощью винтовой сплошной навивки потока позволяет транспортировать хвосты обогащения без оседания

тяжелых/твердых частиц в трубопроводе, а также создает благоприятные условия для их сегрегации.

Исследования влияния винтовой сплошной навивки на структуру потока в трубопроводе [7] выполнялись при помощи разработанной установки (при соблюдении условий динамического подобия по числу Рейнольдса), а также компьютерного моделирования [9] в программе ANSYS CFX (лицензия № 75458657, правообладатель «Горный университет») (Рисунок 3.1).

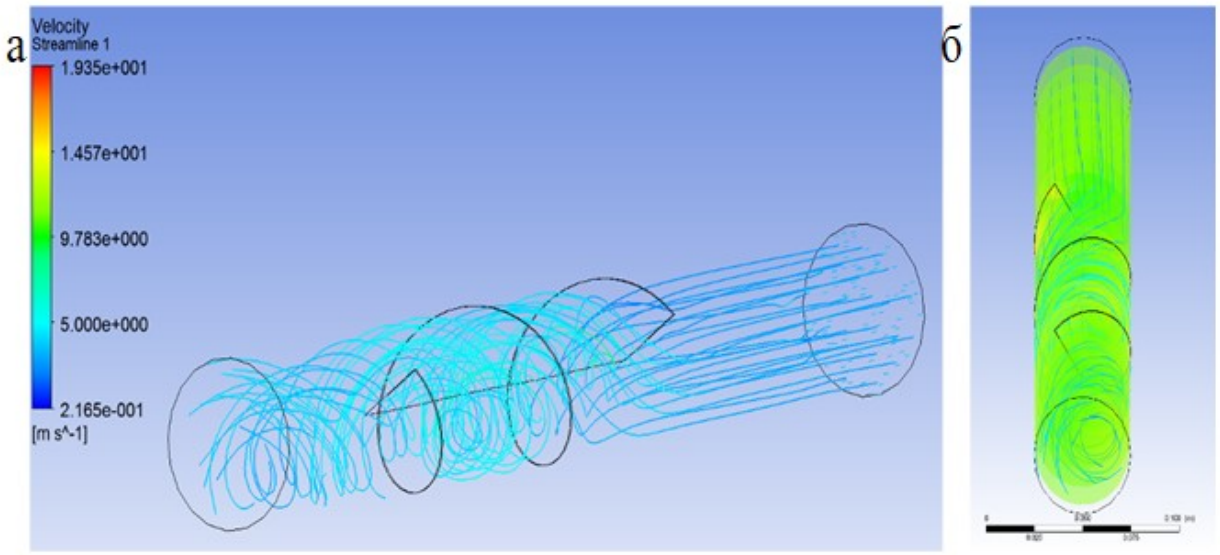


Рисунок 3.1 – Компьютерное моделирование потока гидросмеси с винтовой сплошной навивкой в трубопроводе:а – компьютерная модель с прозрачной водной массой; б – компьютерная модель с не прозрачной водной массой

Первоначально предположили, что поток гидросмеси будет вести себя по принципу смерча и все частицы притянутся к центру, однако, проводя компьютерное моделирование, наблюдали преобразование ламинарного движения в турбулентное, что позволяет создать буферную зону для сегрегации техногенного материала.

По описанию и компьютерному моделированию были разработаны модель устройства и общая схема установки по управлению сегрегацией (Рисунки 3.2–3.4).

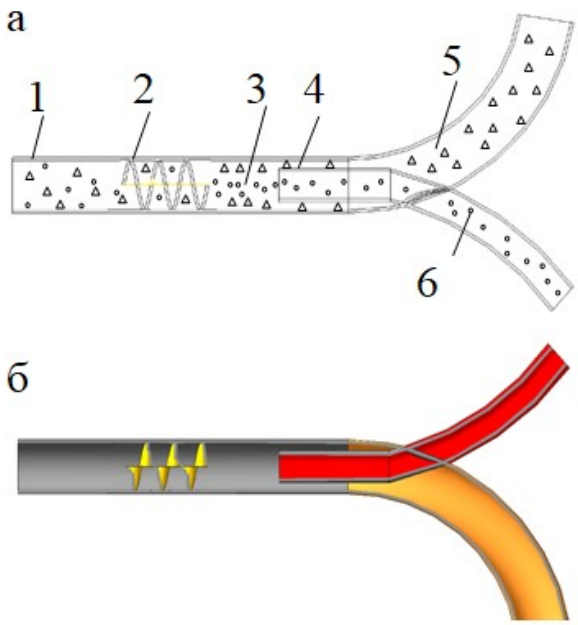


Рисунок 3.2 – Модель управления сегрегационным процессом при формировании техногенного месторождения:а – поперечное сечение устройства по управлению сегрегационным процессом; б – 3Д модель в поперечном сечении; 1 – цилиндрический корпус; 2 – сплошной винтовой направляющий аппарат; 3 – зона турбулентного движения смеси (слоевого деления); 4 – слоевой делитель; 5 – крупная (богатая) фракция; 6 – мелкая (бедная) фракция

Работа модели осуществляется следующим образом: полидисперсная смесь, транспортируемая по трубопроводу, попадает на участок с устройством цилиндрической формы. Проходя через этот участок, смесь отправляется на сплошной винтовой направляющий аппарат, где из ламинарного движение преобразуется в турбулентное. Выходя из этого аппарата, она попадает в зону турбулентного движения смеси (слоевого деления), в котором под действием осевых, окружных скоростей, а также центробежных сил крупная (богатая) фракция прибивается к стенкам трубопровода и, проходя через слоевой делитель, транспортируется по трубе большего диаметра, а мелкая (бедная) фракция притягивается к центру и транспортируется по трубе меньшего диаметра. Разветвления труб с крупной (богатой) и мелкой (бедной) фракций могут иметь различные конструкции (Рисунок 3.3). [15, 18, 42]

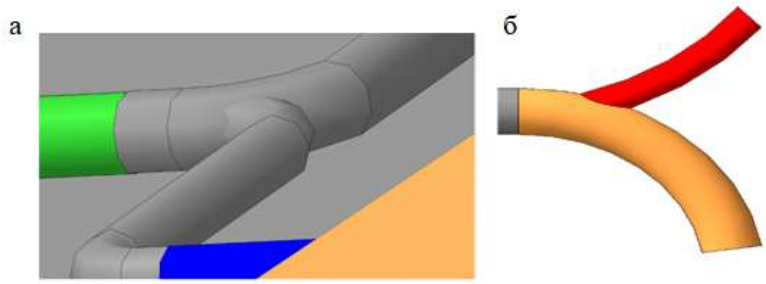


Рисунок 3.3 – 3Д модель участков разветвления:а – прямоугольное разветвление; б – угловое разветвление

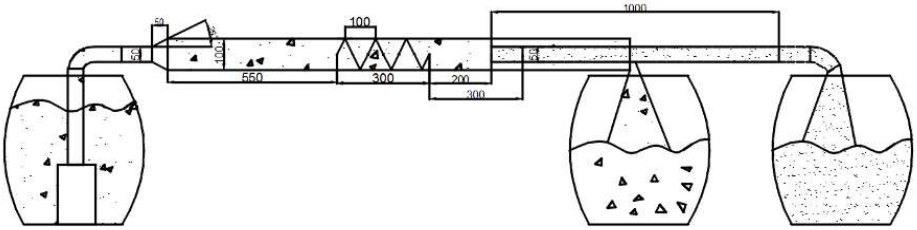


Рисунок 3.4 – Общая схема лабораторной установки по управлению сегрегацией при формировании техногенного месторождения

Выявленные в ходе компьютерного моделирования основные параметры, позволили собрать экспериментальную установку, с помощью которой производились лабораторные исследования влияния винтовой вставки на сегрегацию техногенного сырья (Рисунок 3.5).

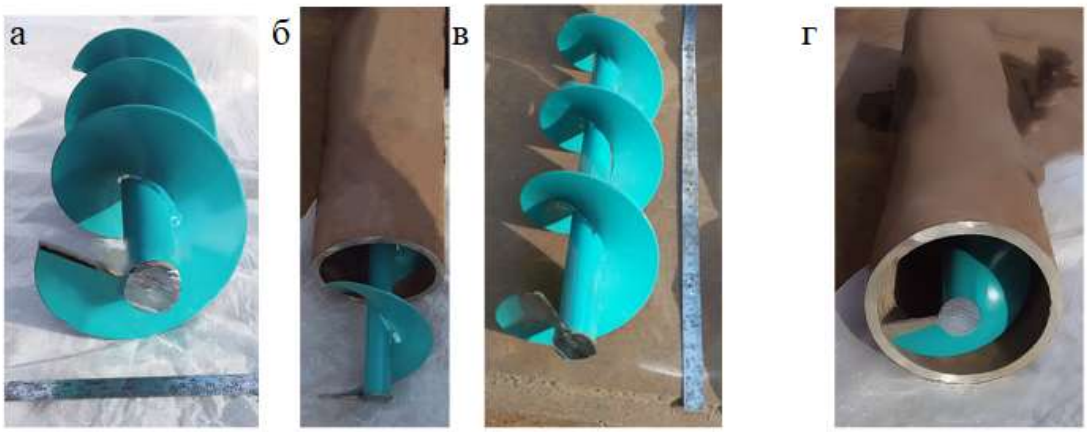


Рисунок 3.5 – Изготовление лабораторной установки: а, б, в, г – процесс сборки установки

В качестве агрегата, подающего техногенное сырье, был использован центробежный насос фирмы MAKITA, способный транспортировать частицы диаметром до 35 мм, и пропускной способностью 15 м^3/ч (Рисунок 3.6).

Рисунок 3.6 – Центробежный насос фирмы MAKITA PF1110

Эксперимент производился на различных полидисперсных материалах, за основу которых принимались железосодержащие хвосты обогащения Лебединского горно-обогатительного комбината (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Гранулометрический состав хвостов обогащения

Класс крупности, мм	Индекс пробы				
	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №4	Проба №5
	γ, %	γ, %	γ, %	γ, %	γ, %
-20,0+15,0	1,42	0,13	1,89	0,96	0,72
-15,6+8,0	4,54	3,81	6,57	5,64	6,24
-8,0+4,0	5,14	7,88	8,61	6,85	9,25
-4,14+3,1	8,01	7,05	9,24	10,54	8,65
-3,1+1,0	7,12	11,45	12,5	12,67	9,52
-1,0+0,05	55	60,47	48,15	55,6	56,02
-0,05	18,77	9,21	13,04	7,74	9,6
Суммарный выход, %	100	100	100	100	100

В ходе лабораторных и теоретических исследований также производился замер скоростных характеристик полидисперсных смесей при изменении шага навивки.

Результаты представлены на рисунке 3.7 в приведенных величинах (3.1-3.3):

$$\overline{\vartheta_T} = \frac{\vartheta_T}{\vartheta_L}; \overline{\vartheta_o} = \frac{\vartheta_o}{\vartheta_L}; \overline{D} = \frac{h}{D} \qquad (3.1\text{-}3.3)$$

где $\vartheta_T = \vartheta_L \cdot \cos\beta$ – осевая (тангенциальная) составляющая локальной скорости (ϑ_L) потока,

$\vartheta_o = \vartheta_L \cdot \sin\beta$ – окружная составляющая скорости ϑ_L,

β – угол между осью трубопровода и направлением ϑ_L, град,

D – диаметр трубопровода, м,

h – ордината точки замера относительно внутренней поверхности нижней стенки горизонтального трубопровода, м.

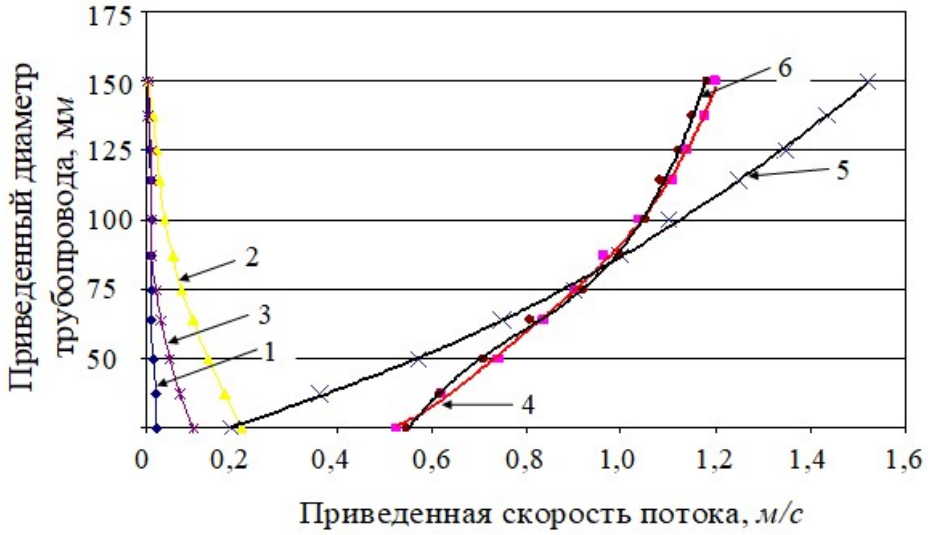


Рисунок 3.7 – Распределение осевых и окружных составляющих скоростей потока в сечении трубопровода:1 – приведенная окружная скорость $\overline{\vartheta_o}$ (без винтовой вставки); 2 – приведенная окружная скорость $\overline{\vartheta_o}$ (винтовая вставки с шагом $l = D$); 3 – приведенная окружная скорость $\overline{\vartheta_o}$ (винтовая вставки с шагом $l \approx 20 \cdot D$); 4 – приведенная осевая скорость $\overline{\vartheta_T}$ (без винтовой вставки); 5 – приведенная осевая скорость $\overline{\vartheta_T}$ (винтовая вставки с шагом $l = D$); 6 – приведенная осевая скорость $\overline{\vartheta_T}$ (винтовая вставки с шагом $l \approx 20 \cdot D$)

Для навивания потока в горизонтальных прямолинейных участках труб достаточно эффективными и оптимальными (по экономическим соображениям) являются спиральные сплошные вставки для сегрегации транспортируемого материала.

При отсутствии в трубопроводе винтовой сплошной навивки окружная составляющая скорости равна нулю. Осевая составляющая скорости имеет максимальное значение в центральной части потока и резко уменьшается при приближении точек замеров к стенкам трубопровода.

При установке винтовой сплошной навивки в трубопровод полидисперсная смесь закручивается и приобретает неосесимметричный вид (смещенный в ту или иную сторону в зависимости от направления навивки). Величина скорости закрутки в нижней части стенки трубопровода в пределах спиральной вставки равняется (3.4):

$$\vartheta_o = 0{,}2 \cdot \vartheta_L \tag{3.4}$$

За пределами источника винтовой сплошной навивки закрученность потока постепенно уменьшается и на расстоянии, равном $(50 \div 55D)$, действие спиральной вставки сведено к минимуму (Таблица 3.2). Наличие окружной скорости у стенок трубопровода способствует эффективному взвешиванию и удержанию твердых частиц в слоевом потоке.

Установка сплошной навивки в среднем на 25 % увеличивает значение осевой составляющей скорости в центральной части за счет ее снижения в пристеночной области трубопровода.

Таким образом, изменение скоростных характеристик потока гидросмеси способствует сегрегации частиц. Наличие высокой осевой скорости способствует надежному удержанию мелких и легких частиц, попавших в ядро потока, от выпадения их в пристеночные области.

Результат сегрегации представлен на рисунке 3.8.

а) б) в)

Рисунок 3.8 – Результат сегрегации техногенного сырья: а – общий вид установки по сегрегации; б – мелкая фракция; в – крупная фракция

Обработка данных, полученных в результате лабораторных исследований, по методу наименьших квадратов позволила получить зависимость для определения локальной усредненной осевой скорости в придонной области навинченного потока (3.5):

$$\vartheta'_{T.O} = 0{,}4 \cdot \vartheta_{T.O} \cdot \frac{l^{0,2}}{D^{0,2}} \tag{3.5}$$

где $\vartheta_{T.O}$ – осредненная составляющая скорости потока в придонной области горизонтального прямолинейного трубопровода при отсутствии источника возмущения, м/с,

l – расстояние от конца спиральной вставки до точки замера, м.

Таблица 3.2 – Влияние винтовой сплошной навивки на изменение структуры потока и вероятность выделения мелкого класса

Показатели	Осевая скорость $\overline{\vartheta_o}$ (без винтовой вставки)	Осевая скорость $\overline{\vartheta_o}$ (винтовая вставки с шагом $l = D$)	Осевая скорость $\overline{\vartheta_o}$ (винтовая вставки с шагом $l \approx 20 \cdot D$)
Приведенная скорость потока, м/с	1,02	1,18	1,05
Вероятность выделения класса -3,1+0 мм при установки делителя в 0,5*D, %	0,15	0,88	0,25

Твердые частицы, перемещаемые по прямолинейному участку у нижней части стенки трубы, с самого начала образования вихревого движения в спиральных ребрах вовлекаются в винтообразное движение. При таком характере движения несущей среды твердые включения всегда стремятся занять место в слоевом течении, в области, как окружных, так и повышенных осевых скоростей.

Таким образом, навивание потока при сохранении неизменной средней скорости транспортирования позволяет разделять поток по крупности и плотности частиц с вероятностью выдления мелкого класса -3,1+0 мм на 0,88 при шаге навивки $l = D$.

3.3 Обоснование параметров формирования техногенного месторождения для последующей отработки

Формирование техногенного месторождения с разделенными секциями позволит в значительной степени повысить безопасность ведения горных работ и качество добываемого техногенного сырья, снизить потери. [19]

Секции, которые разделяют сырье, должны формироваться с учетом вида применяемого выемочно-погрузочного оборудования, которое будет использовано для их выемки.

Отсыпка скальных перегородок производится автотранспортом со следующими параметрами (Рисунок 3.9).

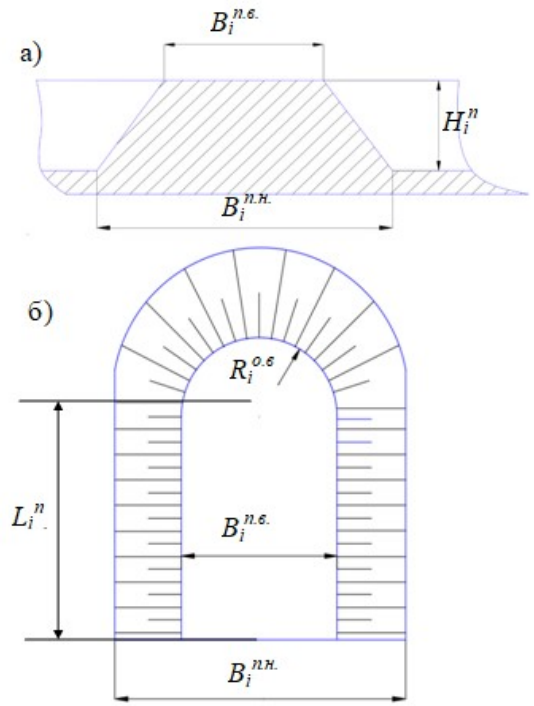


Рисунок 3.9 – Параметры перегородки из скальной вскрыши: а - поперечное сечение перегородки; б – вид сверху перегородки; $B_i^{п.н.}$ - ширина *i*-ой перегородки из скальной вскрыши по низу, *м*; $B_i^{п.в.}$ - ширина *i*-ой перегородки из скальной вскрыши по верху, *м*; $R_i^{о.в.}$ радиус *i*-ой насыпи, *м*; H_i^n -*i*-ая высота скальной перегородки, *м*, $L_i^{п.}$ -*i*-ая длина перегородки из скальной вскрыши без учета насыпи круглой формы, *м*

Высота скальной *i*-ой перегородки (3.6):

$$H_i^n = H^{в.ч.}, \text{ м} \tag{3.6}$$

где $H_{в.ч.}$ - максимальная высота черпания экскаватора, *м.*

Ширина *i*-ой перегородки по верху (3.7):

$$B_i^{п.в.} = \textit{минимальной ширине раб.площадки}, \text{ м} \tag{3.7}$$

Таким образом,*i*-ой перегородки по низу (3.8):

$$B_i^{п.н.} = B_i^{п.в.} + 2 \cdot H_i^n \cdot ctg\ \alpha, \text{ м} \tag{3.8}$$

где α - углы откоса перегородки, *град*.

Объем скальной вскрыши для формирования *i*-ой перегородки определяется по формуле (3.9):

$$V_i^{перегородки} = \left(\frac{B_i^{п.в.} + B_i^{п.н.}}{2} \cdot L_i^{п.в.} \cdot H_i^n \right) + \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot H_i^n \cdot (R_i^{о.в.2} + R_i^{о.в.} \cdot R_i^{о.н.} + R_i^{о.н.2}) \text{ м}^3 \tag{3.9}$$

где L_i^n - длина *i*-ой перегородки из скальной вскрыши без учета насыпи круглой формы, *м*,

$R_i^{о.в.}$ - радиус насыпи *i*-ой перегородки по верху, *м*,

$R_i^{о.н.}$ -радиус насыпи *i*-ой перегородки по низу, *м*.

Общий требуемый объем скальной вскрыши (3.10):

$$V_{п.}^{общ.} = V_i^{перегородки} + V_{i+1}^{перегородки} + V_n^{перегородки}, \text{ м}^3 \tag{3.10}$$

где n - количество секций в формируемом техногенном месторождении, ед.

Количество секций определяется из необходимого количества выделяемых групп складируемого материала разделенного из техногенного сырья, а также времени заполнения и отработки секции. [59]

Рассмотрим, что высота *i*-ой секции равна максимальной глубине черпания экскаватора, [13, 37, 38] а при сложной конструкции секции, которая может быть выполнена, как выше уровня земной поверхности, так и углублена ниже земной поверхности (Рисунок 3.10), тогда она составит сумму высот дневной и углубленной частей (3.11):

$$H_i^c = H_{ч.э.}^{\max} = H_i^{в.у.} + H_i^{н.у.}, \text{ м} \tag{3.11}$$

где $H_{ч.э.}^{\max}$ - максимальная глубина черпания экскаватора «обратная лопата», м,

$H_i^{в.у.}$ - высота секции выше уровня земной поверхности, *м*,

$H_i^{н.у.}$ - глубина секции ниже уровня земной поверхности, *м*.

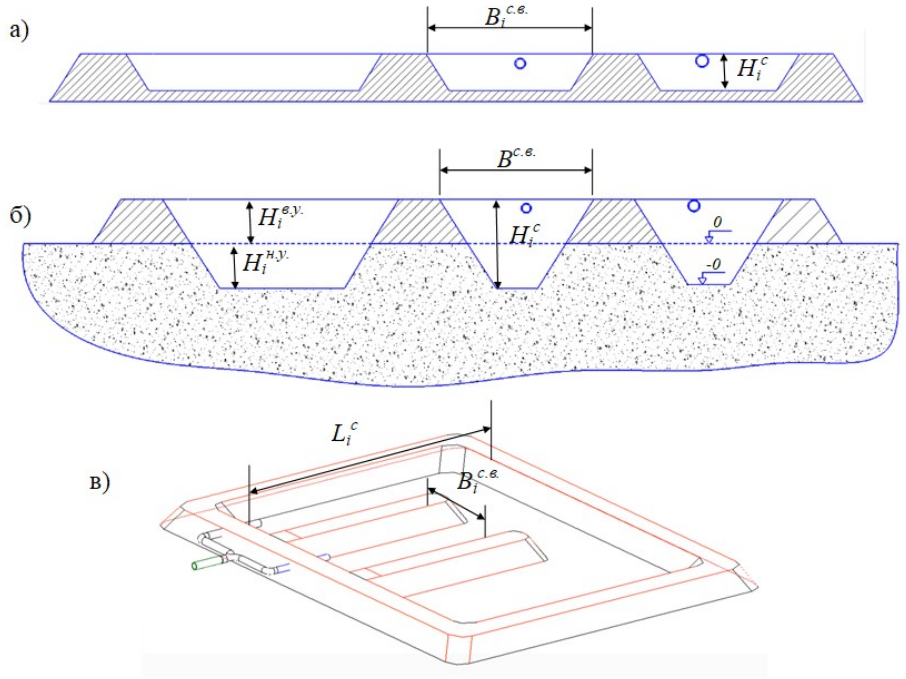


Рисунок 3.10 – Параметры секции для складирования материала из техногенного сырья: а – сформированные секции выше дневной поверхности; б – часть сформированной секции углублена ниже земной поверхности; в – общий вид сформированных секций; $L_i^{с}$ -*i*-ая длина секции, *м*; $B_i^{с.в.}$ -*i*-ая ширина секции по верху, *м*; $H_i^{с}$ -*i*-ая высота секции, *м*, $H_i^{в.у.}$ - высота секции выше уровня земной поверхности, *м*; $H_i^{н.у.}$ - глубина секции ниже уровня земной поверхности, *м*

Анализируя рисунок 3.10 и формулу (3.6) можно сказать, что вместимость каждой секции зависит от ее длины, ширины и глубины. Длина формируемой секции ограничивается границами свободного земельного участка в пределах земельного отвода. Ширина и глубина секции определяется из типа применяемого выемочно-погрузочного оборудования. Двухстороннее расположение экскаваторов приводит к увеличению интенсивности отработки в пределах секции и ширины секции (Рисунок 3.11) с одной общей точкой пересечения рабочих зон выемочно-погрузочного оборудования.

Максимальная ширина секции составит (3.12):

$$B_i^{с.в.} = R_{1Р.З.} + R_{2Р.З.} - 2z, м \qquad (3.12)$$

где z - безопасное расстояние от оси экскаватора до крайней бровки уступа, *м*,

$R_{1Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го гидравлического экскаватора типа обратная лопата, *м*,

$R_{2Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го гидравлического экскаватора типа обратная лопата, *м*.

График зависимости ширины секции $B_i^{с.в.}$ от радиуса рабочей зоны экскаватора и безопасного расстояния от оси экскаватора до крайней бровки уступа z представлен на рисунке 3.12.

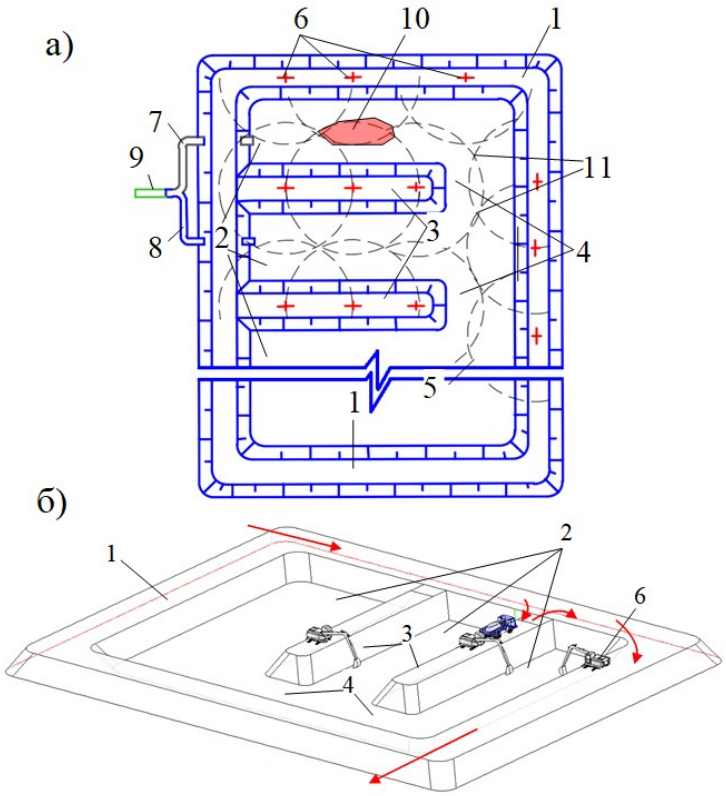


Рисунок 3.11 – Схема расположения выемочно-погрузочного оборудования при разработке сформированного техногенного месторождения: а - вид в плане; б - 3д модель; 1 - основная дамба; 2 - секции; 3 - перегородки из скальной вскрыши; 4 – промежуток, соединяющий секции; 5 – рабочие зоны гидравлических экскаваторов типа обратная лопата; 6 – местоположение выемочно-погрузочного оборудования; 7 – труба с богатой/крупной фракцией сырья; 8 – труба с бедной/мелкой фракцией сырья; 9 - устройство по управлению сегрегационном процессом при формировании техногенного месторождения; 10 – зона перекрещивания рабочих зон экскаваторов; 11 – точки пересечения рабочих зон экскаваторов

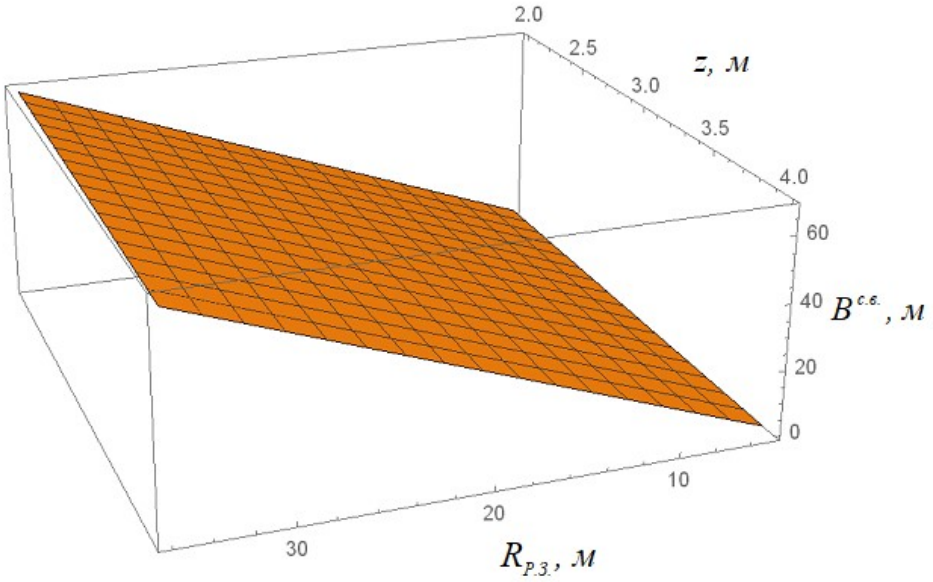


Рисунок 3.12 – Зависимость ширины секции $B^{с.в.}$ от радиуса рабочей зоны экскаватора $R_{Р.З.}$, безопасного расстояния от оси экскаватора до крайней бровки уступа z (при условии, что радиусы рабочих зон экскаваторов пересекаются в одной точке и применяется одна марка экскаватора)

При этом радиусы рабочих зон $R_{Р.З.}$ применяемых гидравлических экскаваторов типа обратная лопата равны их максимальным радиусам копания, [29] которые могут перекрещиваться друг с другом, как в одной точке, так и в двух, или вовсе не пересекаться. Величина перекрещивания может варьироваться от расстояния расположения осей экскаваторов между собой, и соответственно влиять на ширину секции, потери и вместимость.

Определение оптимальной ширины секции является важной задачей при формировании техногенного месторождения, решение которой позволит снизить себестоимость добычи за счет уменьшения потерь техногенного сырья. Для этого необходимо учитывать какое выемочно-погрузочное оборудование будет использоваться при отработке секций – гидравлические экскаваторы типа обратная лопата или экскаваторы драглайны.

Ширина секции по верху в общем случае равна (3.13):

$$B_i^{с.в.} = -2 \cdot z - R_{1Р.З.} + 2 \cdot x \ + R_{2Р.З.} = x_{э2} - x_{э1} - 2 \cdot z \ м \qquad (3.13)$$

Величина потерь в *i*-ой секции составит (3.14) [11]:

$$\Delta_{i\ \text{секции}}^{потери} = S_{i\ потерь} \cdot L_i^{с.н.},\ м^3 \qquad (3.14)$$

где $L_i^{с.н.}$ - длина *i*-ой секции по низу, *м*.

Для дальнейших расчетов необходимо построить графики зависимостей объема потерь на единицу длины секции от ширины рабочей площадки и необходимых на их сокращение затрат (Рисунки 3.13-3.14).

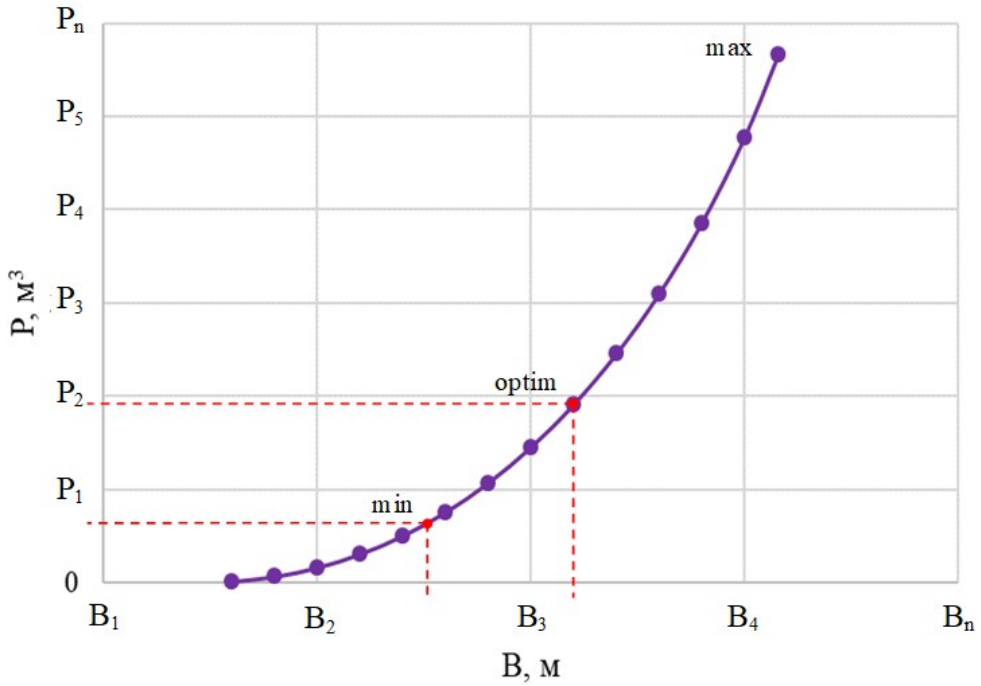


Рисунок 3.13 – Пример зависимости величины потерь на единицу длины от ширины рабочей площадки: P – объем потерь, $м^3$; B – ширина секции, *м*

По графику и таблице отмечаем точку (ширину рабочей площадки), при которой начинают возникать потери, и рассматриваем только эту часть графика.

Затраты на сокращение потерь техногенного сырья необходимо вычислять исходя из используемого метода.

Далее находим точку безубыточности сокращения потерь. Для этого строим графики зависимостей затрат на сокращение потерь и выручки от величины потерь на единицу длины, их пересечение даст нам величину рабочей площадки, при которой расходы на сокращение потерь будут компенсированы доходами, а при сокращении каждого последующего кубометра потерь предприятие начнет получать прибыль.

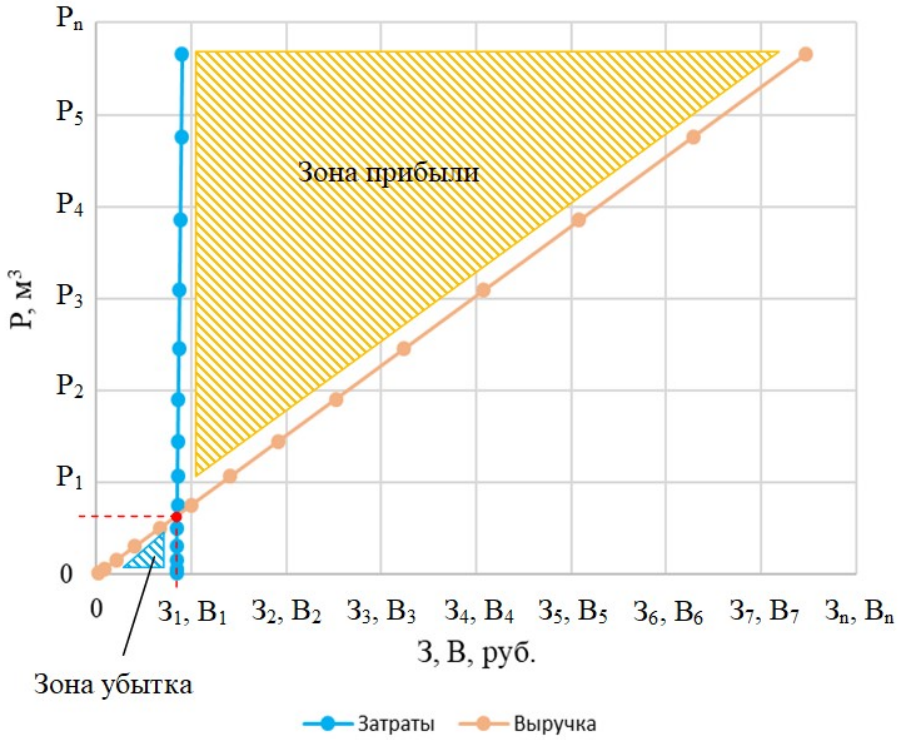


Рисунок 3.14 – Пример зависимостей затрат на сокращение потерь и выручки от величины потерь на единицу длины: Р – объем потерь, м3; З – затраты на сокращение потерь, руб.; В – выручка от сокращения потерь, руб.

Точка пересечения графиков показывает ширину секции, при которой предприятие начинает получать прибыль, а максимум прибыли находится в месте максимального отклонения графиков друг от друга. Затем необходимо найти максимальную высоту потерь по технической возможности и безопасности ведения горных работ, [14] по которой в следствие определяется оптимальная ширина секции. [10, 17, 72]

Ширина основной дамбы определяется из количества необходимых секций, зависящее от выделяемых групп складируемого материала и производительности хвостохранилища.

Объем техногенного сырья в *i*-ой секции (3.15):

$$V_{i\ секции} = \frac{S^{пв}_{i\ секции} + S^{пн}_{i\ секции}}{2} \cdot H^{c}_{i} \cdot \beta_{i\ секции} = \frac{B^{с.в.}_{i} \cdot L^{с.в.}_{i} + B^{с.н.}_{i} \cdot L^{с.н.}_{i}}{2} \cdot H^{c}_{i} \cdot \beta_{i\ секции}, м^3 \quad (3.15)$$

где $\beta_{i\ секции}$ - коэффициент заполнения *i-ой* секции.

Объем материала во всем техногенном месторождении (3.16):

$$V^{общ.} = \sum_{n=1}^{i} V_{i\ секции},\ м^3 \tag{3.16}$$

Объем добываемого техногенного материала в зависимости от типа применяемого выемочно-погрузочного оборудования из всего сформированного техногенного месторождения (3.17):

$$V^{общ.}_{добычи} = \sum_{n=1}^{i} V_{i\ секции} - \sum_{n=1}^{i} \Delta^{потери}_{i\ секции},\ м^3 \tag{3.17}$$

Время заполнения одной секции (3.18):

$$t_{i\ секции} = \frac{V_c}{t_{хв} \cdot T \cdot n},\ сут \tag{3.18}$$

где $t_{хв}$ – скорость транспортирования хвостов обогащения по трубопроводу.

Основные параметры и показатели предлагаемой технологии для Лебединского ГОКа представлены в таблицах 3.3-3.4.

Таблица 3.3 – Параметры и показатели предлагаемой технологии

Параметры/показатели	**Ед. изм.**	**Значение**
Высота секции, скальной перегородки	м	12
Ширина скальной перегородки по верху	м	19,5
Ширина скальной перегородки по низу	м	28,5
Угол откоса скальной перегородки	град.	70
Длина основной дамбы по низу	м	1015
Длина основной дамбы по верху	м	1006,3
Длина секции и скальной перегородки	м	950
Ширина секции по верху	м	21
Ширина секции по низу	м	12,3
Величина потерь, возникающих при пересечении рабочих зон экскаваторов	$м^3$	18129
Объем техногенного сырья в секции	$м^3$	170829
Ширина основной дамбы по верху	м	337
Ширина основной дамбы по верху	м	356
Общий требуемый объем скальной вскрыши	$м^3$	3016060
Общий объем сокращаемых потерь в секции	%	10,6
Количество секций	шт	7

Таблица 3.4 – Сравнительная характеристика технологий

Технология	Валовая	Посекционная	Разница
Коэффициент потерь, %	20	→0	-20
Среднее содержание полезного компонента, %	10,8	15,8	+5

3.4 Обоснование параметров потерь, возникающих при ведении горных работ в i-ой секции сформированного техногенного месторождения, гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата

Рассмотрим разработку сформированного техногенного месторождения с использованием гидравлических экскаваторов типа обратная лопата.

Отработка секции при использовании данного типа выемочно-погрузочного оборудования должна производиться от краев рабочей зоны до откоса перегородки из скальной вскрыши, как показано на рисунке 3.15.

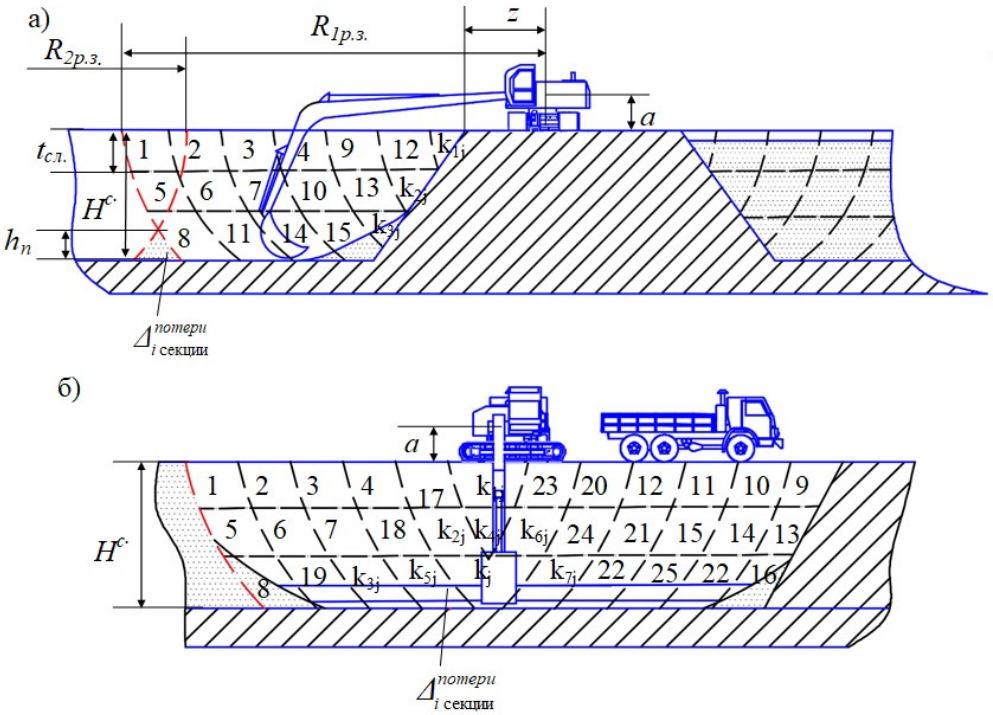


Рисунок 3.15 – Порядок отработки секции с использованием гидравлического экскаватора типа обратная лопата: $R_{1Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м;* $t_{сл.}$ - мощность слоя материала, *м*; $\Delta^{потери}_{i\ секции}$ - величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в *i*-ой секции; $h_{п.}$ -высота потерь, *м*; 1,2,3, …, $k_{1j}, k_{2j}, k_{3j}, k_{nj}$– порядок отработки блоков материала; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*

При данном порядке отработки техногенной залежи снижается риск оползня откоса, повышается коэффициент запаса устойчивости площадки из скальной вскрыши за счет наличия подпорной стенки к откосу. [10, 81]

Наличие потерь Δ_n характеризует удаленность расположения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата друг от друга, в тоже время сильное сокращение этого расстояния приведет к резкому уменьшению ширины секции, что в свою очередь влияет на ее емкость при неизменных параметрах – высоте H_i^c и длине L_i^c, и влечет за собой увеличение затрат на формирование секций.

Для определения оптимальной ширины секции $B_i^{с.в.}$ найдем величину потерь Δ_n (Рисунок 3.16).

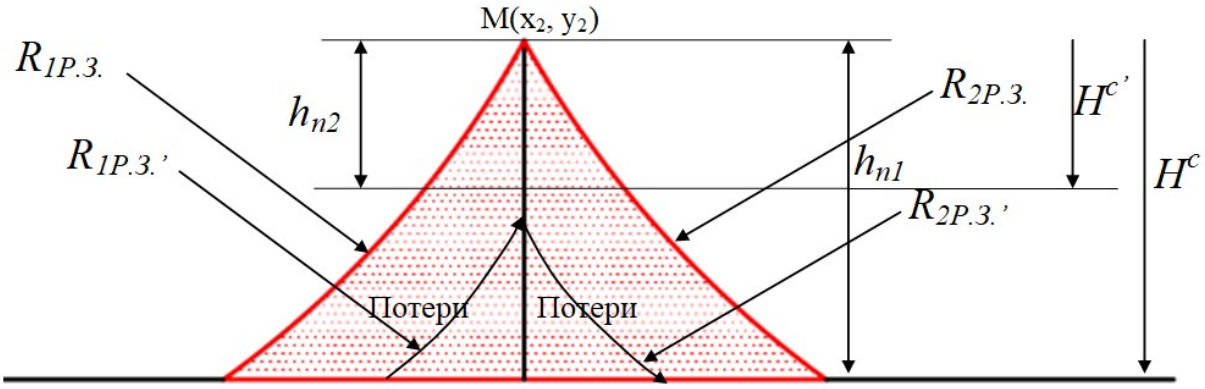


Рисунок 3.16 – Потери, возникающие при пересечении рабочих зон гидравлических экскаваторов типа обратная лопата в нижней точке M(x_2,y_2) пересечения двух рабочих зон:h_{n1} – высота потерь при максимальной глубине черпания, *м*; h_{n2}– высота потерь при уменьшении глубины черпания, *м*; H^c – глубина секции при максимальной глубине черпания, *м*; $H^{c'}$ – уменьшенная глубина секции при максимальной глубине черпания, *м*; $R_{1P.З.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{1P.З.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м*; $R_{1P.З.'}$ и $R_{2P.З.'}$ – радиусы рабочих зон экскаваторов при уменьшенной ширине секции, *м*

Потери можно рассчитать, зная точки или точку пересечения радиусов рабочих зон экскаваторов при расположении их друг напротив друга. [43, 44, 47]

Составим систему уравнений для определения координат точек пересечения рабочих зон экскаваторов при условии, что координаты местоположения первого экскаватора равны $x_{э1}$=0 и $y_{э1}$=0, тогда получим (3.19):

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R_{1P.З.}^2 \\ (x - x_{э2})^2 + (y - y_{э2})^2 = R_{2P.З.}^2 \end{cases} \quad (3.19)$$

где $x_{э2}$, $y_{э2}$ - координаты местоположения 2-го экскаватора,

$R_{1P.З.}$ и $R_{2P.З.}$ - радиусы рабочих зон экскаваторов первого и второго,

x и y - координаты точек пересечения рабочих зон экскаваторов.

Решая данную систему уравнения, выразим x (3.20):

$$x = \frac{c - y \cdot y_{э2}}{x_{э2}} \quad (3.20)$$

где c - постоянная величина (3.21).

$$c = \frac{-R_{2P.З.}^2 + x_{э2}^2 + y_{э2}^2 + R_{1P.З.}^2}{2} \quad (3.21)$$

При $y_{э2} \neq y_{э1}$, когда экскаваторы находятся не на одном уровне стояния относительно друг друга и на разном расстоянии, тогда подставляем x в уравнение кривой первой рабочей зоны экскаватора и получаем квадратное уравнение (3.22):

$$y^2 \cdot (y_{э2}^2 + x_{э2}^2) - 2 \cdot y_{э2} \cdot c \cdot y + (c^2 - R_{1P.З.}^2 \cdot x_{э2}^2) = 0 \quad (3.22)$$

Для упрощения решения введем переменные (3.23-3.25):

$$f = (y_{э2}^2 + x_{э2}^2); \mathrm{g} = -2 \cdot y_{э2} \cdot c; m = c^2 - R_{1P.З.}^2 \cdot x_{э2}^2 \quad (3.23\text{-}3.25)$$

Тогда (3.26):

$$D = g^2 - 4 \cdot f \cdot m \quad (3.26)$$

если $D < 0$ - рабочие зоны экскаваторов не пересекаются, что приводит к наибольшим потерям техногенного сырья (данный случай не рассматривается).

$D = 0$ - рабочие зоны экскаваторов имеют одну общую точку пересечения (3.27-3.28):

$$y = \frac{-g + \sqrt{D}}{2 \cdot f}; \; x = \frac{c - y \cdot y_{э2}}{x_{э2}} \quad (3.27\text{-}3.28)$$

В данном случае ширина секции будет максимальной.

$D > 0$ - рабочие зоны экскаваторов имеют две точки пересечения, при которых достигается наименьшая величина потерь техногенного сырья (3.29-3.32):

$$y_1 = \frac{-g+\sqrt{D}}{2\cdot f};\ x_1 = \frac{c - y_1 \cdot y_{э2}}{x_{э2}} \qquad (3.29\text{-}3.30)$$

$$y_2 = \frac{-g-\sqrt{D}}{2\cdot f};\ x_2 = \frac{c - y_2 \cdot y_{э2}}{x_{э2}} \qquad (3.31\text{-}3.32)$$

В дальнейших расчетах принимаем точку пересечения с координатами (x_2, y_2), так как потери возникают в нижней части.

При $y_{э2}=y_{э1}$, когда экскаваторы расположены на одном уровне стояния относительно друг друга, ищем решение через у и получаем (3.33-3.34):

$$x = \frac{R_{1Р.З.}^2 - R_{2Р.З.}^2 + x^2{}_{э2}}{2\cdot x_{э2}};\ y = \pm\sqrt{R_{1Р.З.}^2 - x^2} \qquad (3.33\text{-}3.34)$$

Высота потерь составит (3.35):

$$h_{п.} = b = (H^c + a) - y\ м \qquad (3.35)$$

Площадь потерь в *i*-ой секции (3.36):

$$S_{потерь} = x\cdot\left(|b| - |y|\right) - \left(\frac{R_{рз1}^2}{4}\cdot\left|\left(\pi\cdot\frac{\left|arctg\left(\frac{x}{y}\right)\right|}{90°} - \left|\sin\left(2\cdot arctg\left(\frac{x}{y}\right)\right)\right| - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \pi\cdot\frac{\left|arctg\left(\frac{x_b}{b}\right)\right|}{90°} + \left|\sin\left(2\cdot arctg\left(\frac{x_b}{b}\right)\right)\right|\right)\right| + \left(x_{э2} - x\right)\cdot\left(|b| - |y|\right) - \qquad (3.36)$$

$$- \left(\frac{R_{рз2}^2}{4}\cdot\left|\left(\pi\cdot\frac{\left|arctg\left(\frac{x_{э2}-x}{y}\right)\right|}{90°} - \left|\sin\left(2\cdot arctg\left(\frac{x_{э2}-x}{y}\right)\right)\right| - \pi\cdot\frac{\left|arctg\left(\frac{x_b}{b}\right)\right|}{90°} + \left|\sin\left(2\cdot arctg\left(\frac{x_b}{b}\right)\right)\right|\right)\right|\right)$$

Контурный график поверхности забоев гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, описывающий функцию $S_{потерь}$, представлен на рисунке 3.17.

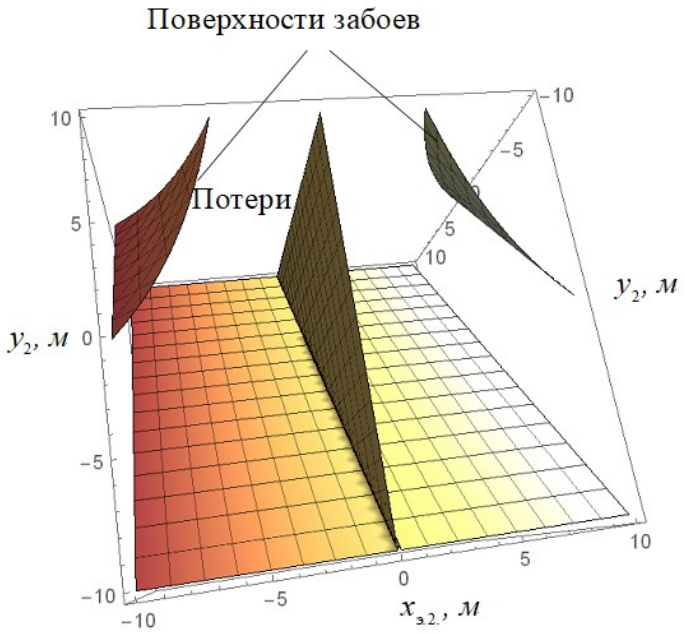


Рисунок 3.17 – Контурный график в пространстве описывающий функцию $S_{потерь}$

3.5 Обоснование параметров потерь, возникающих при ведении горных работ в i-ой секции сформированного техногенного месторождения экскаваторами драглайнами

На сегодняшний день экскаваторы драглайны являются одними из высокопроизводительных выемочно-погрузочных оборудований, а также присутствуют на дамбах хвостохранилищ многих предприятий. [22, 25, 69] Особенностями данной техники являются большие радиусы рабочих зон, низкое удельное давление на площадку установки, а также глубины их копания, но их траектория черпания ковша не предсказуема. Порядок отработки секции экскаваторами драглайнами представлен на рисунке 3.18.

Чтобы изучить поведение ковша экскаватора драглайна и выявить уравнение, которое описывает кривую добычного забоя, был проведен ряд исследований методом маркшейдерской съемкой с использованием тахеометра SOKKIA 650 RX и призменного отражателя. Количество и расстояние между пикетами определялись по инструкции топографической съемки масштаба 1:500. [8].

Результаты исследования дали представление о потерях, возникающих при добычных работах в пределах каждой секции.

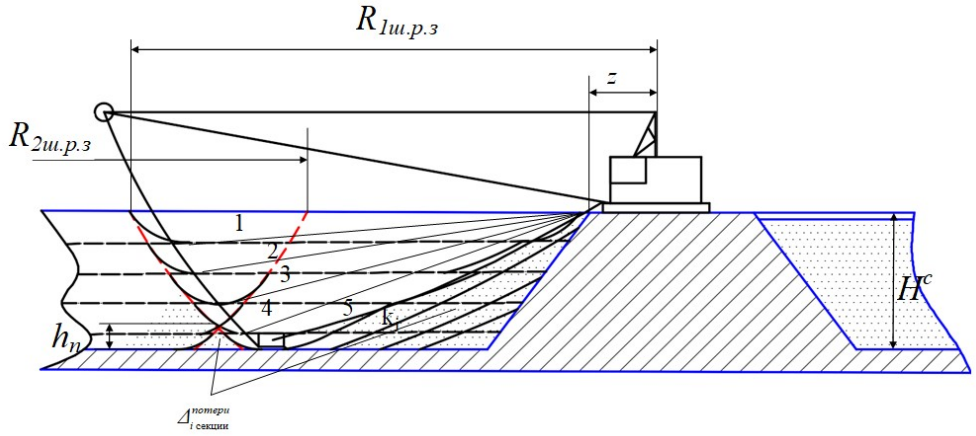


Рисунок 3.18 – Порядок отработки секции с использованием экскаватора драглайна: H^c - высота секции, м; $R_{1Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м;* $t_{сл.}$ - мощность слоя материала, *м*; $\Delta_{i\ секции}^{потери}$ - величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в *i*-ой секции, а также не добытый материал в силу ограниченности технических параметров выемочно-погрузочного оборудования; $h_{п.}$ -высота потерь, *м*; 1,2,3,4,5,k_j– порядок отработки блоков материала; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*

Для получения достоверных данных были вырыты котлованы различной глубины, которые имели как заднюю, так и переднюю стенки забоя (Рисунок 3.19).

а б в

Рисунок 3.19 – Работа экскаватора драглайна и производство съемки добычных забоев: а - шагающий экскаватор ЭШ 10/70; б - процесс выемочных работ; в – завершение процесса выемочных работ

Результаты замеров приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты замеров маркшейдерской съемки

№ пикета	Север	Восток	Высота	№ пикета	Север	Восток	Высота
Забой №1				Забой №2			
1	7839,797	882,13	116,254	13	7835,617	883,704	115,268
2	7841,156	879,502	115,585	14	7836,908	880,743	114,468
3	7841,896	877,535	114,989	15	7837,671	877,77	113,358
4	7842,86	875,066	113,874	16	7838,333	874,724	112,177
5	7843,956	872,05	113,24	17	7839,747	871,676	111,347
6	7845,705	868,811	113,78	18	7841,289	868,761	111,108
7	7847,381	866,13	114,204 (7)	19	7843,22	865,452	112,486
8	7848,812	863,229	115,202	20	7844,958	862,665	113,395
9	7850,248	860,171	115,953	21	7846,695	859,641	114,413
10	7852,716	856,739	117,517	22	7848,433	857,137	115,564
11	7854,66	853,525	119,248	23	7850,403	853,867	117,238
12	7857,357	850,765	121,068	24	7852,818	851,355	119,243
-	-	-	-	25	7855,298	849,374	120,607
Забой №3				Забой №4			
№ пикета	Север	Восток	Высота	№ пикета	Север	Восток	Высота
26	7827,365	881,294	113,371	41	7856,588	846,283	125 (3),061
27	7828,649	878,941	111,863	42	7861,262	852,101	121,861
28	7828,653	878,919	111,869	43	7859,324	854,607	120,381
29	7830,138	876,413	110,471	44	7858,086	857,065	119,046
30	7831,271	874,024	109,207	45	7855,416	861,061	117,426
31	7833,044	871,274	108,317	46	7853,254	865,381	116,216
32	7835,172	868,038	107,893	47	7851,301	869,689	115,454
33	7837,283	865,807	108,659	48	7849,044	873,916	115,599
34	7839,497	863,4	110,006	49	7846,815	877,718	116,717
35	7841,881	860,794	111,6	50	7844,57	881,914	118,254
36	7844,244	857,934	113,323	-	-	-	-
37	7846,352	855,318	114,516	-	-	-	-
38	7848,847	852,655	116,518	-	-	-	-
39	7851,188	850,964	118,391	-	-	-	-
40	7853,509	849,615	120,016	-	-	-	-

Проведенный глубокий корреляционный и дисперсионный анализ данных подтвердил верность полученных эмпирических уравнений.

Апросимационный анализ проводился с применением программы Mathematica 11 от компании Wolfram. [36]

При подборе эмпирического уравнения были рассмотрены разные типы уравнений, наиболее подходящие приведены в таблице 3.6, а также построены их графики (Рисунок 3.20).

Таблица 3.6 – Эмпирические уравнения забоев экскаваторадраглайна

Номер добычного забоя	Уравнение кватрическое	Уравнение кубическое	Уравнение квадратическое
1	$-15{,}7\cdot10^{-6}\cdot x^4+0{,}054\cdot x^3-$ $-71{,}21\cdot x^2+41219{,}2\cdot x-$ $-8{,}94\cdot10^6$	$1{,}4\cdot10^{-4}\cdot x^3-0{,}35\cdot x^2+$ $+288{,}18\cdot x-78156{,}2$	$0{,}019\cdot x^2-33{,}85\cdot x+$ $+14846{,}7$
2	$-21{,}0\cdot10^{-6}\cdot x^4+0{,}073\cdot x^3-$ $-94{,}66\cdot x^2+54687{,}6\cdot x-$ $-11{,}84\cdot10^6$	$0{,}52\cdot10^{-4}\cdot x^3-0{,}11\cdot x^2+$ $+80{,}74\cdot x-18022$	$0{,}021\cdot x^2-35{,}32\cdot x+$ $+15482{,}8$
3	$-5{,}52\cdot10^{-6}\cdot x^4+0{,}019\cdot x^3-$ $-25{,}64\cdot x^2+15000\cdot x-$ $-3{,}29\cdot10^6$	$3{,}3\cdot10^{-4}\cdot x^3-0{,}83\cdot x^2+$ $+692{,}45\cdot x-191756$	$0{,}031\cdot x^2-54{,}03\cdot x+$ $+23581{,}6$
4	$-6{,}4\cdot10^{-6}\cdot x^4+0{,}022\cdot x^3-$ $-29{,}32\cdot x^2+17057{,}3\cdot x-$ $-3{,}72\cdot10^6$	$2{,}5\cdot10^{-4}\cdot x^3-0{,}64\cdot x^2+$ $+535{,}87\cdot x-149987$	$0{,}016\cdot x^2-27{,}88\cdot x+$ $+12255{,}8$

Критерии оценки правдоподобия полученных данных приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Критерии оценки правдоподобия полученных данных

Тип уравнения	Информационный критерий Акаике (AIK)	Байесовский информационный критерий (BIK)	Коэффициент детерминации, R^2	Скорректированный коэффициент детерминации (adjustedR^2)
Забой №1				
Кватрическое	8,676	10,027	0,992	0,986
Кубическое	8,514	10,027	0,991	0,986
Квадратическое	8,537	9,748	0,989	0,985
Забой №2				
Кватрическое	15,527	16,004	0,989	0,976
Кубическое	16,056	16,454	0,986	0,975
Квадратическое	14,203	14,521	0,986	0,979
Забой №3				
Кватрическое	19,214	20,398	0,991	0,981
Кубическое	17,298	18,284	0,991	0,985
Квадратическое	18,496	19,286	0,987	0,982
Забой №4				
Кватрическое	-7,287	-6,104	0,999	0,998
Кубическое	-4,865	-3,879	0,998	0,997
Квадратическое	11,846	12,635	0,989	0,986

На рисунке 3.20 представлены графики кривых эмпирических уравнений, полученных по данным съемки (Восток - горизонтальное расстояние (l), что характеризует ось OX, Высота – глубина вырытого котлована ($h_к$), ось OY).

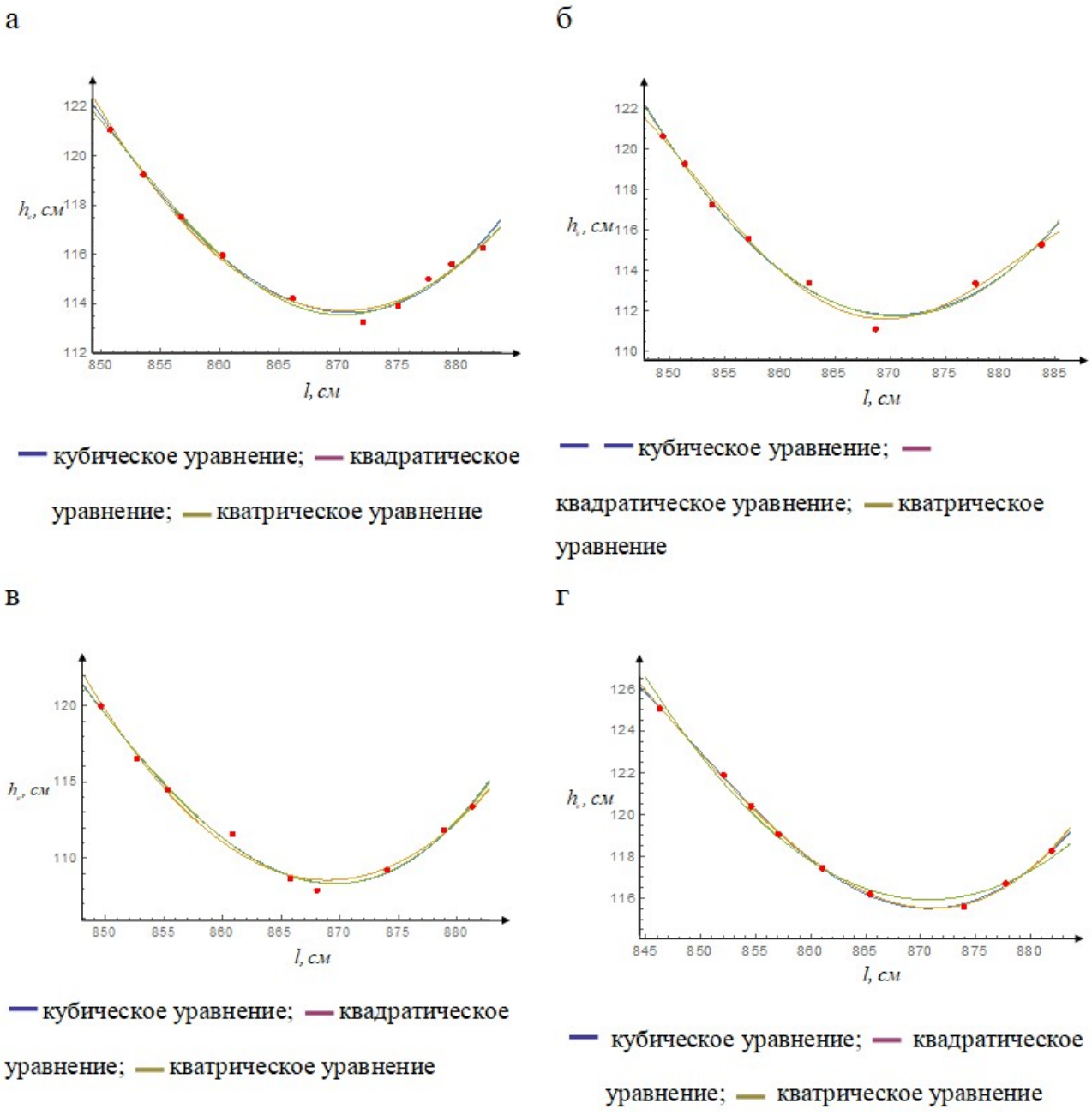


Рисунок 3.20 – Графики добычных забоев экскаватора драглайна и их аппроксимирующие кривые при различных уравнениях:а – забой №1; б – забой №2; в – забой №3; г – забой №4

По полученным данным маркшейдерской съемки произведено 3Д моделирование в программе AutocadCIVIL 3D и объединены 4 забоя шагающего

экскаватора в один, но с определенными линиями, которые характеризуют каждый забой (Рисунок 3.21).

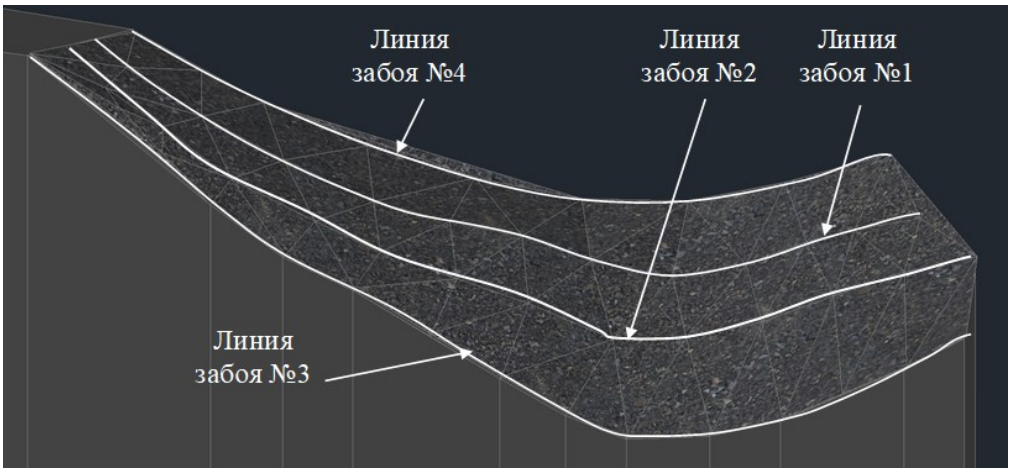


Рисунок 3.21 – 3Д модель, объединяющая все забои экскаватора драглайна

Из приведенных расчетных данных, графиков и компьютерного моделирования можно утверждать, что характеры уравнений в полной мере описывают добычные забои, которые представлены линиями забоев, а также схожи между собой на различных глубинах.

Таким образом, забой экскаватора драглайна представляется уравнением, которое имеет вид (3.37):

$$y = -a \cdot x^2 + b \cdot x - c \tag{3.37}$$

где a, b - эмпирические коэффициенты, зависящие от модели шагающего экскаватора,

c - константа уравнения.

По полученному уравнению найдем потери техногенного сырья, которые возникают при проведении добычных работ в пределах секций сформированного техногенного месторождения.

Далее установим экскаваторы драглайны друг напротив друга, найдем точки пересечений рабочих зон и составим систему уравнений для нахождения координат точек пересечения рабочих зон, при этом примем координаты расположения первого экскаватора $x_{ш1}=0$ и $y_{ш1}=0$ (3.38):

$$\begin{cases}(-a\cdot x)^2+(b\cdot y)^2-c=R_{1P.З.}^2\\(-a\cdot x-x_{ш2})^2+(b\cdot y-y_{ш2})^2-c=R_{2P.З.}^2\end{cases} \quad (3.38)$$

где $x_{ш2}$, $y_{ш2}$ – координаты местоположения 2-го экскаватора,

$R_{1P.З.}$ и $R_{2P.З.}$ – радиусы рабочих зон первого и второго экскаватора,

x и y – точки пересечения рабочих зон экскаваторов.

Решая данную систему уравнений, выразим x (3.39):

$$x=\frac{c+by\cdot y_{ш2}}{-a\cdot x_{ш2}} \quad (3.39)$$

где c - постоянная величина (3.40).

$$c=\frac{R_{2P.З.}^2-x_{ш2}^2-y_{ш2}^2-R_{1P.З.}^2}{-2} \quad (3.40)$$

При $x_{э2}\neq 0$, когда экскаваторы находятся на одном уровне относительно друг друга, подставляем x в уравнение кривой первой рабочей зоны экскаватора и получаем квадратное уравнение (3.41):

$$(-b\cdot y)^2\cdot(y_{ш2}^2+x_{ш2}^2)-2\cdot y_{ш2}\cdot c\cdot(-b\cdot y)+(c^2-R_{1P.З.}^2\cdot x_{ш2}^2)=0 \quad (3.41)$$

Для упрощения решения введем переменные (3.42-3.44):

$$f=(y_{ш2}^2+x_{ш2}^2);\ g=-2\cdot y_{ш2}\cdot c;\ m=c^2-R_{1P.З.}^2\cdot x_{ш2}^2 \quad (3.42\text{-}3.44)$$

Тогда (3.45):

$$D=g^2-4\cdot f\cdot m \quad (3.45)$$

если $D<0$ - рабочие зоны экскаваторов не пересекаются, это приводит к наибольшим потерям техногенного сырья (данный случай не рассматривается);

$D=0$ – рабочие зоны экскаваторов имеют одну общую точку пересечения (3.46-3.47):

$$y_2=\frac{-g+\sqrt{D}}{2\cdot f};\ x_2=\frac{c+ay\cdot y_{ш2}}{x_{ш2}} \quad (3.46\text{-}3.47)$$

$D>0$ – рабочие зоны экскаваторов имеют две точки пересечения, достигается наименьшая величина потерь техногенного сырья (3.48-3.49):

$$y_1 = \frac{-g+\sqrt{D}}{2\cdot f};\ x_{1,2} = \frac{c + a y_{1,2}\cdot y_{ш2}}{x_{ш2}} \qquad (3.48\text{-}3.49)$$

В дальнейших расчетах используем точку пересечения рабочих зон с координатами (x_2, y_2), так как выемка осуществляется ниже уровня стояния экскаваторов драглайнов.

При $x_{э2} = 0$ экскаваторы расположены не на одном уровне (выше или ниже по отношению друг к другу), поэтому ищем решение через y и получаем (3.50-3.51):

$$y_2 = \frac{c}{2\cdot y_{ш2}\cdot(-a)};\ x_2 = \pm\sqrt{R^2_{1P.З.} - \frac{c^2}{y_{ш2}}} \qquad (3.50\text{-}3.51)$$

Для дальнейшего решения зададим следующие условия:

При $D < 0$, $x = y = x_2$ (3.52-3.58):

$$x_{э2} \neq 0;\ y_{ш1} = y_{ш2} = 0;\ |b| = a - H^c;\ y_2 = \frac{-g-\sqrt{D}}{2\cdot g};\ x_2 = \frac{c - a\cdot y_2\cdot y_{ш2}}{x_{ш2}} \qquad (3.52\text{-}3.58)$$

где b – нижний предел интегрирования, для определения площади потерь, *м*.

Тогда высота потерь составит (3.59):

$$h_{п.} = (H^c + a) - y_2,\ м \qquad (3.59)$$

Площадь потерь в i-ой секции (3.60):

$$S_{i\ секции} = \left| \int_{-b}^{-y_2} \sqrt{R^2_{1P.З.} - y_2^2}\,dy - \int_{-b}^{-y_2} \sqrt{R^2_{2P.З.} - (y_2 - y_{э2})^2} + x_{ш2}\,dy \right|,\ м^2 \qquad (3.60)$$

Следовательно (3.61):

$$S_{потерь} = \left(\frac{1}{2}\left| \tan^{-1}\cdot\left(\frac{b}{\sqrt{R^2_{1P.З.} - b^2}}\right)\cdot R^2_{1P.З.} - \tan^{-1}\cdot\left(\frac{y_2}{\sqrt{R^2_{1P.З.} - y_2^2}}\right)\cdot R^2_{1P.З.} + b\cdot\sqrt{R^2_{1P.З.} - b^2} - y_2\cdot\sqrt{R^2_{1P.З.} - y^2} \right| \right.$$
$$\left. \left| \frac{1}{2}\cdot\left(-y_2\cdot\sqrt{R^2_{2P.З.} - y_2^2} - R^2_{2P.З.}\cdot\tan^{-1}\left(\frac{y_2}{\sqrt{R^2_{2P.З.} - y_2^2}}\right) + b\cdot\sqrt{R^2_{2P.З.} - b^2} + R^2_{2P.З.}\cdot\tan^{-1}\left(\frac{b}{R^2_{2P.З.} - b^2}\right)\right) - \right| \right),\ м^2 \qquad (3.61)$$
$$\left| - y_2\cdot x_{ш2} + b\cdot x_{ш2} \right|$$

3.6 Методы сокращения потерь при отработке техногенного месторождения в пределах каждой секции

Методы сокращения потерь не были рассмотрены ранее, так как для этого требуется привлечение дополнительной техники, что ведет к увеличению себестоимости добычи (в общем случае).

При разработке месторождений ценных и редких полезных ископаемых; изменении требований к качеству и количеству добываемого полезного ископаемого, когда забалансовые запасы переходят в рентабельные; изменениях в экономике страны и мировой экономике могут быть применены следующие методы сокращения потерь: [16, 40, 75]

1. Выполаживание углов откосов уступов в отрабатываемой секции до линии забоя экскаватора драглайна (Рисунок 3.22).

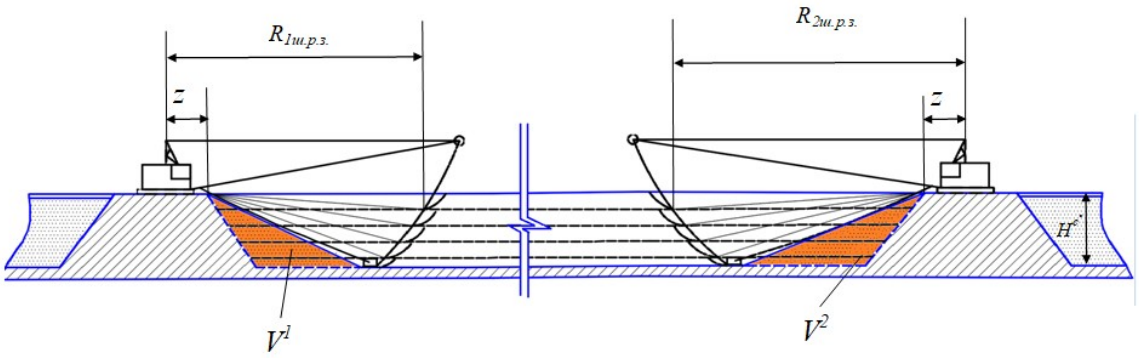


Рисунок 3.22 – Отработка секции при выполаживании углов откосов уступов в *i*-ой секции до линий забоев экскаваторов драглайнов: H^c - высота секции, м; $R_{1Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Ш.Р.З.}$ радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м; z* - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*; V^1, V^2 - объемы необходимой насыпи

Для того, чтобы выположить углы откосов уступов в отрабатываемой секции до линий забоев экскаваторов драглайнов, используя результаты замеров маркшейдерской съемки, подберем эмпирические линейные уравнения забоев (таблица 3.8, рисунок 3.23) и рассчитаем объем, необходимой насыпи.

Таблица 3.8 – Эмпирические линейные уравнения забоев экскаватора драглайна

Номер добычного забоя	Линейное уравнение
1	$461{,}021 - 0{,}400403 \cdot x$
2	$526{,}662 - 0{,}478912 \cdot x$
3	$662{,}04 - 0{,}63919 \cdot x$
4	$522{,}949 - 0{,}470691 \cdot x$

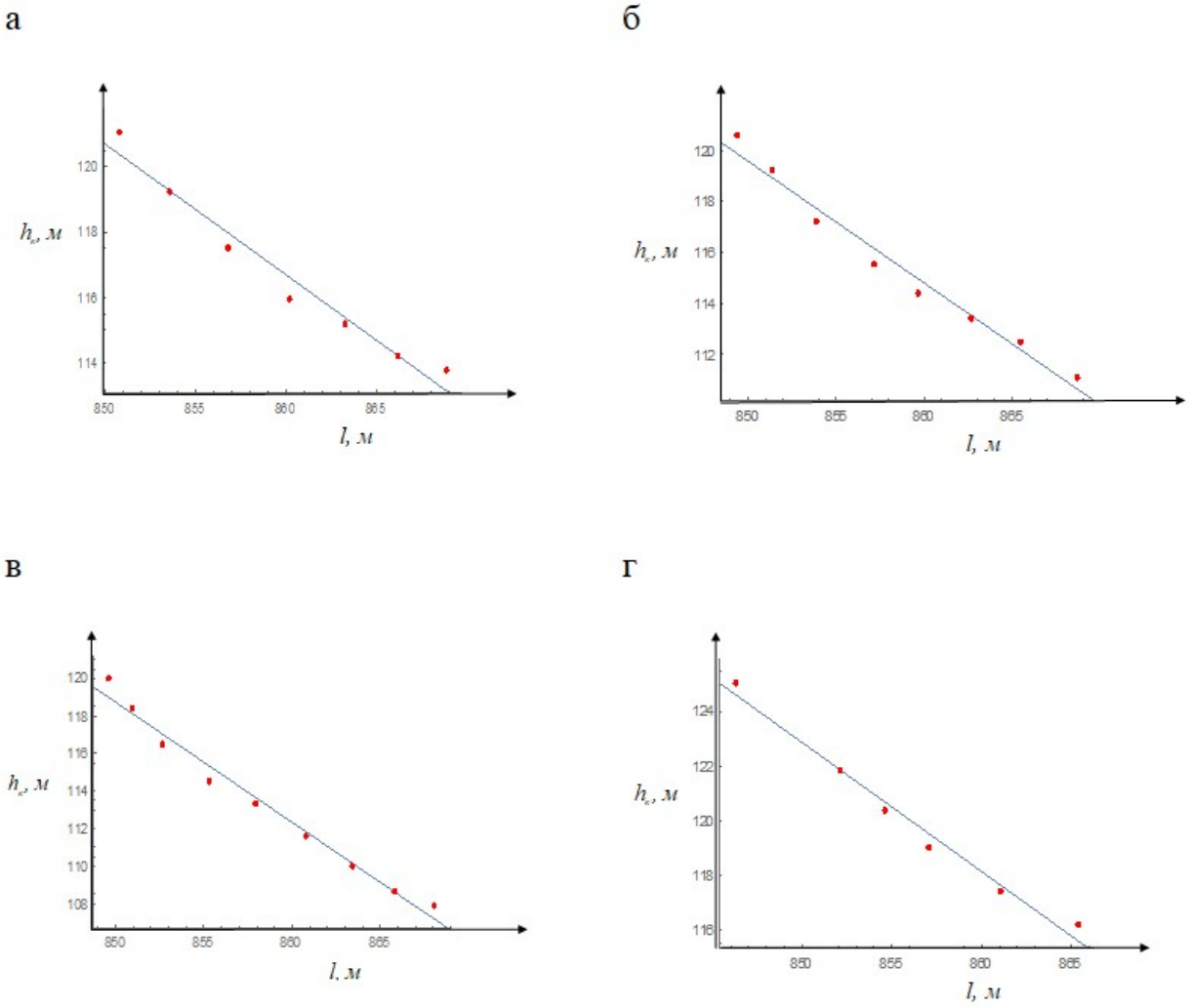


Рисунок 3.23 – Графики линейных аппроксимаций добычных забоев экскаватора драглайна:а – забой №1; б – забой №2; в – забой №3; г – забой №4

Критерии оценки правдоподобия полученных уравнений приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Критерии оценки правдоподобия полученных уравнений

Тип уравнения	Информационный критерий Акаике (AIK)	Байесовский информационный критерий (BIK)	Коэффициент детерминации, R^2	Скорректированный коэффициент детерминации (adjustedR^2)
Забой №1				
Линейное	15,353	15,191	0,964	0,957
Забой №2				
Линейное	17,008	17,247	0,976	0,972
Забой №3				
Линейное	20,901	21,492	0,981	0,979
Забой №4				
Линейное	11,942	11,317	0,982	0,977

Таким образом, забой экскаватора драглайна представляется линейным уравнением, которое имеет вид (3.62):

$$y = -k \cdot x + b \tag{3.62}$$

где k - эмпирический коэффициент, характеризующий угол наклона линии забоя экскаватора драглайна и зависящий от его модели;

b - константа уравнения.

Объем необходимой насыпи в *i*–ой секции можно рассчитать через определенный интеграл, зная уравнения линий забоев экскаваторов драглайнов и откосов уступов в отрабатываемой секции.

Уравнение откоса уступа в отрабатываемой секции также описывается линейной зависимостью (3.63):

$$y = -k_o \cdot x + b \tag{3.63}$$

где k_o - коэффициент, характеризующий угол откоса уступа в отрабатываемой секции,

b - константа уравнения.

Зная углы откосов уступов в *i*–ой секции и углы наклона линий забоев экскаваторов драглайнов, уравнения примут следующий вид (3.64-3.67):

$$-tg_\alpha \cdot x + b = y \tag{3.64}$$

$$-tg_\beta \cdot (-x - x_2) + b = -y - y_2 \tag{3.65}$$

где $(x; y)$, $(x_2; y_2)$ - координаты экскаваторов драглайнов 1 и 2 соответственно,

α, β - углы наклонов линий добычного забоя,

b - константа уравнений.

$$-tg_{\varphi} \cdot x + b = y_o^1 \tag{3.66}$$

$$-tg_{\varphi} \cdot (-x - x_2) + b = -y_o^1 - y_o^2 \tag{3.67}$$

где (x, y_o^1), (x_2, y_o^2) - координаты уступов в *i*–ой секции,

φ - угол откоса уступа в отрабатываемой секции,

b - константа уравнений.

Для дальнейшего решения примем следующее условие $|H^c| = f$. Расчеты будем вести по у.

Тогда, при использовании различного типа выемочно-погрузочного оборудования, площадь необходимой насыпи в *i* –ой секции будет равна (3.68-3.70):

$$S_i = S_1 + S_2, м^2 \tag{3.68}$$

$$S_1 = \int_{-f}^{0} \frac{(y-b)}{-k_1} dy - \int_{-f}^{0} \frac{(y_o^1 - b)}{-k_o^1} dy_o^1, м^2 \tag{3.69}$$

$$S_2 = \int_{-f}^{0} \frac{(-y - y_2 - b - k_2 \cdot x_2)}{k_2} dy - \int_{-f}^{0} \frac{(-y_o^1 - y_o^2 - b - k_o^1 \cdot x_2)}{k_o^1} dy_o^1, м^2 \tag{3.70}$$

Решая данные уравнения, получим (3.71-3.73):

$$S_1 = \frac{f \cdot (f + 2b)}{2k_1} - \frac{f \cdot (f + 2b)}{2k_o^1}, м^2 \tag{3.71}$$

$$S_2 = \frac{f^2}{2k_2} + f \cdot \frac{(-y_2 - b - k_2 \cdot x_2)}{k_2} - \frac{f^2}{2k_o^1} - f \cdot \frac{(-y_o^2 - b - k_o^1 \cdot x_2)}{k_o^1}, м^2 \tag{3.72}$$

$$S_i = \frac{f \cdot (f + 2b)}{2k_1} + \frac{2f \cdot (-y_2 - b - k_2 \cdot x_2) + f^2}{2k_2} + \frac{(-f) \cdot (-y_o^2 - k_o^1 \cdot x_2) - f^2}{k_o^1}, м^2 \tag{3.73}$$

Объем необходимой насыпи в *i*-ой секции составит (3.74-3.76):

$$V_1 = (\frac{f \cdot (f + 2b)}{2k_1} - \frac{f \cdot (f + 2b)}{2k_o^1}) \cdot L, м^3 \tag{3.74}$$

где L - длина *i*-ой секции по низу, *м.*

$$V_2 = (\frac{f^2}{2k_2} + f \cdot \frac{(-y_2 - b - k_2 \cdot x_2)}{k_2} - \frac{f^2}{2k_o^1} - f \cdot \frac{(-y_o^2 - b - k_o^1 \cdot x_2)}{k_o^1}) \cdot L, м^3 \tag{3.75}$$

$$V_i = V_1 + V_2 = S_i \cdot L = (\frac{f \cdot (f + 2b)}{2k_1} + \frac{2f \cdot (-y_2 - b - k_2 \cdot x_2) + f^2}{2k_2} + \frac{(-f) \cdot (-y_o^2 - k_o^1 \cdot x_2) - f^2}{k_o^1}) \cdot \tag{3.76}$$

При использовании одинакового типа выемочно-погрузочного оборудования, площадь и объем насыпи в *i*–ой секции будут равны (3.77-3.78):

$$S_i = f \cdot (\frac{f - y_2}{k_1} - x_2) + \frac{(-f) \cdot (-y_o^2 - k_o^1 \cdot x_2) - f^2}{k_o^1}, м^2 \quad (3.77)$$

$$V_i = S_i \cdot L = (f \cdot (\frac{f - y_2}{k_1} - x_2) + \frac{(-f) \cdot (-y_o^2 - k_o^1 \cdot x_2) - f^2}{k_o^1}), м^3 \quad (3.78)$$

Так как пределы интеграла зависят от высоты секции, то данные формулы площади и объема могут быть использованы как для определения насыпи в секции для экскаваторов, находящихся на одном уровне стояния относительно друг друга, так и при различных уровнях стояния экскаваторов (выше или ниже по сравнению друг с другом). [45, 86]

2. Создание съездов в секциях и размещение в них мобильного оборудования для подвигания оставшегося техногенного сырья в рабочую зону экскаваторов (Рисунки 3.24, 3.25).

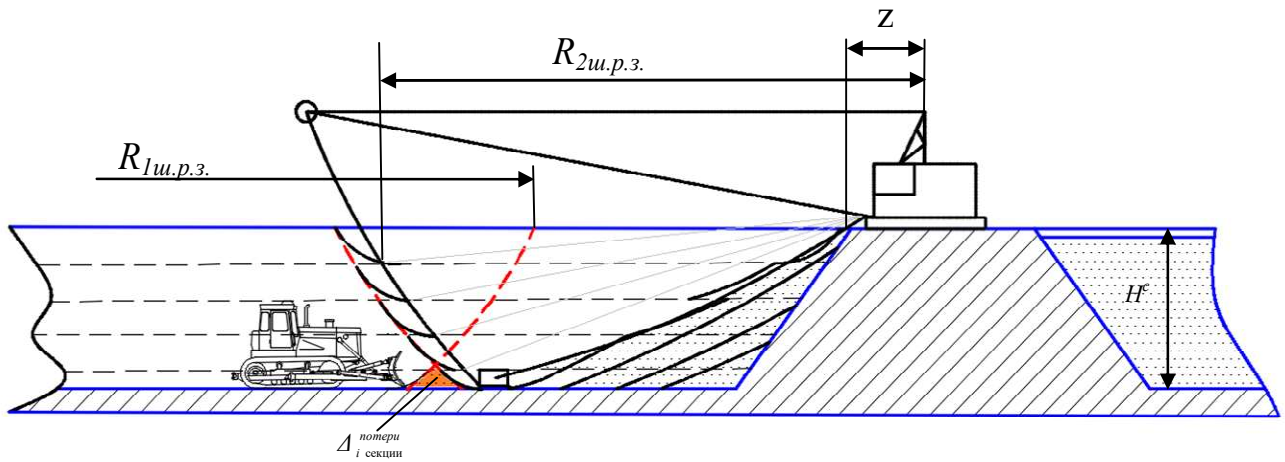


Рисунок 3.24 – Подвигание оставшегося материала бульдозером в рабочую зону экскаватора драглайна: H^c - высота секции, м; $R_{1Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м;* $\Delta_{i\ секции}^{потери}$ - величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в *i*-ой секции; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*

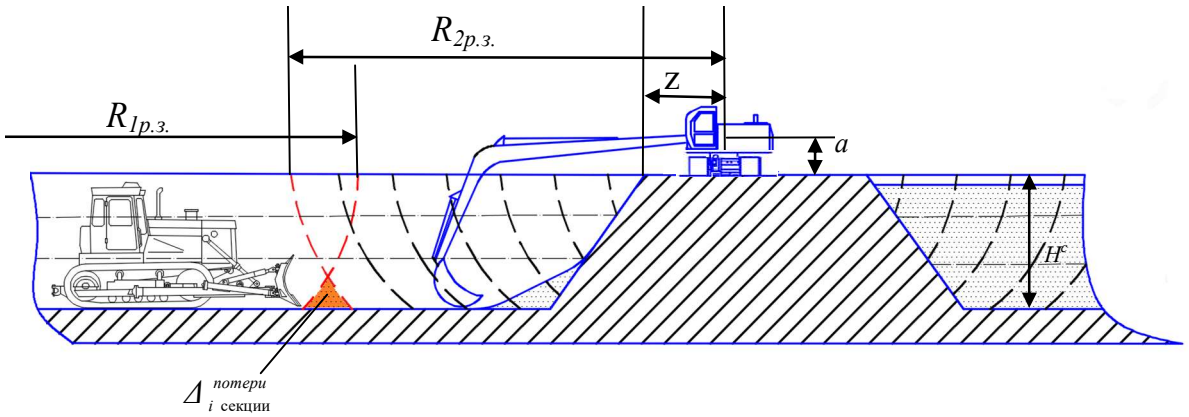


Рисунок 3.25 – Подвигание оставшегося материала бульдозером в рабочую зону гидравлического экскаватора типа обратная лопата: $R_{1Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м;* $\Delta^{потери}_{i\ секции}$ - величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в *i*-ой секции; H^c - высота секции, м; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*

Для применения данного метода секции должны иметь несущеспособное основание, чтобы обеспечить безопасность ведения работ.

3. Уменьшение высоты разрабатываемой секции на величину, равную координате пересечения рабочих зон экскаваторов по оси OY (Рисунки 3.26, 3.27).

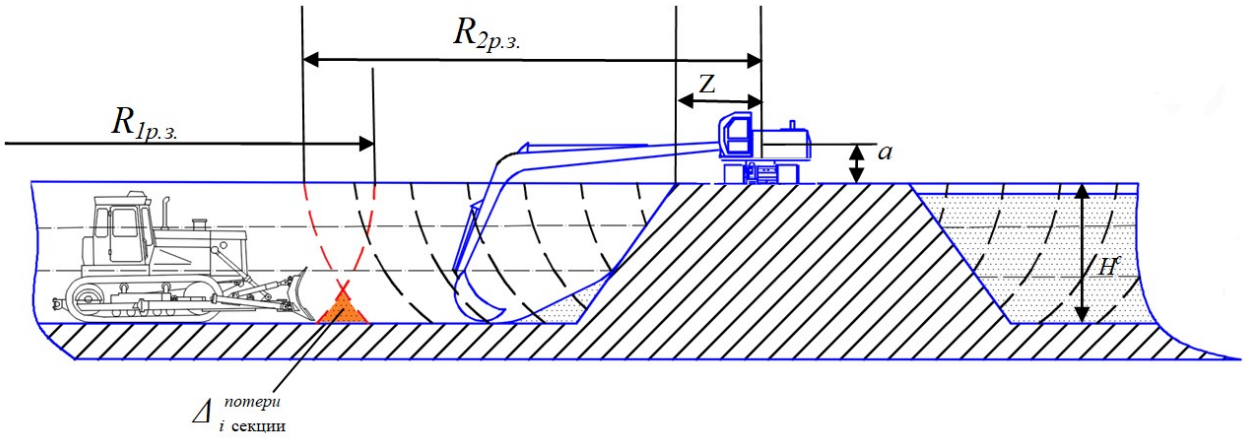


Рисунок 3.26 – Отработка секции меньшей глубины гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата: $R_{1Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м;* $\Delta^{потери}_{i\ секции}$ - величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в *i*-ой секции; h^c - измененная высота секции, м; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*

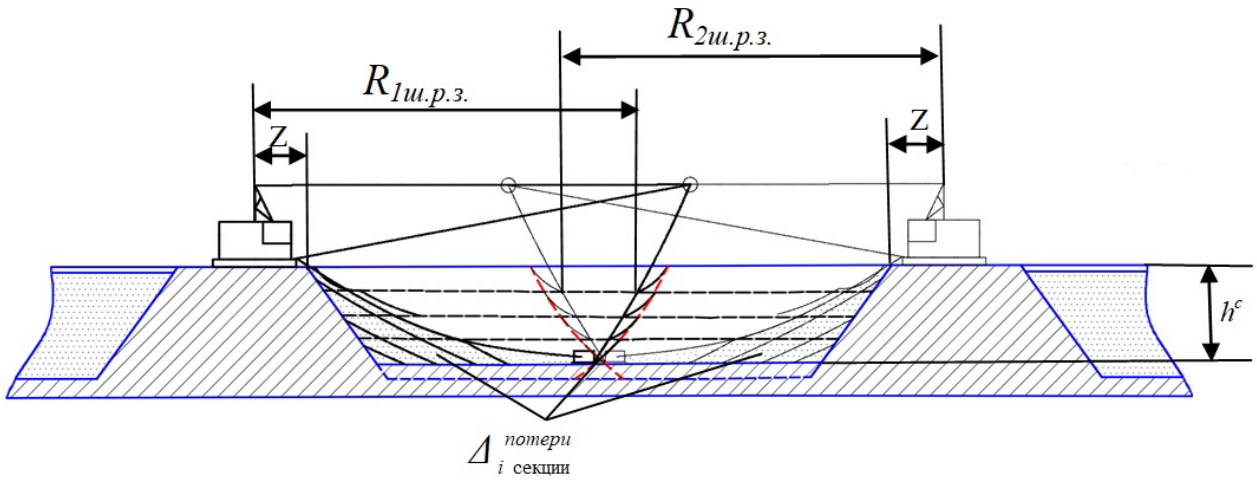


Рисунок 3.27 – Отработка секции меньшей глубины экскаваторами драглайнами: $R_{1Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м;* $\Delta^{потери}_{i\ секции}$ - величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в *i*-ой секции, а также не добытый материал в силу ограниченности технических параметров выемочно-погрузочного оборудования; h^c - измененная высота секции, м; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*

4. Уменьшение ширины разрабатываемой секции на величину, равную длине основания треугольника потерь (Рисунки 3.28, 3.29). [11]

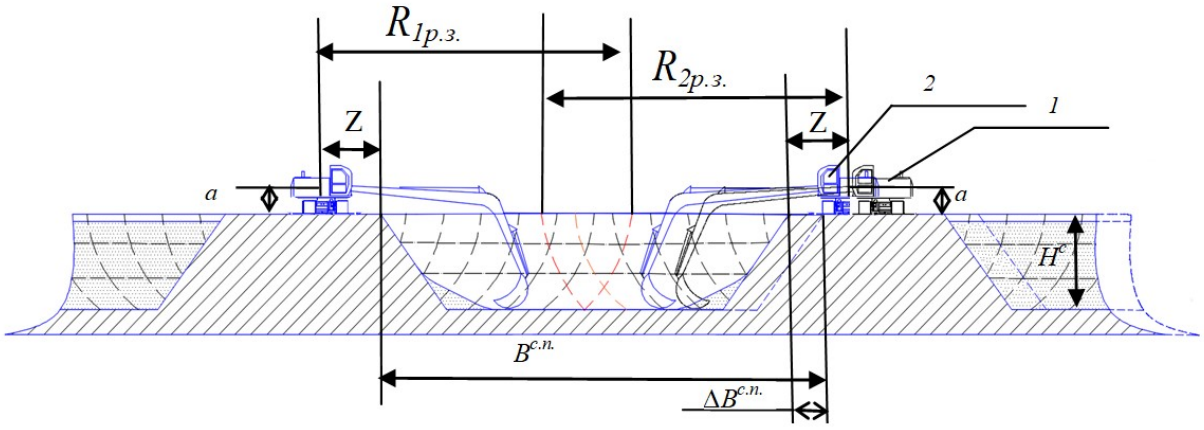


Рисунок 3.28- Отработка секции меньшей ширины гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата: $R_{1Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м*; $B^{с.п.}$ - измененная ширина секции, м; $\Delta B^{с.п.}$ - величина изменения ширины секции, м; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*; H^c - высота секции, м; 1 – предыдущее положение экскаватора; 2 – новое положение экскаватора

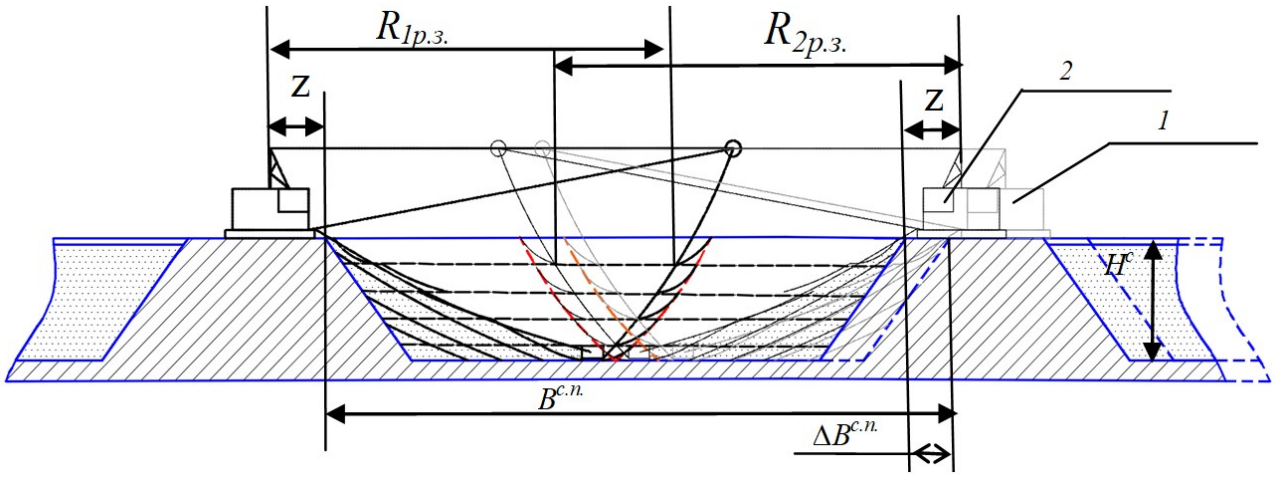


Рисунок 3.29 – Отработка секции меньшей ширины экскаваторами драглайнами: $R_{1Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, *м*; $R_{2Ш.Р.З.}$ - радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, *м*; z - безопасное расстояние до бровки уступа, *м*; H^c - высота секции, м; $B^{c.n.}$ - измененная ширина секции, м; $\Delta B^{c.n.}$ - величина изменения ширины секции, м; 1 – предыдущее положение экскаватора; 2 – новое положение экскаватора

3.7 Выводы по главе 3

1. Предложенная технология формирования техногенного месторождения включает в себя создание дамбы и перегородок из скальной вскрыши, которые делят месторождение на секции. Укладка сырья в секции осуществляется рассредоточенным выпуском в каждую секцию трубами с крупной (богатой) фракцией и с мелкой (бедной) фракцией техногенного сырья. Искусственный сегрегационный процесс складирования техногенного сырья различной крупности возможен за счет установки в тело потока техногенного сырья сплошной навивки, что на 25 % увеличивает значение осевой составляющей скорости в центральной части за счет ее снижения в пристеночной области трубопровода, и способствует его управлению.

2. Разработанная физическая модель по управлению сегрегационным процессом и проведенные экспериментальные исследования показали, что навивание потока при сохранении неизменной средней скорости транспортирования позволяет разделять поток по крупности и плотности частиц с вероятностью выделения мелкого класса -3,1+0 мм 88 % при шаге навивки равном

диаметру трубопровода. Среднее содержание полезного компонента в секциях повысится не менее чем на 3-5 %.

3. Величина оптимальной ширины разрабатываемой секции определяется с учетом типа применяемого выемочно-погрузочного оборудования, его параметров, возникающих потерь. Увеличение ширины формируемой или разрабатываемой секции ведет к увеличению емкости размещения техногенного сырья, а также повышению потерь на 15% при добыче при неизменном выемочно-погрузочном оборудовании.

4. Предлагаемая технология освоения посекционного техногенного месторождения включает в себя экранирование заполненных секций разработанным составом от внешних осадков для сохранения влажности хвостов обогащения 15 %, размещение гидравлических экскаваторов типа обратная лопата (или экскаваторов драглайнов) на скальных перегородках друг напротив друга, производство горных работ в пределах секций шириной 21 м, высотой 12 м, что позволяет обеспечить сокращение потерь полезного компонента не менее чем на 10-15 % и повысить производительность выемочно-погрузочного оборудования не менее чем на 10 %.

5. Наличие потерь Δ_n характеризует удаленность расположения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата друг от друга, в тоже время сильное сокращение этого расстояния приведет к резкому уменьшению ширины секции, что в свою очередь влияет на ее емкость при неизменных параметрах – высоте H_i^c и длине L_i^c, и влечет за собой увеличение затрат на формирование секций.

6. Забой экскаватора драглайна при отработке сформированного техногенного месторождения до величины максимальной глубины черпания имеет одинаковый профиль, что дает возможность сократить потери к нулю за счет выполаживания откосов рабочей площадки на каждом метре понижения горных работ.

7. Объем необходимой насыпи в *i*–ой секции для сокращения потерь при добыче экскаваторамидраглайнами основывается на определенном интеграле,

зависящем от высоты секции, учитывая уравнения линий забоев экскаваторов и откосов уступов в отрабатываемой секции.

8. Уменьшение потерь техногенного сырья при ведении горных работ экскаваторами, возникших из-за пересечения рабочих зон и увеличенной ширины секции, достигается путем создания временных съездов и подвигания техногенного сырья бульдозером на величину основания треугольника потерь.

9. Уменьшение ширины разрабатываемой секции на безопасное расстояние до бровки уступа при использовании экскаваторов драглайнов или гидравлических экскаваторов типа обратная лопата сокращает потери на 20% при уменьшении емкости размещения техногенного сырья на 9%.

ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЕКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОГРАНИЧЕНИЯ

4.1 Актуальность математического моделирования при разработке техногенных месторождений

В наше время интенсивного развития технологий и повышенной конкуренции на рынке производства наблюдается неотъемлемая потребность в эффективной разработке месторождений. Это обусловлено не только стремительным технологическим прогрессом, но и усложнением задач, стоящих перед современными предприятиями, которые вовлекают в разработку техногенные месторождения, представленные железосодержащими хвостохранилищами.

Экономическая эффективность открытых разработок, являющихся ключевым элементом горнотехнического процесса, в значительной степени определяется стоимостью экскаваторных и транспортных работ на техногенных месторождениях.

Нахождение оптимальных параметров горного и транспортного оборудования, наилучшим образом соответствующих горнотехническим условиям разработки, является приоритетным направлением. При этом приходится учитывать разнообразные факторы, такие как грузоподъемность колесного транспорта и многие другие.

Сложность таких задач увеличивается из-за многообразия возможных вариантов сочетания при различных типоразмерах оборудования. Поэтому важным направлением становится поиск рациональных сочетаний не только среди существующего оборудования, но и выявление целесообразности создания новых видов карьерной техники, основанных на технологических предпосылках.

Планирование мощности горнодобывающих предприятий также становится проблемой, требующей серьезного внимания. Ранее, при проектировании, производительность карьера считалась постоянной величиной на протяжении

всего срока его эксплуатации. Однако современные условия разработки техногенных месторождений такие как, изменения геологических и горнотехнических условий, а также экономические факторы диктуют необходимость переменной производительности для каждого этапа освоения техногенного месторождения.

Все эти сложности и вызовы могут быть успешно решены с использованием математического моделирования процессов горного производства и последующим анализом моделей с помощью компьютерных методов линейного и нелинейного программирования. Такой подход не только обеспечивает систематизацию и оптимизацию производственных процессов, но и способствует повышению эффективности открытых разработок на техногенных месторождениях.

Одновременно с задачей выбора рациональных сочетаний погрузочного и транспортного оборудования и установления производительности должен быть решен круг таких вопросов, как мощность машин, целесообразность создания и серийность отдельных типов оборудования, интенсивность производства открытых горных работ, рабочая зона и др.

Для решения всех этих основных задач открытых разработок в работе применяется математическое моделирование процессов горного производства с последующим решением моделей на компьютере методами линейного и нелинейного программирования.

4.2 Постановка задач моделирования и общий метод их решения

Постановка задач моделирования и методы их решения являются ключевыми этапами при анализе и оптимизации сложных систем, таких как технологические процессы при разработке техногенных месторождений. В данном контексте постановка задач и выбор методов решения направлены на создание математической модели, которая сможет точно описать реальные процессы и предоставить основу для принятия информированных решений.

Постановка задач моделирования в горном производстве включает в себя следующие аспекты:

- Определение целей и критериев: определение конечных целей моделирования, таких как максимизация добычи, минимизация затрат.

- Идентификация переменных: выбор и определение основных переменных, влияющих на процессы горного производства. Например, такие факторы, как физико-механические свойства техногенного материала, параметры выемочно-погрузочного оборудования, экономические показатели.

- Создание математической модели: формулирование математических уравнений, описывающих взаимодействие между различными переменными. Например, уравнения для добычи, транспортировки, а также уравнения, отражающие экономические аспекты.

- Учет ограничений и условий: включение в модель всех существующих ограничений - технические, экономические, или экологические. Например, ограничения на использование оборудования, лимиты по затратам, законодательные нормативы и прочее.

В области открытых горных работ при разработке техногенных месторождений обычно решаются определенные частные задачи, связанные с установлением параметров систем разработки и реже с выбором основных видов горного и транспортного оборудования. Такие решения нередко приводили к результатам, носящим, как правило, «местный» характер. Так, выбор высоты уступа при заданных параметрах экскаваторного оборудования для транспортных систем разработки является по существу предрешенным, поскольку наибольшая высота уступа при этом обеспечивает наименьшие издержки производства, что связано с наиболее полным использованием принятых машин и упрощением схемы транспортных коммуникаций при разработке техногенных месторождений.

Вместе с тем решение отдельных задач не раскрывает в большинстве случаев общих оптимальных решений для конструирования систем открытой разработки и главных ее элементов — высоты уступа, длины секции и ширины рабочей площадки при одновременном выборе мощности карьерной техники и интенсивности производства горных работ.

В то же время важное значение приобретает совместный анализ влияния элементов системы и параметров экскаваторного и транспортного оборудования, а также мощности горнодобывающих предприятий, с помощью которого могут быть решены задачи их одновременного выбора. Такие и подобные им решения способствуют установлению направлений технического прогресса открытых разработок.

Задачи одновременного выбора всех главных параметров разработки в силу необходимости учета большого многообразия взаимовлияющих факторов и множества допустимых решений, из которых следует установить оптимальное, являются весьма сложными. Практика показывает, что даже при сравнительно простых задачах неупорядоченный анализ вариантов с целью выявления оптимального является практически невыполнимой задачей.

При решении задач выбора основного горного оборудования и планирования мощности при разработке техногенного месторождения наиболее приемлемым представляется применение получившей в последние годы широкое развитие прикладной математической дисциплины — исследование операций. Это исследование представляет собой совокупность методов, дающих количественные основания для принятия оперативных решений в различных областях управления и планирования, и включает этапы, выражающиеся в выборе оптимизируемой величины, выявлении и измерении независимых переменных (параметров процесса), построении математической модели производственного процесса и решении модели на компьютере.

При решении задач, связанных с выбором основных параметров систем разработки и мощности предприятия, методом технико-экономического анализа, целевой постановкой является минимизация приведенных затрат (4.1):

$$C = C_i + \frac{E_н \cdot K_i}{Q_{год}}, \text{ руб} / \text{м}^3, \qquad (4.1)$$

где C_i - себестоимость продукции по *i* варианту, *руб/м*^{3},

K_i — капитальные вложения по *i* варианту, *руб*,

$Q_{год}$ — производительность оборудования или карьера, *м*^{3}*/год*,

$E_н$ — отраслевой нормативный коэффициент эффективности.

В соответствии с [41, 50] оптимизируемая величина C в полной мере является результативным показателем, характеризующим эффективность производственного процесса.

Исследования показывают, что установление рациональных параметров экскаваторов должно основываться на совокупном анализе факторов, главнейшими из которых являются: физико-механические свойства техногенного сырья, глубина и интенсивность отработки, вид и мощность транспортного оборудования, продолжительность его обмена в забое, уровень цен на оборудование, материалы и энергию.

В свою очередь, при выборе мощности транспортного оборудования, кроме перечисленных факторов, необходимо учитывать рабочие параметры и производительность карьерных экскаваторов. [24, 50]

Все влияющие на выбор основного выемочно-погрузочного и транспортного оборудования факторы можно разделить на две группы: к первой относятся геологическая и горнотехническая характеристики месторождения, являющиеся постоянными или изменяющимися закономерно. Вторая группа включает независимые переменные: мощность транспортного оборудования, емкость ковша и линейные параметры карьерных экскаваторов.

Из числа линейных параметров, в конечном счете, интерес представляют максимальные радиус $R_{ч.т}$ и высота/глубина черпания $H_{ч.т}$ экскаваторов. Поскольку эти параметры взаимозависимы, то представляется возможным всю совокупность стоимостных показателей свести к одному из них — наибольшей высоте/глубине черпания, так как этот параметр в наших условиях является наиболее представительным.

В задаче установления оптимальной производительности при разработке техногенных месторождений к первой группе влияющих факторов относятся горно-геологическая и технико-экономическая характеристики техногенного месторождения, а ко второй — производительность.

Таким образом, независимыми переменными в моделях транспортной системы открытой разработки техногенных месторождений являются мощность транспортного оборудования, емкость ковша и наибольшая высота/глубина черпания экскаваторов.

Математическое моделирование процесса горного производства является наиболее трудоемким и ответственным этапом. От точности модели и простоты ее построения зависит не только достоверность полученных выводов, но и возможные методы обработки, их точность и трудоемкость.

Математическая модель производственного процесса — это описывающее его связи уравнение или система уравнений и неравенств, либо система специальных математических таблиц с рядом исходных данных и неизвестных величин, подлежащих определению. Такая модель, применяемая для решения инженерных задач, естественно, охватывает только важнейшие явления и в этом смысле представляет собой определенное приближение к реальной задаче. Это обусловлено тем, что не все влияющие на процесс факторы досконально известны (нередко отсутствует необходимая и достоверная информация по ряду факторов, позволяющая выразить их в строгой количественной форме), а также исключением из модели большого числа второстепенных факторов, которые могут настолько усложнить модель, что она станет малопригодной для практических решений.

Вместе с тем опыт применения математического моделирования показывает, что некоторое абстрагирование не может изменить достоверности основных выводов, получаемых при анализе модели. [2, 49]

4.3 Математическая модель транспортной системы разработки

Математической моделью производственного процесса транспортной системы открытой разработки техногенных месторождений является функция приведенных к $1\ м^3$ техногенного сырья затрат с системой ограничений на независимые переменные, устанавливаемые по техническим и технологическим соображениям.

Функцию приведенных затрат можно получить путем суммирования соответствующих каждому виду транспорта и горной породе элементов затрат. Затраты на погрузку определяются как сумма частных от деления стоимости машино-смены экскаватора на его производительность и произведения стоимости машино-смены и времени простоя на объем техногенного сырья. К стоимости погрузки относятся также затраты на содержание резервного и вспомогательного оборудования и ремонтной базы.

Стоимость машино-смены складывается из затрат на амортизацию, все виды ремонтов, кроме капитального, оснастку, вспомогательные, смазочные и обтирочные материалы. Эти затраты определяются в процентах от расчетной стоимости машин. Последнюю с достаточной степенью точности можно получить как произведение стоимости 1 т металлоконструкций машин на рабочий вес. Стоимость машино-смены включает также затраты на электроэнергию, определяемые пропорционально мощности сетевых двигателей и их загрузке, и заработную плату экипажа.

Точное значение весовых и энергетических показателей, а, следовательно, и стоимость машины и машино-смены, можно получить только в результате проектной проработки конструкции. Однако для сравнительной оценки этих измерений можно воспользоваться эмпирическими зависимостями, полученными на основе анализа показателей существующих и проектируемых машин, используя закон подобия.

Наиболее представительными критериями подобия при этом являются (4.2-4.3) [23]:

$$\frac{M^x}{G} = idem;\ \frac{M^y}{N_c} = idem, \qquad (4.2\text{-}4.3)$$

где M — максимальный опрокидывающий момент, *тм*. Величина его представляет собой полную работу, выполняемую экскаватором в самых тяжелых условиях забоя, и является функцией рабочих параметров экскаватора, объемного веса экскавируемых пород и их реакции при черпании,

G — рабочий вес экскаватора, *т*,

N_c — мощность сетевого электродвигателя, *кВт*.

Карьерные экскаваторы, выпускаемые одной фирмой, как правило, однотипны и имеют ряд характерных особенностей, отличающих их от машин других фирм. С этой точки зрения функциональные связи следовало бы устанавливать по отдельным фирмам, однако поскольку эмпирические линии регрессии незначительно отличаются друг от друга и достоверность таких закономерностей была бы весьма малой, так как количество моделей одной фирмы не превышает семи, то более целесообразным представляется совместный анализ ряда моделей карьерных экскаваторов.

Функциональные связи $G = f(M)$ и $N_c = f(M)$, изображенные на рисунках 4.1 и 4.2, имеют вид (4.4-4.5):

$$G = 0,19 \cdot M + 27, m; \tag{4.4}$$

$$N_c = 0,34 \cdot M + 8, кВт. \tag{4.5}$$

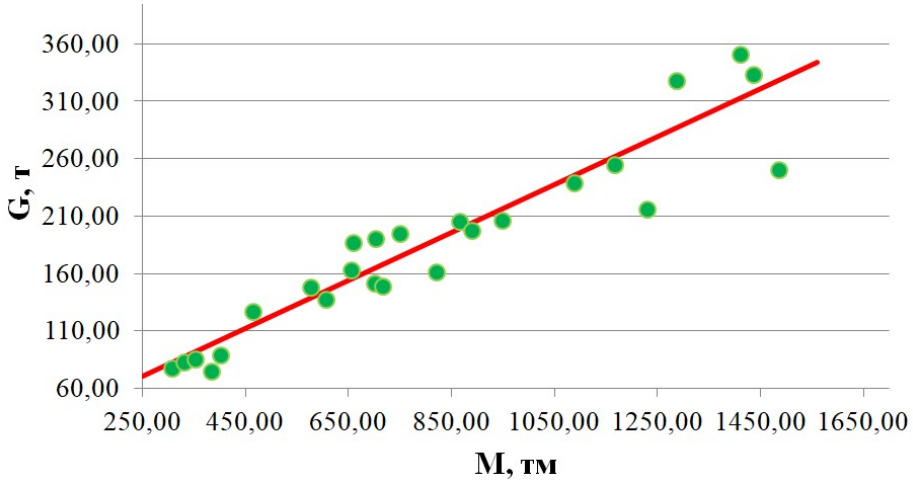


Рисунок 4.1 - Зависимость рабочего веса карьерных экскаваторов от максимального опрокидывающего момента

Величину максимального опрокидывающего момента можно [39] определить из выражений (4.6-4.7):

для рыхлого техногенного сырья

$$M = 3,39 \cdot K_0 \cdot K_э \cdot E + 0,325 \cdot q_р \cdot R^2_{ч.т} + 1,45 \cdot (q_л + \gamma) \cdot E \cdot R_{ч.т}, тм; \tag{4.6}$$

для мерзлого техногенного сырья

$$M = 6,8 \cdot \sqrt[3]{E^2} \cdot R_{ч.т} + 0,325 \cdot q_р \cdot R^2_{ч.т} + 1,45 \cdot (q_л + \gamma) \cdot E \cdot R_{ч.т}, тм; \tag{4.7}$$

где K_0 — удельное сопротивление резанию, $кГ/см^2$,

$K_э$ — коэффициент экскавации,

E — емкость ковша экскаватора, $м^3$,

$q_л$ — вес ковша, приходящийся на 1 м^3 его емкости, $т$,

$q_р$ — вес 1 пог. м рукояти, $т$,

γ — объемный вес экскавируемого техногенного сырья, $т/м^3$.

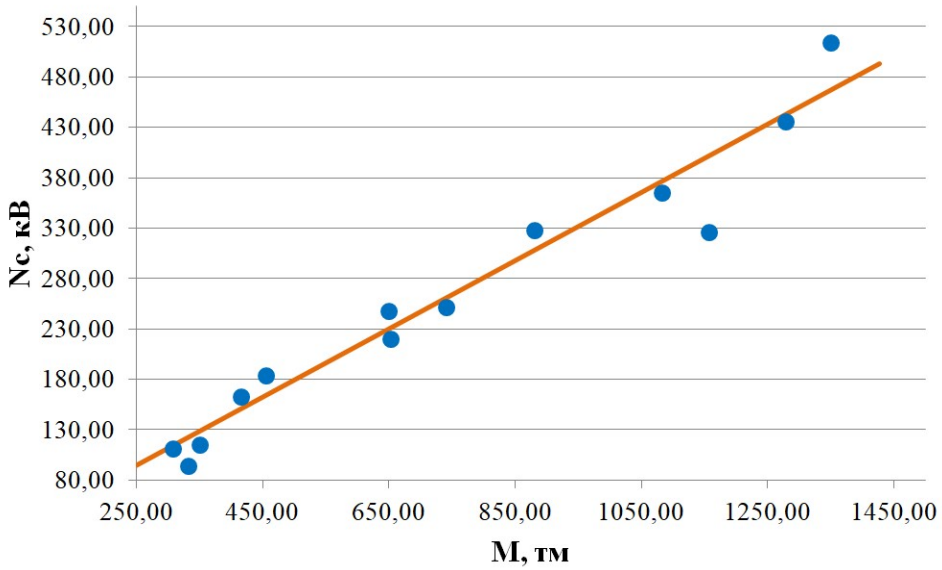


Рисунок 4.2 - Зависимость установленной мощности сетевых электродвигателей карьерных экскаваторов от максимального опрокидывающего момента

Предпринятое здесь разделение пород на рыхлые и мерзлые обусловлено различным механизмом распределения усилий на блоке ковша экскаватора при его черпании. Для рыхлого техногенного сырья характерен процесс резания, сопротивление которому зависит от крепости сырья и режима работы. В мерзлом техногенном сырье аналогичная составляющая возникает на зубьях ковша при его внедрении в массив. Она зависит от емкости ковша экскаватора, режима работы и степени дробления техногенного сырья.

Использование в нелинейном виде приведенных выражений значительно усложнит модель и методы ее решения.

Поскольку для карьерных экскаваторов представительными являются следующие соотношения (4.8-4.9):

$$\frac{6{,}8\cdot\sqrt[3]{E^2}\cdot R_{ч.т}+0{,}325\cdot q_р\cdot R_{ч.т}^2}{E\cdot R_{ч.т}}=5{,}3; \tag{4.8}$$

$$\frac{R_{ч.т}}{H_{ч.т}}=1{,}3. \tag{4.9}$$

то представляется возможным заменить их достаточно точными интерполяционными формулами вида (4.10-4.11):

для рыхлого техногенного сырья

$$M=\left[1{,}18+1{,}87\cdot\left(q_л+\gamma\right)\right]\cdot E\cdot H_{ч.т}+3{,}39\cdot K_0\cdot K_э\cdot E, тм; \tag{4.10}$$

для мерзлого техногенного сырья

$$M=\left[6{,}95+1{,}87\cdot\left(q_л+\gamma\right)\right]\cdot E\cdot H_{ч.т}, тм. \tag{4.11}$$

Тогда выражения (4.4) и (4.5) будут представлены в окончательном виде (4.12-4.15):

для рыхлого техногенного сырья

$$G=0{,}355\cdot\left(0{,}628+q_л+\gamma\right)\cdot E\cdot H_{ч.т}+0{,}644\cdot K_0\cdot K_э\cdot E+27, т; \tag{4.12}$$

$$N_с=0{,}635\cdot\left(0{,}628+q_л+\gamma\right)\cdot E\cdot H_{ч.т}+1{,}15\cdot K_0\cdot K_э\cdot E+8, кВт; \tag{4.13}$$

для мерзлого техногенного сырья

$$G=0{,}355\cdot\left(3{,}7+q_л+\gamma\right)\cdot E\cdot H_{ч.т}+27, т; \tag{4.14}$$

$$N_с=0{,}635\cdot\left(3{,}7+q_л+\gamma\right)\cdot E\cdot H_{ч.т}+8, кВт. \tag{4.15}$$

Выражения (4.12)-(4.15) позволяют получить стоимость машино-смены экскаваторов как функцию емкости их ковша и наибольшей высоты черпания (4.16-4.17):

для рыхлого техногенного сырья

$$C_{мс}=a_0\cdot E\cdot H_{ч.т}+a_0'\cdot E+a_1, руб/см; \tag{4.16}$$

для мерзлого техногенного сырья

$$C_{мс}'=a_0''\cdot E\cdot H_{ч.т}+a_1, руб/см. \tag{4.17}$$

Количественная связь зависимостей, установленных здесь и ниже, естественно, окажется справедливой для определенного промежутка времени, так как широкое внедрение новых прогрессивных материалов, улучшение конструктивных решений, а также изменение уровня цен могут вносить соответствующие коррективы.

Сменная производительность экскаваторов определяется по известной формуле (4.18):

$$Q_{см} = \frac{T \cdot Э \cdot \eta_э}{\gamma}, м^3 / см, \quad (4.18)$$

где T — продолжительность рабочей смены, *ч*,

$Э$ — техническая производительность экскаватора, *т/час*,

$\eta_э$ — коэффициент использования экскаватора во времени. Этот коэффициент при других равных условиях (прием — сдача смены, крепежный ремонт и др.) зависит от организации транспортного обслуживания и равен отношению чистой работы $t_п$ ко времени этой работы с учетом простоев по транспортным условиям $t_п + t_0$ (4.19).

$$\eta_э = \frac{t_п}{t_п + t_0} = \frac{1}{1 + \frac{t_0 \cdot Э}{Q_i}}, \quad (4.19)$$

где Q_i — грузоподъемность автосамосвала, *т*,

t_0 — продолжительность обмена транспорта в забое, *ч*.

Техническая производительность экскаваторов (4.20):

$$Э = \frac{3600 \cdot K_э \cdot \gamma \cdot E}{t_ц}, т / ч, \quad (4.20)$$

где $t_ц$ — продолжительность рабочего цикла экскаватора, *с*; время рабочего цикла для карьерных экскаваторов в конечном счете зависит от его линейных рабочих параметров и емкости ковша.

Исследование зависимости результативного признака от двух пли нескольких факториальных возможно при помощи уравнения множественной связи. При обработке данных исследования [39] при угле поворота экскаватора порядка 140° получено следующее уравнение связи (4.21):

$$t_ц = 0{,}8 \cdot E + 0{,}12 \cdot H_{ч.т} + 21, с. \quad (4.21)$$

После подстановки выражений (4.19), (4.20) и (4.21) в формулу (4.18) получаем (4.22):

$$Q_{см} = \frac{a_2 \cdot T}{0{,}12 \cdot \frac{H_{ч.т}}{E} + \frac{21}{E} \cdot \frac{a_2 \cdot t_0 \cdot \gamma}{Q_i} + 0{,}8}, м^3 / см. \quad (4.22)$$

Выражения (4.16), (4.17) и (4.22) позволяют определить затраты на погрузку как функцию влияющих факторов. При рыхлом техногенном сырье они определяются выражением (4.23):

для автомобильного транспорта

$$C_э^{/} = \frac{1}{a_2 \cdot T} \cdot \left\{ a_0 \cdot \left[0{,}8 \cdot E \cdot H_{ч.т} + 0{,}12 \cdot H_{ч.т}^2 + \left(21 + \frac{0{,}12 \cdot a_0^{//}}{a_0} \right) \cdot H_{ч.т} + a_2 \cdot t_0 \cdot \gamma \cdot \frac{E \cdot H_{ч.т}}{q_a} \right] + \right. \quad (4.23)$$

$$\left. + a_0^{/} \cdot \left(0{,}8 \cdot E + a_2 \cdot t_0 \cdot \gamma \cdot \frac{E}{q_a} \right) + a_1 \cdot \left(0{,}12 \cdot \frac{H_{ч.т}}{E} + \frac{21}{E} + a_2 \cdot t_0 \cdot \gamma \cdot \frac{1}{q_a} + 0{,}8 \right) + 21 \cdot a_0^{/} \right\}, руб / м^3.$$

При мерзлом техногенном сырье затраты на погрузку определяются из выражения (4.23). В этом случае коэффициент a_0 изменится на $a_0^{//}$, а $a_0^{/}$ равен нулю.

Себестоимость транспортировки определяется как сумма затрат из отношения стоимости машино-смены оборудования к его производительности в конкретных условиях и затрат на содержание резервного и вспомогательного оборудования и ремонтно-гаражного хозяйства. В затраты на транспортировку входят также амортизация забойных дорог и их содержание.

Определение себестоимости собственно автомобильных перевозок имеет некоторые отличительные особенности. Это объясняется тем, что затраты на все виды ремонтов и техническое обслуживание автомобилей согласно действующим положениям [67] устанавливаются в зависимости от пробега машины. Обработка данных исследования [39] с учетом новых норм амортизации позволила определить в перспективе эти расходы как функцию грузоподъемности автосамосвала с прямолинейной зависимостью вида (4.24-4.25):

для автосамосвалов

$$C_{г.а}^{/} = 6{,}19 \cdot q_a - 122, руб / 1000км; \quad (4.24)$$

для самосвалов-полуприцепов

$$C_{г.сп} = 4{,}83 \cdot q_a + 72, руб / 1000км. \quad (4.25)$$

Стоимость расхода горюче-смазочных материалов за один цикл работы автомашины можно установить по фактической работе, затрачиваемой на транспортирование грузов, по формуле (4.26):

$$a_г = 977 \cdot 10^{-6} \cdot C_г \cdot K_з \cdot K_{мн}\left[\left(1 + 2 \cdot K_{т.а}\right) \cdot L_0 \cdot \omega + H_0 \cdot \left(1 + K_{т.а}\right)\right] \cdot q_{а.и}, \text{ руб / рейс,} \quad (4.26)$$

где $C_г$-стоимость дизельного топлива, *руб/л*,

$K_з$ — коэффициент, учитывающий повышение расхода топлива в зимнее время,

$K_{мн}$-коэффициент, учитывающий расход топлива на маневры и внутригаражные нужды, а также расход масла,

$K_{т.а}$ — коэффициент тары автосамосвала,

$q_{а.и}$ — используемая грузоподъемность автосамосвала, *г*,

L_0 — длина откатки, *км*,

ω — средневзвешенное удельное сопротивление движению, *кГ/т*.

Сменная производительность автомашины определяется по формуле (4.27):

$$Q^а_{см} = \frac{T \cdot q_{а.и}}{T_р} = \frac{T \cdot q_{а.и}}{\gamma \cdot \left[\frac{1}{Э} + \frac{t_{дв} + t_{доп} + \tau_{раз}}{q_{а.и}}\right]}, м^3 / см, \quad (4.27)$$

где $T_р$ — продолжительность рейса, *ч*,

$t_{дв}$ — время движения автосамосвала в грузовом и порожняковом направлениях, *ч*,

$t_{доп}$- время подачи автосамосвала под погрузку, разгрузку и маневры в этих пунктах, *ч*,

$\tau_{раз}$ — продолжительность разгрузки автосамосвала, *ч*.

Используемая грузоподъемность $q_{а.и}$ при других равных условиях зависит от величины руководящего уклона. Последняя устанавливается из уравнения движения автомобиля на подъем по капитальной траншее (4.28):

$$q_{а.и} = \frac{270 \cdot N \cdot \eta_п \cdot \eta_к}{\upsilon_р \cdot \left(1 + K_{т.а}\right) \cdot \left(\omega_0 + i_р\right)}, m, \quad (4.28)$$

где N — мощность двигателя, *л.с.*,

$\upsilon_р$ — скорость движения на руководящем подъеме, *км/ч*,

$\eta_п$ — к.п.д. передачи от вала двигателя до движущих колес,

$\eta_к$ — к.п.д. ведущего колеса,

i_p — руководящий уклон, *‰*,

ω_0 — коэффициент сопротивления качению, *кГ/т*.

Мощность автосамосвалов находится в определенной зависимости от их нормальной грузоподъемности. Для ряда типоразмеров автосамосвалов, разработанного Белорусским автозаводом [61], эта зависимость имеет вид (4.29-4.30):

для самосвалов

$$N = 12{,}3 \cdot q_a + 28, л.с.; \tag{4.29}$$

для самосвалов-полуприцепов

$$N' = 12{,}3 \cdot q_a, л.с. \tag{4.30}$$

Следует заметить, что в [39] для большегрузных автосамосвалов приводится аналогичная корреляционная связь N на q_a.

После подстановки выражений (4.28), (4.29) и (4.30) в (4.27) сменная производительность будет (4.31-4.32):

для самосвалов

$$Q_{см}^a = \frac{T}{\gamma \cdot \left[\frac{1}{Э} + \frac{\upsilon_p \cdot (1 + K_{т.а}) \cdot (\omega_0 + i_p) \cdot (t_{дв} + t_{доп} + \tau_{раз})}{270 \cdot \eta_п \cdot \eta_к \cdot (12{,}3 \cdot q_a + 28)} \right]}, м^3 / см; \tag{4.31}$$

для самосвалов-полуприцепов

$$Q_{см}^a = \frac{T}{\gamma \cdot \left[\frac{1}{Э} + \frac{\upsilon_p \cdot (1 + K_{т.а}) \cdot (\omega_0 + i_p) \cdot (t_{дв} + t_{доп} + \tau_{раз})}{2160 \cdot q_a \cdot \eta_п \cdot \eta_к} \right]}, м^3 / см. \tag{4.32}$$

Расходы на транспортировку автосамосвалами определяются из выражений (4.24), (4.25), (4.26), (4.31) и (4.32) в виде (4.33):

$$C_{т.а} = \frac{\gamma \cdot (0{,}002 \cdot C'_{т.а} \cdot L_0 + a_г)}{q_{а.и}} + \frac{C_{а.с} \cdot П_а + З_а + C_{р.г}}{Q_{см}^a}, руб / м^3, \tag{4.33}$$

где $C_{а.с}$ — стоимость автосамосвала, *руб*,

$З_а$ — сменный фонд заработной платы, *руб*,

$П_а$ — амортизационные отчисления на полное восстановление автомобиля, *%/см*,

$C_{р.г}$ — стоимость содержания ремонтно-гаражного хозяйства на один самосвал, *руб/см*.

После преобразований стоимостное выражение транспортировки автосамосвалами будет (4.34):

$$C_m = \frac{1}{a_2 \cdot T} \cdot \left\{ 0{,}12 \cdot \frac{H_{ч.т}}{E} \cdot \left(a_{20} + a'_{20} \cdot q_a\right) + \frac{21}{E} \cdot \left(a_{20} + a'_{20} \cdot q_a\right) + 0{,}8 \cdot a'_{20} \cdot q_a + \frac{a_{21} \cdot \left(\omega_0 + i_p\right)}{12{,}3 \cdot q_a + 28} \cdot \right. \tag{4.34}$$

$$\left. \cdot \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} H_{ч.mi}}{i_p} \cdot \left(a_{22} \cdot q_a + a_{25}\right) + a_{24} \cdot q_a + a_{26} \right] + \frac{a'_{27} \cdot \sum_{i=1}^{n} H_{ч.mi}}{i_p} + a_{28} \cdot \sum_{i=1}^{n} H_{ч.mi} + a'_{28} \right\}, руб / м^3.$$

Для самосвалов-полуприцепов стоимостное выражение будет аналогичным предыдущему, но соответственно изменятся некоторые коэффициенты (вместо $12{,}3 \cdot q_a + 28$ надо $8 \cdot q_a$; вместо a_{26} надо a''_{26}).

Затраты на окупаемость капитальных вложений, приходящиеся на 1 м^3 техногенного сырья, можно определить из выражения (4.35):

для автомобильного транспорта

$$C_к^a = \frac{E_н}{m} \cdot \left[\frac{G \cdot C_э \cdot K_и \cdot \left(1 + K_{вс}\right) + C'_{а.д.} \cdot L}{Q_{см}} + \frac{G_a \cdot C_a \cdot K_{и.а} \cdot \left(1 + K_{р.г}\right)}{Q^a_{см}} \right], руб / м^3, \tag{4.35}$$

где $K_и$, $K_{и.л}$, $K_{и.д}$, $K_{и.а}$ — коэффициенты инвентарного парка экскаваторови автосамосвалов,

$K_{вс}$, $K_{в.л}$, $K_{р.г}$ — соотношение между суммарной стоимостью вспомогательного оборудования и ремонтной базы, приходящейся на единицу основного оборудования (экскаваторов и автомобилей), и стоимостью последнего,

$C_э$ — стоимость экскаватора на 1 т его рабочего веса, *руб*,

C_a — стоимость автосамосвала на 1 т его рабочего веса, *руб*,

G_a — собственный вес автосамосвала, *т*.

После несложных преобразований выражения (4.35) имеем при рыхлом техногенном сырье (4.36):

для автомобильного транспорта (автосамосвалов)

$$C_к^a = \frac{a_{54}}{a_2 \cdot T} \cdot \left[a_{55} \cdot H^2_{ч.т} + a_{56} \cdot E \cdot H_{ч.т} + a_{57} \cdot E + a_{58} \cdot H_{ч.т} + a''_{58} \cdot q_a + a_{59} \cdot \frac{E \cdot H_{ч.т}}{q_a} + a''_{59} \cdot \frac{H_{ч.т} \cdot q_a}{E} + a_{60} \cdot \frac{E}{q_a} + a_{61} \right. \tag{4.36}$$

$$+a''_{61}\cdot\frac{q_a}{E}+a_{62}\cdot\frac{1}{E}+a_{63}\cdot\frac{1}{q_a}+\frac{a_{21}\cdot(\omega_0+i_p)}{12{,}3\cdot q_a+28}\times\left(\frac{a_{64}\cdot\sum_{i=1}^{n}H_{ч.mi}}{i_p}+a_{65}\right)\cdot q_a+a_{66}\Bigg],руб/м^3.$$

Для самосвалов-полуприцепов в выражении (4.36) знаменатель $12{,}3\cdot q_a+28$ изменится на $8\cdot q_a$.

При мерзлом техногенном сырье при автомобильном транспорте в этом случае в функции (4.36) $a_{55},a_{56},a_{58},a_{59},a_{66}$ изменяются на a_i, $i=55{,}56{,}58{,}59{,}66$, и $a_{57},a_{60}=0$.

Затраты на окупаемость капитальных вложений (4.37):

$$C^{к}_{тр}=\frac{a_{54}}{Q_{кар}}\cdot\left[C'_{тр}\cdot\left(\frac{A}{i_p}\pm C\right)+\frac{C_{ж.д}\cdot K\cdot K_y\cdot\sum_{i=1}^{n}H_{ч.mi}}{i_p}\right],руб/м^3. \quad (4.37)$$

Общие затраты на капитальные выработки, отнесенные к 1 м^3 техногенного сырья, составляют (4.38):

$$C_{тр}=\frac{1}{i_p}\cdot\left(A\cdot a_{68}+a_{69}\cdot\sum_{i=1}^{n}H_{ч.mi}\right)+a_{70},руб/м^3. \quad (4.38)$$

Суммируя выражения (4.23), (4.34), (4.36), (4.38), получаем целевые функции для автомобильного транспорта (4.39):

$$C_a=\frac{1}{a_2\cdot T}\cdot\Big\{C_{27}\cdot H^2_{ч.т}+C_{28}\cdot E\cdot H_{ч.т}+C_{29}\cdot E+C_{30}\cdot H_{ч.т}+C_{31}\cdot q_a+C_{32}\cdot\frac{E\cdot H_{ч.т}}{q_a}+C_{33}\cdot\frac{q_a\cdot H_{ч.т}}{E}+C_{34}\cdot\frac{E}{q_a}+ \quad (4.39)$$

$$+C_{35}\cdot\frac{H_{ч.т}}{E}+C_{36}\cdot\frac{q_a}{E}+C_{37}\cdot\frac{1}{E}+C_{38}\cdot\frac{1}{H_{ч.т}}+C_{39}\cdot\frac{1}{q_a}+\frac{a_{21}\cdot(\omega_0+i_p)}{12{,}3\cdot q_a+28}\cdot\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}H_{ч.mi}}{i_p}\cdot\left(C_{40}\cdot q_a+a_{25}\right)+C_{41}\cdot q_a+\right.$$

$$\left.+a_{26}\right]+\left(A\cdot C''_{25}+C_{42}\cdot\sum_{i=1}^{n}H_{ч.mi}\right)\cdot\frac{1}{i_p}+a_{28}\cdot\sum_{i=1}^{n}H_{ч.mi}+C_{43}\Big\},руб/м^3=min.$$

Ограничения на независимые переменные, вызываемые техническими предпосылками, предусматривают получение в конечном результате возможных (для современного уровня техники и ближайшей перспективы) рабочих параметров погрузочного и транспортного оборудования при нормальных конструктивных соотношениях между емкостью ковша и линейными параметрами экскаваторов.

Ограничения на возможные пределы независимых переменных (4.40-4.44):

$$b \le E \le b_1;\ c \le H_{ч.т} \le c_1;\ d \le Q_1 \le d_1;\ k \le q_a \le k_1;\ l \le i_p \le l_1. \qquad (4.40\text{-}4.44)$$

При отсутствии точных количественных соотношений между $H_{ч.т}$ и E для ориентировочных расчетов можно воспользоваться ограничением (4.45):

$$H_{ч.т} \ge 1{,}8 \cdot \sqrt[3]{G}, м. \qquad (4.45)$$

Рабочий вес карьерных экскаваторов, как это было показано выше, с достаточной степенью точности можно определить по формулам (4.46-4.50):

при разработке рыхлого техногенного сырья

$$G = b_0 \cdot E \cdot H_{ч.т} + b' \cdot E + 27, т; \qquad (4.46)$$

при мерзлом техногенном сырье

$$G = b_2 \cdot E \cdot H_{ч.т} + 27, т, \qquad (4.47)$$

где

$$b_0 = 0{,}355 \cdot (0{,}628 + q_л + \gamma); \qquad (4.48)$$

$$b' = 0{,}644 \cdot K_0 \cdot K_в; \qquad (4.49)$$

$$b_2 = 0{,}355 \cdot (3{,}7 + q_л + \gamma). \qquad (4.50)$$

Получаем в окончательном виде (4.51-4.52):

для рыхлого техногенного сырья

$$H^3_{ч.т} - 5{,}82 \cdot (b_0 \cdot E \cdot H_{ч.т} + b' \cdot E) \ge 157{,}4; \qquad (4.51)$$

для мерзлого техногенного сырья

$$H^3_{ч.т} - 5{,}82 \cdot b_2 \cdot E \cdot H_{ч.т} \ge 157{,}4. \qquad (4.52)$$

По технологическим соображениям необходимо сохранить нормальное соотношение между емкостью ковша экскаватора E и транспортного сосуда $V_т$ (4.53):

$$\frac{V_т}{E} \ge 4, \qquad (4.53)$$

В условиях разработки техногенных месторождений, разрабатываемые на всю мощность, вводится дополнительное требование на полноту выемки по мощности (4.54):

$$H_п = K_у \cdot \sum_{i=1}^{n} H_{ч.тi}, \qquad (4.54)$$

где $H_п$ — мощность техногенного сырья, *м*.

При выборе рациональных параметров оборудования из существующего ряда типоразмеров решение задачи значительно упрощается. Это объясняется, во-первых, наличием всех необходимых исходных данных для решения задачи и, во-вторых, ограниченным числом элементов, из которых можно составить сочетания. В этом случае решение задачи обусловлено либо совокупным выбором экскаватора и транспортного оборудования, либо выбором для заданного типа экскаватора рациональной грузоподъемности транспорта или его вида и мощности.

Совокупный выбор экскаватора и средств транспорта из существующих рядов можно осуществить одним из двух способов:

1) определить рациональный тип экскаватора и мощность транспортного оборудования из общей модели производственного процесса и принять ближайшие из существующих типоразмеров;

2) перебирая существующие типы погрузочного и транспортного оборудования, установить рациональные их сочетания.

В последнем случае представляется возможным получить целевую функцию в виде (4.55-4.57):

для автомобильного транспорта

$$C_a = \frac{\gamma}{T}\cdot\left[\frac{V_p\cdot(1+K_{TA})\cdot(\omega_0+i_p)}{270\cdot\eta_{\Pi}\cdot\eta_K\cdot N}\cdot\left\{\left[a_{76}+\frac{C'_{ad}\cdot L}{\eta_{\Э}}\cdot\left(\Pi'_{ad}+a_{54}\right)\right]\cdot t_0+a_{77}\cdot\left(t_{dв}+t_{don}+\tau_{раз}\right)+\right\}+\right.$$
$$\left.+T\cdot\left(0{,}002\cdot C_{MCa}\cdot L_0+a_{\Г}\right)\right\}+$$
$$\left.+\frac{1}{\Э}\cdot\left(a_{76}+a_{77}\right)\right]+ \quad , \ руб/м^3 \quad (4.55)$$
$$+\left(A\cdot a_{68}+a_{69}\cdot\sum_{i=1}^{n}H_{чm_i}\right)\cdot\frac{1}{i_p}+a_{70}=min$$

где

$$a_{76}=\frac{1}{\eta_{\Э}}\cdot\left[C_{MC}+C_{B\Э}+\left(K_{И}-1\right)\cdot\left(C_{\Э P}+C_{B\Э P}\right)+a_{54}\cdot K_{И}\cdot\left(C_{П\Э}+C'_{B\Э}\right)\right] \quad (4.56)$$

$$a_{77}=\frac{1}{\eta_{T}}\cdot\left[C^{a}_{MC}+K_{Иa}\cdot C_{P\Г}+\left(K_{И}-1\right)\cdot C_{PA}+a_{54}\cdot K_{Иa}\cdot\left(C_{AC}+C'_{P\Г}\right)\right] \quad (4.57)$$

$C^{\Э}_{MC}$ — стоимость машино-смены экскаватора, *руб*,

C^{a}_{MC}, C_{MCa} — составляющая стоимости машино-смены автосамосвала, не зависящая и зависящая от пробега, *руб*,

$C_{ПЭ}$, $C_{АС}$ — стоимость экскаватора и автосамосвала, *руб*,

$C_{РГ}$, $C'_{РГ}$ — стоимость ремонтно-гаражного хозяйства и затраты на его содержание на один автомобиль, *руб и руб/см*,

$C_{ВЭР}$ — стоимость содержания резервного вспомогательного оборудования на один экскаватор, *руб см*,

$C_{ЭР}$, $C_{АР}$ — стоимость содержания резервных экскаватора и автосамосвала, *руб/см*,

$C'_{ад}$ — стоимость 1 пог. м автодорог, *руб*,

$a_{Г}$ — стоимость горюче-смазочных материалов за один рейс автосамосвала, *руб*,

$П'_{ад}$ — сменные затраты на полное восстановление и все виды ремонтов в процентах от стоимости автодорог,

$Э$ — техническая производительность карьерного экскаватора, т/час,

H — высота уступа, *м*,

$\eta_э, \eta_Т$ — коэффициент использования рабочей смены погрузочного и транспортного оборудования.

Рациональный вид и мощность транспортного оборудования для заданной модели экскаватора устанавливаются по целевой функции при постоянном значении величин, характеризующих экскаватор.

При выборе оборудования из существующих рядов типоразмеров машин вводятся ограничения, вытекающие из условий обеспечения требуемой интенсивности горных работ, нормального соотношения между емкостями ковша экскаватора и транспортного сосуда (4.58):

$$\frac{V_Т}{E} \geq 4; \frac{a_{75}}{q} = n \qquad (4.58)$$

В представленном выше виде математические модели пригодны для решения задач выбора параметров основного оборудования цикличного действия и элементов транспортной системы разработки.

Расчеты основных технико-экономических показателей приведены в таблицах 4.1-4.2.

Таблица 4.1 – Смета эксплуатационных затрат по разработке хвостохранилища

Элементы затрат	Всего при годовой производительности, млн.т				На 1 т хвостов, руб.			
	1	1,5	2	2,5	1	1,5	2	2,5
мерзлое техногенное сырье								
Зар. плата в т.ч., тыс. руб/год	3634,9	4233,3	5591,8	6640,5	3,63	2,82	2,80	2,66
основная з/п, тыс. руб/год	3629,8	4227,3	5583,2	6628,6	3,63	2,82	2,79	2,65
дополнительная з/п, тыс. руб/год	5,1	6,01	8,58	11,8	0,01	0,00	0,00	0,00
Отчисления из з/п, тыс. руб/год	1384,9	1612,9	2130,5	2530,0	1,38	1,08	1,07	1,01
Вспомогательные материалы, тыс. руб/год	8089,8	11326,9	14560,7	17797,8	8,09	7,55	7,28	7,12
Амортизация основных средств, тыс. руб/год	4704,0	6846,0	8694,0	10836,0	4,70	4,56	4,35	4,33
Текущий ремонт, тыс. руб/год	126,0	168,0	238,0	280,0	0,13	0,11	0,12	0,11
Итого:	21574,4	28420,4	36806,8	44724,7	21,57	18,95	18,40	17,89
Рыхлое техногенное сырье								
Зар. плата в т.ч.	2406,28	3142,9	4854,5	5591,8	2,41	2,10	2,43	2,24
основная з/п, тыс. руб/год	2403,7	3139,1	4847,8	5583,2	2,40	2,09	2,42	2,23
дополнительная з/п, тыс. руб./год	2,58	3,8	6,3	8,58	0,00	0,00	0,00	0,00
Отчисления из з/п, тыс. руб/год	916,8	1197,4	1849,6	2130,5	0,92	0,80	0,92	0,85
Вспомогательные материалы, тыс. руб/год	4035	6077,9	8070	10112,9	4,04	4,05	4,04	4,05
Амортизация основных средств, тыс. руб/год	3386	4814	7486	8914	3,39	3,21	3,74	3,57

Продолжение таблицы 4.1

Элементы затрат	Всего при годовой производительности, млн.т				На 1 т хвостов, руб.			
	1	1,5	2	2,5	1	1,5	2	2,5
Текущий ремонт, тыс. руб/год	109	137	232	260	0,11	0,09	0,12	0,10
Итого:	13259	18512	27346	32601	13,26	12,34	13,67	13,04

Таблица 4.2 – Экономика деятельности предприятия по разработке хвостохранилищ ЛГОКа

Наименование показателя	Ед. изм.	Базовый вариант (ЛГОК) из карьера	При годовой производительности по хвостам с управляемым сегрегационным процессом, млн. т			
			валовая выемка	1,5	2	2,5
Капитальные вложения по разработке хвостохранилищ	млн.руб	–	362,80	426,53	503,19	588,88
Производительность по концентрату	тыс.т	–	160	240	320	400
Содержание железа в концентрате	%	68,4	60	60	60	60
Стоимость 1 т концентрата	руб./т	2586,7	541,01	652,67	785,94	969,25
ЛГОК	млн.руб	–	253,87	380,81	507,74	634,68
Хвостохранилище	млн.руб	–	70,56	135,04	203,50	271,70
Годовая экономия себестоимости	млн.руб	–	183,31	245,77	304,24	362,98
Балансовая прибыль	млн.руб	–	138,06	254,38	369,01	483,96
Налог на имущество (2,2%)	млн.руб	–	7,98	9,38	11,07	12,96
Налог на добычу (26%)	млн.руб	–	0,26	0,39	0,52	0,65
Налог с владельцев транспортных средств	млн.руб	–	0,42	0,63	0,77	0,98
Налог на прибыль (24%)	тыс.руб	–	33,14	61,05	88,56	116,15
Чистая прибыль	млн.руб		129,40	443,98	556,65	669,37
Годовые амортизационные отчисления	млн.руб	–	29,71	36,10	42,92	50,88
Экономический эффект	млн.руб	–	159,11	580,08	799,58	920,25
Срок окупаемости	лет	–	2,3	1,5	1,3	1,1
Общая рентабельность	%	–	54,4	69,8	76,7	83,3

Таким образом, математическое моделирование разработки техногенного месторождения и расчет технико-экономических показателей (таблицы 4.1-4.2) показали взаимосвязь параметров горно-транспортного оборудования и физико-механических свойств техногенного сырья, а также получен экономический эффект от освоения техногенного месторождения в 920 млн. руб со сроком окупаемости в 1,1 год, что обусловлено делением сырья на секции по качеству.

4.4 Выводы по 4 главе

1. В современных условиях активного развития горнодобывающей промышленности наблюдается широкое внедрение строгих количественных методов и компьютерных технологий для оптимизации процессов добычи полезных ископаемых. Это позволит повысить рентабельность отработки техногенных месторождений на 133 % за счет того, что экономическая эффективность открытых разработок во многом зависит от выбора рациональных параметров горного и транспортного оборудования.

2. Исследования показывают, что установление рациональных параметров экскаватора должно основываться на совокупном анализе факторов, главнейшими из которых являются: физико-механические свойства техногенного сырья, глубина и интенсивность отработки, вид и мощность транспортного оборудования, продолжительность его обмена, уровень цен на оборудование, материалы и энергию.

3. Системный подход к выбору оборудования, учитывающий не только технические, но и экономические аспекты, а также требования кратности грузоподъемности, является ключевым элементом оптимизации процессов открытых горных работ.

4. Использование математического моделирования процессов горного производства с последующим решением моделей на компьютере методами линейного и нелинейного программирования представляет собой перспективный и эффективный инструмент для принятия обоснованных решений в области открытых разработок месторождений полезных ископаемых.

5. Экономический эффект от освоения сформированного техногенного месторождения,представленного железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА, по технологии управляемого сегрегационного процесса может составить 920 млн.рубл при годовой производительности в 2,5 млн.т/год и сроком окупаемости в 1,1 год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предлагается решение актуальной задачи – разработки посекционной технологии формирования и освоения техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА, позволяющей повысить полноту извлечения полезного компонента и тем самым экономическую привлекательность освоения техногенных месторождений.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В контурах горных отводов ГОКов КМА в настоящее время валовозаскладировано около 1500 млн. $м^3$ отходов обогащения без четко отчерченных границ сортности техногенного сырья, содержащих значительное количество железа, кремния и даже меди, цинка, золота. Хвостохранилищами занято 43 % площади земель, которые дошли до проектных показателей заполнения, что обосновывает необходимость формирования новых емкостей по совершенно новому принципу с учетом управления сегрегационным процессом для дальнейшей высокоэффективной отработки.

2. Предложенная технология формирования техногенного месторождения включает в себя создание дамбы и перегородок из скальной вскрыши, которые делят месторождение на секции. Укладка сырья в секции осуществляется рассредоточенным выпуском в каждую секцию трубами с крупной (богатой) фракцией и с мелкой (бедной) фракцией техногенного сырья. Искусственный сегрегационный процесс складирования техногенного сырья различной крупности возможен за счет установки в тело потока техногенного сырья сплошной навивки, что на 25 % увеличивает значение осевой составляющей скорости в центральной части за счет ее снижения в пристеночной области трубопровода, и способствует его управлению.

3. Разработанная физическая модель по управлению сегрегационным процессом и проведенные экспериментальные исследования показали, что навивание потока при сохранении неизменной средней скорости транспортирования позволяет разделять поток по крупности и плотности частиц с

вероятностью выделения мелкого класса -3,1+0 мм 88 % при шаге навивки равном диаметру трубопровода. Среднее содержание полезного компонента в секциях повысится не менее чем на 3-5 %.

4. Состав, направленный на изолирование добычных участков от внешних осадков, основанный на ацетате кальция, кремниевой кислоты, молочной кислоты, обладает улучшенной адгезией до 8 МПа и пределом прочности при одноосном сжатии от 0,3 до 1,84 МПа. Это достигается путем добавления гидроксипропилметилцеллюлозы.

5. Предлагаемая технология освоения посекционного техногенного месторождения включает в себя экранирование заполненных секций разработанным составом от внешних осадков для сохранения влажности хвостов обогащения 15 %, размещение гидравлических экскаваторов типа обратная лопата (или экскаваторов драглайнов) на скальных перегородках друг напротив друга, производство горных работ в пределах секций шириной 21 м, высотой 12 м, что позволяет обеспечить сокращение потерь полезного компонента не менее чем на 10-15 % и повысить производительность выемочно-погрузочного оборудования не менее чем на 10 %.

6. Экономический эффект от освоения сформированного посекционно техногенного месторождения, представленного железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА, составляет 920 млн. рубл. при годовой производительности в 2,5 млн.т/год и сроком окупаемости в 1,1 год.

Дальнейшее развитие темы диссертации предполагает широкое применение разработанных технологий на действующих и проектируемых горнодобывающих предприятиях, в научно-исследовательских организациях, а также в развитии фундаментальных основ формирования и разработки техногенных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, В.С. Особенности техногенного золота отвальных комплексов соловьевского золотоносного узла / В.С. Алексеев, Т.С. Банщикова, Е.В. Алексеева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2021. - №7. - С. 134-145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_134.

2. Аналитические методы исследования и математическое моделирование горных процессов. Под ред. проф. Ржевского В.В. Госгортехиздат, 1963.

3. Аргимбаев, К.Р. Обоснование технологии открытой разработки железосодержащих техногенных месторождений на примере хвостохранилищ ГОКов КМА / К.Р. Аргимбаев: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22. – СПб., 2013. – 135.

4. Аргимбаев, К.Р. Промышленные отходы горного производства и их использование на примере Лебединского ГОКа / К.Р. Аргимбаев // Молодой ученый. — 2011. — №6, Том №1. — С. 12–15.

5. Аргимбаев, К.Р. Разработка хвостохранилища – запас минерально-сырьевого комплекса России / К.Р. Аргимбаев // Экономика, управление, финансы: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Пермь, июнь 2011 г.). / Под общ. ред. Г. Д. Ахметовой. — 2011. — С. 8–11.

6. Аргимбаев, К.Р. Типы и закономерности формирования складов полезного ископаемого и хвостохранилищ / К.Р. Аргимбаев, Д.А. Иконников // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник научных трудов XII международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: Политехнический университет. – 2011. – Том № 2. – С. 308–310.

7. Аргимбаев, К.Р. Исследование винтовой сплошной навивки при формировании техногенного месторождения / К.Р. Аргимбаев, Д.Н. Лигоцкий, **К.В. Миронова** // Горн. информ.-аналит. бюлл. - 2019. - №S31.- С. 3–8. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-8-31-3-8.

8. Аргимбаев, К.Р. Технология формирования техногенного месторождения и определение параметров потерь, возникающих при ведении горных работ с использованием шагающего экскаватора. – Изд-во «Горная книга» / К.Р. Аргимбаев, Д.Н. Лигоцкий, **К.В. Миронова**, М.О. Бовдуй // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2018. – №5. – С. 35–42. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-35-42.

9. Аргимбаев, К.Р. Компьютерное моделирование винтовой сплошной навивки при формировании техногенного месторождения / К.Р. Аргимбаев, Е.В. Логинов, **К.В. Миронова** // Горный информационно-аналитический бюллетень — 2019. — №S31, стр. 9-15. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-8-31-9-15.

10. Аргимбаев, К.Р. Инновационная технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых / К.Р. Аргимбаев, **К.В. Миронова** // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 28 октября - 01 ноября 2019 г. — М: ИПКОН РАН, 2019, стр. 193-196.

11. Аргимбаев, К.Р. Методы ликвидации потерь и оптимизация процессов открытых горных работ при отработке техногенного месторождения / К.Р. Аргимбаев, **К.В. Миронова**, М.О. Бовдуй // Проблемы недропользования. — 2017. — №3. — С. 70-77.

12. Аргимбаев, К.Р. Способы возведения первичной дамбы обвалования хвостохранилища и обоснование технологических параметров картового намыва, на примере Лебединского горно-обогатительного комбината / К.Р. Аргимбаев, **К.В. Миронова**, М.О. Бовдуй // Молодой ученый. — 2016. — №16. — С. 59-62.

13. Аргимбаев, К.Р. Расчет безопасной высоты добычного забоя при разработке хвостохранилищ / К.Р. Аргимбаев, Г.А. Холодняков // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». – 2011. – №5. – С. 9.

14. Аргимбаев, К.Р. Исследование устойчивости уступа сложенного сыпучим материалом при его отработке гидравлическим экскаватором типа

«обратная лопата» / К.Р. Аргимбаев, Г.А. Холодняков, Д.А. Иконников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №9. – С. 114–117.

15. **Аргимбаева, К.В.** Особенности формирования техногенных месторождений / К.В. Аргимбаева, Д.Н. Лигоцкий // Материалы XXII всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, с международным участием в г. Нерюнгри, посвященной 30-летнему юбилею технического института (филиала) СВФУ им. М.К. Аммосова. – 2022, стр. 120-122.

16. **Аргимбаева, К.В.** Рационализация работы одноковшовых экскаваторов / К.В. Аргимбаева, Д.Н. Лигоцкий // Рациональное освоение недр. – 2022, №5-6. DOI: 10.26121/RON.2022.68.81.006.

17. **Аргимбаева, К.В.** Установление взаимосвязи технологических параметров гидравлических экскаваторов с параметрами добычного забоя хвостохранилища / К.В. Аргимбаева, Д.Н. Лигоцкий // Рациональное освоение недр. – 2022, №2, стр. 56-60. DOI:10.26121/RON.2022.29.73.007.

18. **Аргимбаева, К.В.** Формирование техногенных месторождений и методы сокращения потерь при добыче шагающими экскаваторами / К.В. Аргимбаева, Д.Н. Лигоцкий // Сборник материалов «III международного форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков «Проблемы горного дела» 6-7 апреля 2023 года (г. Донецк)». – 2023. – С. 51-54.

19. **Аргимбаева, К.В.** Формирование техногенных месторождений, представленных хвостами обогащения / К.В. Аргимбаева, Д.Н. Лигоцкий // Сборник материалов «IV международного форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков «Проблемы горного дела» 28-29 ноября 2024 года (г. Донецк)». – 2024. – С. 40-42.

20. Бортникова, С.Б. Гидрохимические и газовые аномалии на сульфидном хвостохранилище (Салаир, Кемеровская область) / С.Б. Бортникова, Н.В. Юркевич, А.В. Еделев, О.П. Саева, С.П. Грахова, С.С. Волынкин, Ю.Г. Карин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг

георесурсов. - 2021. - №2, Том №332. - С. 26–35. DOI: 10.18799/24131830/2021/02/3040.

21. Бураков, А.М. Обоснование методики оценки прогнозных ресурсов техногенных россыпей Якутии / А.М. Бураков, И.С. Касанов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2019. - №9. - С. 168-183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-168-183.

22. Бурмистров, К.В. Выбор комплексов оборудования для производства выемочно-погрузочных работ в стесненных условиях нижних горизонтов карьеров / К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, К.Р. Аргимбаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2010. – №1. – С. 12–15.

23. Виницкий, К.Е. Расчетные основы экскаваторных работ / К.Е. Виницкий. – В сб. «Техника и технология открытых горных работ». Углетехиздат, 1959.

24. Виницкий, К.Е. Математическое моделирование параметров систем открытой разработки месторождений / К.Е. Виницкий, Э.И. Реентович. – Москва: Наука, 1965. – 88 с.

25. Висбек, Р.О. Об эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов / Р.О. Висбек, В.А. Козаков, Т.Е. Удачина // Горная промышленность. – 1998. – № 5. – С. 11–14.

26. Голик, В.И. Эколого-экономические аспекты ресурсосбережения при разработке месторождений полезных ископаемых / В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, В.Г. Лукьянов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2017. - №6, Том 328. - С. 18-27.

27. Горлова, О.Е. Техногенные месторождения полезных ископаемыхм / О.Е. Горлова: Учеб. пособие. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2001. – 77 с.

28. Гридина, Е.Б. Обоснование технико-экономической целесообразности открытой разработки техногенных месторождений / Е.Б. Гридина // Проблемы

машиноведения и машиностроения: Межвуз. сб. науч. Трудов. – 2001. – Вып. 22. –С. 145–154.

29. Домбровский, Н.Г. Землеройные машины, ч. 1. Одноковшовые экскаваторы / Н.Г. Домбровский, С.А. Панкратов.: Госстройиздат, 1961.

30. Ефремов, Е.Ю. Анализ процесса деформирования грунтовой дамбы при заполнении чаши хвостохранилища / Е.Ю. Ефремов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2021. - №6, Том 332. - С. 178–185. DOI: 10.18799/24131830/2021/6/3248.

31. Коняев, В.П. Техногенное минеральное сырье России и направление его использования / В.П. Коняев, Л.А. Крючкова, Е.С. Туманова. – М.: Недра, 1994. – 220 с.

32. Крупская, Л.Т. Техногенные поверхностные образования как источник загрязнения экосферы и обоснование возможности их освоения в дальневосточном федеральном округе / Л.Т. Крупская, В.П. Зверева, Г.Ф. Склярова, А.М. Орлов // Горн. информ.-аналит. бюлл. - 2021. - №2. - С. 5-21. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-5-21.

33. Лобанов, Н.Я. Рациональное использование недр и охрана окружающей среды / Н.Я. Лобанов: Межвуз. сб. науч. трудов. – СПб.: СПГГИ (ТУ), 1995. – С. 85.

34. Макаров, В.А. Актуальные вопросы оценки и освоения техногенных месторождений золота: Золото и технологии / В.А. Макаров. - 2018. - №4 (42).

35. Маляров, И.П. Способы отработки техногенных месторождений Урала / И.П. Маляров, Л.З. Биишев, Р.М. Габитов // Развитие сырьевой базы промышленных предприятий Урала. – Магнитогорск: МГМА, 2000. – 80 с.

36. Математическая энциклопедия. – М.: Недра, 1984 – 865 с.

37. Мельников, Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. 4-е изд., перераб. и доп. / Н.В. Мельников. – М.: Недра, 1982. – 414 с.

38. Мельников, Н.В. Открытые горные работы / Н.В. Мельников. – М.: Недра, 1972. – 301 с.

39. Мельников, Н.В. Основы поточной технологии открытой разработки

месторождений / Н.В. Мельников, К.Е. Виницкий, М.Г. Потапов. Изд-во АН СССР, 1962.

40. Мельников, Н.Н. Опыт и перспективы применения карьерных гидравлических экскаваторов / Н.Н. Мельников, Б.И. Сатовский, Л.С. Скобелев, В.М. Штейнцайг. – М.: Изд. ИГД, 1980. – 430 с.

41. Методика определения экономической эффективности внедрения новой техники, механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности. Изд. АН СССР, 1962.

42. **Миронова, К.В.** Технология формирования перспективных участков техногенного месторождения / К.В. Миронова // XIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов 15-17 апреля 2020 г.: Тезисы докладов / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2020. - С. 172.

43. **Миронова, К.В.** Методы сокращения потерь при отработке сформированного посекционно техногенного месторождения / К.В. Миронова, К.Р. Аргимбаев. Опыт прошлого – взгляд в будущее: 8-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. - С. 56-61.

44. **Миронова, К.В.** Методы сокращения потерь при отработке сформированного посекционно техногенного месторождения / К.В. Миронова, К.Р. Аргимбаев. Сборник докладов XI Всероссийской конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» 7-9 ноября 2018 г. / Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Пермь, 2018. - С. 358-341.

45. **Миронова, К.В.** Методы сокращения потерь при отработке сформированного посекционно техногенного месторождения / К.В. Миронова, К.Р. Аргимбаев. Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса: Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции 27-28 сентября 2018 г. / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2018. - С. 1198-1203.

46. **Миронова, К.В.** Технология формирования перспективных участков техногенного месторождения / К.В. Миронова, К.Р. Аргимбаев // Сборник научных трудов II Международного Форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, посвященного 100-летию ДонНТУ. – 2021. – С. 100-103.

47. **Миронова, К.В.** Методы сокращения потерь и снижение разубоживания при отработке сформированного посекционно техногенного месторождения / К.В. Миронова, Д.Н. Лигоцкий // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса: Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции 05-06 марта 2020 г. / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2020. - С. 1200-1207.

48. Мосейкин, В.В. Геолого-экологические и ресурсосберегающие аспекты исследований хвостохранилища «КОО предприятия ЭРДЭНЭТ» / В.В. Мосейкин, М.С. Харитонова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2020. - №5. - С. 40-53. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-40-53.

49. Немчинов, В.С. Экономико-математические методы и модели / В.С. Немчинов. Соцэкгиз, 1962.

50. Новожилов, В.В. Измерение затрат и их результатов в социалистическом хозяйстве / В.В. Новожилов. – В сб. «Применение математики в экономических исследованиях». Соцэкгиз, 1959.

51. Патент № 2177548 Российская Федерация, МПК E21C 41/32. Способ разработки хвостохранилищ. Заявка №2000109645/03. Дата регистрации: 17.04.2000. Авторы: Н.В. Ковтун, Д.Ю. Минаев, Ю.Л. Минаев. Заявитель: Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет). – 12 с. : 2 ил.

52. Патент № 2182964 Российская Федерация, МПК E21B 43/28. Способ создания техногенных месторождений. Заявка № 96107711/03. Дата регистрации: 16.04.1996. Авторы: К.Н. Трубецкой, А.В. Воробьев, В.К. Бубнов. Заявитель: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва. – 12 с. : 1 ил.

53. Патент № 2661510 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01E02B 7/06 (2006.01). Способ формирования и разработки техногенного месторождения и устройство для его осуществления. Заявка №2017127605. Дата приоритета: 01.08.2017. Дата регистрации: 17.07.2018. Авторы: К.Р. Аргимбаев, **К.В. Миронова**, П.К. Подлесный, М.О. Бовдуй. Заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 12 с. : 9 ил.

54. Патент № 2699097 Российская Федерация, МПК E21C 41/26. Способ формирования техногенного месторождения и его последующей отработки. Заявка №2019112392. Дата регистрации: 23.04.2019. Авторы: Н.Г. Барнов. Заявитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – 12 с. : 3 ил.

55. Патент № 2775024 Российская Федерация, МПК C04B 28/02 (2006.01), C04B 24/04 (2006.01), C04B 16/06 (2006.01). Состав для изоляции пород и отходов от внешнего воздействия. Заявка №2021137254. Дата приоритета: 16.12.2021. Дата регистрации: 27.06.2022. Авторы: К.Р. Аргимбаев, **К.В. Аргимбаева**. Заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 9 с. : 3 ил.

56. Понурова, И.К. Защита природной среды на основе рациональной технологии консервации отходов обогащения на Михайловском ГОКе / И.К. Понурова: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36. - СПб., 2007. - 250 с.

57. Романова, О.А. Методы определения эколого-экономической эффективности переработки техногенных образований Урала / О.А. Романова, Д.В. Сиротин // Экономика региона. - 2021. - №1, Том 17. - С. 59-71. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-1-5.

58. Рыльникова, М.В. Классификация техногенных георесурсов в свете перспектив комплексного освоения рудных месторождений / М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, В.В. Экс // Горн. информ.-аналит. бюлл. - 2012. - №2. - С. 318-324.

59. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016662579 Российская Федерация. Определение параметров добычного забоя при разработке хвостохранилищ. Заявка №2016660269. Дата приоритета: 03.10.2016. Дата регистрации: 15.11.2016. Авторы: К.Р. Аргимбаев, **К.В. Миронова**, М.О. Бовдуй. Заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 416 Кб.

60. Силютин, С.А. Основные положения классификации твердых отходов добычи и переработки углей как источника неблагоприятного воздействия на окружающую среду при их хранении и технологического сырья в процессах утилизации / С.А. Силютин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2018. - №1. - С. 5-11. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-5-11.

61. Сироткин, З.Л. Большегрузные автомобили для горнодобывающей промышленности / З.Л. Сироткин, А.В. Зотов // Горный журнал. - №1. - 1963.

62. Томаков, П.И. Рациональное землепользование при открытых горных разработках / П.И. Томаков, В.С. Коваленко. – М.: Недра, 1984. – 213 с.

63. Трубецкой, К.Н. Методология и основные направления развития горных наук / К.Н. Трубецкой // Горн. информ.-аналит. бюлл. - 1996. - №1. - С. 4-14.

64. Трубецкой, К.Н. Патент на изобретение СССР №1642016. «Послойная технология разработки хвостохранилищ траншеями». – 1991.

65. Трубецкой, К.Н. Комплексное освоение техногенных месторождений / К.Н. Трубецкой, В.Н. Уманец // Горный журнал. - 1992. - №1. - С. 12-16.

66. Трубецкой, К.Н. Классификация техногенных месторождений, основыне категории и понятия / К.Н. Трубецкой, В.Н. Уманец, М.Б. Никитин // Горный журнал. - 1989. - №12. - С. 6-9.

67. Филиппов, П.Р. Новые нормы амортизации / П.Р. Филиппов. Экономиздат, 1963.

68. Холодняков, Г.А. Способ разработки полусухих железосодержащих хвостохранилищ / Г.А. Холодняков, К.Р. Аргимбаев // Форум горняков – 2011: материалы международной научно-практической конференции. – 2011. – С. 33–37.

69. Холодняков, Г.А. Выемочно-погрузочное оборудование для разработки полусухих хвостохранилищ / Г.А. Холодняков, К.Р. Аргимбаев, Д.А. Иконников // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: труды 9-ой международной научно-практической конференции. – 2011. – Том №1. – С. 141–144.

70. Холодняков, Г.А. Определение физико-механических свойств хвостов железосодержащих хвостохранилищах / Г.А. Холодняков, К.Р. Аргимбаев, Д.А. Иконников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №5. – С. 82–84.

71. Холодняков, Г.А. Хвостохранилища ГОКов – перспективные техногенные месторождения / Г.А. Холодняков, К.Р. Аргимбаев, Д.А. Иконников // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: труды 9-ой международной научно-практической конференции. – 2011. – Том №1. – С. 145–147.

72. Холодняков, Г.А. Определение высоты добычного забоя при разработке хвостохранилищ гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» / Г.А. Холодняков, С.П. Решетняк, К.Р. Аргимбаев // Записки Горного института. – 2012. – Том 195. – С. 138–141.

73. Хрунина, Н.П. Развитие подходов к освоению техногенных объектов россыпных месторождений в Дальневосточном регионе / Н.П. Хрунина, Л.Н. Липина // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - №4. - С. 134-142. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_134.

74. Шинтев, И.С. Разработка комплекса мер по борьбе с самовозгоранием угля в условиях шахт Кузбасса / И.С. Шинтев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 17–18 мая 2022 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – Вып. 26, ч. 5: Технические науки. – С. 338–343.

75. Штейнцайг, Р.М. Методика выбора рациональной технологии отработки забоя карьерным гидравлическим экскаваторов / Р.М. Штейнцайг. – М.: Изд. ИГД, 1979. – 220 с.

76. Экгардт, В.И. Обоснование способа разработки действующих железосодержащих хвостохранилищ овражного типа / В.И. Экгардт, В.В. Квитка, Г.А. Холодняков, К.Р. Аргимбаев // Записки Горного института. – 2012. – Том 197. – С. 159–164.

77. Adiansyah, J.S. A framework for a sustainable approach to mine tailings management: Disposal strategies / J.S. Adiansyah, M. Rosano, S. Vink, G. Keir // Journal of Cleaner Production. – 2015. - №108. - P. 1050-1062. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.13919.

78. Akhavan, A. Estimation of arsenic leaching from ZnePb mine tailings underenvironmental conditions / A. Akhavan, A. Golchin // Journal of Cleaner Production. – 2021. - №295. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126477.

79. Argimbaev, K.R. Features of a opencast mining in the development of iron – bearing tailing dumps / K.R. Argimbaev // Mining and mineral processing – Sofia, Bulgaria: University of mining and geology «St. Ivana Rilski». – 2012. – Volume № 55, Part 2. – P. 20–22.

80. Argimbaev, K.R. Research of the dynamics of cryogenic processes in man-made deposits presented by dressing plant waste / K.R. Argimbaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. - №13(7). - P. 1621–1623. DOI: jeasci.2018.1621.1623.

81. Argimbaev, K.R. Determining the safe working height of an power shovel for the development of iron-bearing tailing dumps / K.R. Argimbaev, H.A. Kholodjakov // World Applied Sciences Journal. – 2013. - №27(8). - P. 1087–1090. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.27.08.13737.

82. Argimbaev, K.R. Erection methods and constructions of primary tailing dike / K.R. Argimbaev, H.A. Kholodjakov // International Journal of Ecology and Development. – 2015. - №30(2). - P. 47–54.

83. Argimbaev, K.R. Tailings development and their utilization in the National Economy / K.R. Argimbaev, H.A. Kholodjakov // International Journal of Ecology and Development. – 2016. - №31(1). - P. 94-100.

84. Argimbaev, K.R. Crack Formation Study in a Dam of a Formed Technogenic Deposit / K.R. Argimbaev, D.N. Ligotsky, E.V. Loginov, **K.V. Mironova** // Journal of Engineering and Applied Sciences – 2019. – 14 (7), pp. 2258-2261.DOI: 10.36478/jeasci.2019.2258.2261.

85. Argimbaev, K.R. Investigations on Material Composition of Iron-containing Tails of Enrichment of Combined Mining and Processing in Kursk Magnetic Anomaly of Russia / K.R. Argimbaev, D.N. Ligotsky, **K.V. Mironova**, E.V. Loginov // International Journal of Engineering – 2020. – 33 (7), pp. 1431-1439. DOI: 10.5829/ije.2020.33.07a.31.

86. Argimbaev, K.R. Methods for the Reduction of Loss and Optimization Processes Open Pit Mining When Mining Man-made Deposits Formed by Sections / K.R. Argimbaev, **K.V. Mironova** // Journal of Engineering and Applied Sciences – 2018. – 13 (7), pp. 1624–1631.DOI: 10.3923/jeasci.2018.1624.1631.

87. Argimbaev, K.R. Prospects for exploitation of tailing dumps / K.R. Argimbaev, **K.V. Mironova**, M.O. Bovdyi // International Journal of Ecology and Development. — 2016. — 31 (3), pp. 117-124.

88. Argimbaev, K.R. Design justification of drainage and anti filter facilities of the tailings at various methods of their constructions / K.R. Argimbaev, M.M. Yakubovskiy, M.A. Ivanova // International Journal of Ecology and Development. – 2015. - №30(2). - P. 76–85.

89. **Argimbaeva, K.V.** Effect of grain size distribution of tailings during the formation of technogenic deposit on the fragmentation index / K.V. Argimbaeva, D.N. Ligotsky // Sustainable development of mountain territories. – 2023. –№2(56). -P. 275-282. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-275-282.

90. Blight, G. Mine Waste: A Brief Overview of Origins, Quantities, and Methods of Storage, In Waste / G. Blight, M. Trevor, D. Letcher, A. Vallero // Academic Press: USA. – 2011. - P. 77-88. DOI: 10.1016/B978-0-12-381475-3.10005-1.

91. Franks, D.M. Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes / D.M. Franks, D.V. Boger, C.M. Côte, D.R. Mulligan // Resources Policy. – 2011. - №36(2). - P. 114-122. DOI: 10.1016/j.resourpol.2010.12.001.

92. Guezennec, A.G. Coprocessing of sulfidic mining wastes and metal-rich postconsumer wastes by biohydrometallurgy / A.G. Guezennec, K. Bru, J. Jacob, P. d'Hugues // Minerals Engineering. – 2015. - №75. - P. 45-53. DOI: 10.1016/j.mineng.2014.12.033.

93. Karu, V. Mining Waste Reduction Methods. International Symposium PÄRNU 2013 "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II", Estonia / V. Karu, I. Valgma, T. Rahe. – 2013.

94. Kholodnyakov, G.A. The choice and substantiation of the technological parameters of tailing formation in an overburden dump body / G.A. Kholodnyakov, K.R. Argimbayev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2014. - №2. - P. 50–57.

95. Kholodjakov, G.A. Determining physical and mechanical properties of tailings of iron-bearing tailing dumps / G.A. Kholodjakov, K.R. Argimbaev, D.A. Ikonnikov // Mining informational and analytical bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2011. - №5. - P. 93-98.

96. Lawson, E.N. Tailing damps / E.N. Lawson, J.L. Taylor, G.A. Hulge // Int. Mining and Met. 1990. - №2. - P. 90.

97. Ligotsky, D.N. The sectional formation technology of an anthropogenic deposit with its subsequent mining using a hydraulic pull shovel / D.N. Ligotsky, **K.V. Argimbaeva** // Sustainable development of mountain territories. – 2024, №1(16). - P. 111-121. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-111-121.

98. Louwrens, E. Geometallurgical characterisation of a tailings storage facility - A novel approach. In Tailings and Mine Waste Management for the 21st Century, Sydney, NSW, Australia, Australasian Institute of Mining and Metallurgy / E. Louwrens, T. Napier-Munn, L. Keeney. - 2015. - P. 125-132.

99. Markovaara-Koivisto, M. Preliminary volume and concentration estimation of the Aijala tailings pond–Evaluation of geophysical methods / M. Markovaara-Koivisto, T. Valjus, T. Tarvainen, T. Huotari, J. Lerssi, M. Eklund // Resources Policy. - 2018. - №59. - P. 7-16. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.08.016.

100. Ojeda-Pereira, I. International trends in mining tailings publications: A descriptive bibliometric study / I. Ojeda-Pereira, F. Campos-Medina // Resources Policy. - 2021. - №74. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102272.

101. Tayebi-Khorami, M. Re-Thinking Mining Waste Through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations / M. Tayebi-Khorami, M. Edraki, G. Corder, A. Golev // Minerals. - 2019. - №9. - P. 2-12. DOI: 10.3390/min9050286.

102. Trubetskoy, K.N. Solution of the problem of ecological balance in open pit mineral mining / K.N. Trubetskoy // Gornyi Zhurnal. – 2018. - №6. - P. 71–76. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.15.

103. Trubetskoy, K.N. Efficient technologies for mineral waste use - The basis of the environmental safety of subsoil development / K.N. Trubetskoy, V.N. Zakharov, M.V. Rylnikova // Gornyi Zhurnal. - 2016. - №5. -P. 34-40.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт внедрения

МАГГЕОПРОЕКТ
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Юридический адрес: 455023 Челябинская область, г. Магнитогорск, ул. Чапаева 18-12
Почтовый адрес: 455023 Челябинская область, г. Магнитогорск, ул. Чапаева 18-12
ИНН/КПП 7446048490/745601001; ОГРН 1067446029595; ОКПО 94831960; ОКОГУ 49013 ОКАТО 75438375000;
ОКТМО 75738000; ОКФС 16; ОКОПФ 65
Р/с 40702810200000105819 в «Кредит Урал Банк» АО г. Магнитогорска
БИК 047516949 Корр. счет 30101810700000000949
Телефон Директора (3519) 29-85-75
e-mail: ingpi-cu@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ:
зам. директора ООО «Маггеопроект»
Бурмистов К.В.
«10» мая 2024 г.

АКТ
об использовании результатов кандидатской диссертации аспиранта
Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II,
Аргимбаевой Кристины Владимировны,
обучающейся по научной специальности «2.8.8. Геотехнология, горные машины»

Рабочая комиссия в составе:

Председатель комиссии:

- руководитель горно-транспортного отдела, канд. техн. наук, Заляднов Вадим Юрьевич;

Члены комиссии:

- руководитель отдела буровзрывных работ, док. техн. наук Доможиров Дмитрий Викторович,
- руководитель отдела дробления и обогащения руд, канд. техн. наук Гришин Игорь Анатольевич.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Обоснование параметров посекционной технологии формирования и открытой разработки техногенных месторождений, представленных железосодержащими хвостами обогащения ГОКов КМА», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы при ведении проектных работ в деятельности ООО «Маггеопроект».

Использование результатов диссертационного исследования Аргимбаевой К.В. позволяет повысить производительность по добыче техногенного сырья, интенсивность ведения горных работ, качество экономической оценки применяемых технических решений, а также снизить разубоживание техногенного сырья при открытой разработке.

Предложенная патентоспособная ресурсосберегающая технология заключается в формировании техногенного месторождения посекционно за счет возведения перегородок из скальной вскрыши, с управляемой сегрегацией, которая осуществляется специальным устройством, содержащим цилиндрический корпус с расположенным в нем сплошным винтовым направляющим аппаратом, учитывающим параметры тангенсальных, окружных скоростей техногенного сырья при транспортировке и шаг навивки, позволяющим повысить эффективность сегрегационного процесса до 88% при их складировании. Максимальная емкость секции зависит от параметров применяемого выемочно-погрузочного оборудования при дальнейшей отработке.

Разработка сформированного техногенного месторождения производится гидравлическими экскаваторами «обратная лопата» с параметрами, обеспечивающими безопасную отработку. Повышение производительности осуществляется путем обоснованных параметров рабочих зон экскаватора, которые снижают объемы потерь добываемого техногенного сырья, последовательностью отработки в пределах зоны, что приводит к увеличению наполняемости ковша экскаватора при добыче.

Отдельные результаты диссертационного исследования приняты к внедрению при проработке технических решений в части отработки техногенного месторождения и отображены в документах:

- Проектная документация «Отработка отвала техногенного сырья «Отвал электросталеплавильных шлаков №3 (Участок №3 Северный доменный шлакоотвал)»;
- Технический проект разработки отвала доменных шлаков на участке №2 «Южный шлакоотвал».

Председатель комиссии

руководитель горно-транспортного отдела

канд. техн. наук Заляднов В.Ю.

Члены комиссии:

руководитель отдела буровзрывных работ,

док. техн. наук Доможиров Д.В.

- руководитель отдела дробления и обогащения руд,

канд. техн. наук Гришин И.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Патенты и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2775024

СОСТАВ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ПОРОД И ОТХОДОВ ОТ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Аргимбаев Каербек Рафкатович (RU), Аргимбаева Кристина Владимировна (RU)*

Заявка № **2021137254**
Приоритет изобретения **16 декабря 2021 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **27 июня 2022 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **16 декабря 2041 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2661510

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Патентообладатель: ***федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)***

Авторы: ***Аргимбаев Каербек Рафкатович (RU), Миронова Кристина Владимировна (RU), Бовдуй Майя Олеговна (RU), Подлесный Павел Владимирович (RU)***

Заявка № **2017127605**
Приоритет изобретения **01 августа 2017 г.**
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **17 июля 2018 г.**
Срок действия исключительного права на изобретение истекает **01 августа 2037 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016662579

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОБЫЧНОГО ЗАБОЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Правообладатель: ***федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)***

Авторы: ***Аргимбаев Каербек Рафкатович (RU), Миронова Кристина Владимировна (RU), Бовдуй Майя Олеговна (RU)***

Заявка № **2016660269**

Дата поступления **03 октября 2016 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***15 ноября 2016 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев