

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Кустов Владимир Васильевич

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛО-
ГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕ-
СТОРОЖДЕНИЙ СЫПУЧИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

25.00.22 – геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Лабинский К. Н.

Идентичность всех экземпляров
диссертации ПОДТВЕРЖДАЮ:
Ученый секретарь диссертационного
совета Д 01.008.01.

Бершадский И.А.

Донецк – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	11
1.1. Анализ объемов и состава отходов открытой разработки месторождений..	11
1.2. Обзор результатов исследований в области формирования и разработки техногенных месторождений.....	13
1.3. Обобщение теоретических основ управления процессами сегрегации горных пород.....	20
Выводы по разделу 1	32
РАЗДЕЛ 2. УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	34
2.1. Особенности проявления сегрегации в технологических процессах образования техногенных месторождений	34
2.2. Моделирование процесса формирования отвала скальных пород и отходов переработки известняков и доломитов	36
2.3. Разработка математической модели для установления закономерностей управления процессом сегрегации горных пород	48
2.4. Особенности изменения грансостава сыпучих отходов переработки флюсов в массиве техногенного образования.....	66
Выводы по разделу 2	71
РАЗДЕЛ 3. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД	73

3.1. Анализ влияния технологии и параметров отвалообразования на структуру техногенного месторождения	73
3.2. Оценка эффективности применения конвейерного отвалообразования при формировании техногенных месторождений	80
3.3. Обоснование области применения автомобильно-бульдозерных комплексов для формирования техногенных месторождений и образований	88
3.4. Анализ и оценка эффективности технологии формирования техногенных месторождений с помощью колесных погрузчиков.....	92
3.5. Влияние сегрегационных проявлений в сыпучих породах на прочностные свойства массива техногенного образования.....	99
Выводы по разделу 3	113
РАЗДЕЛ 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	114
4.1. Обоснование параметров технологического комплекса для разработки техногенных месторождений на предприятиях по добыче металлургических флюсов.....	114
4.2. Технология разработки техногенных месторождений различным горнотранспортным оборудованием.....	125
4.2.1. Разработка техногенных месторождений экскаваторами типа прямая лопата	125
4.2.2 Применение роторных экскаваторов для разработки техногенных месторождений и образований	131
4.2.3 Использование мобильного оборудования (погрузчиков) для разработки техногенных месторождений.....	136
4.3. Экономическая оценка целесообразности внедрения результатов исследований на флюсовых комбинатах	142

Выводы по разделу 4	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	152
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ А Товарный портфель ПК ООО «Видис», ЧАО «ДФДК»	165
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Рациональные схемы применения отвального оборудования, обеспечивающие максимальную степень сегрегации сыпучих пород	170
ПРИЛОЖЕНИЕ В График для расчета прямолинейных откосов	174
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Схемы разработки техногенных месторождений в зависимости от формирующих технологических комплексов оборудования и эффективности разделительного процесса на откосе по параметру $R_{ср(отн)}$	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Акт внедрения результатов диссертационной работы	179
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Методика создания техногенных месторождений на базе отвалов и шламонакопителей горнодобывающих и горнообогатительных предприятий	180
ПРИЛОЖЕНИЕ К Акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс.....	182

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Неотъемлемой особенностью технологических процессов добычи и переработки флюсов является создание техногенных месторождений с накоплением значительных объемов отходов и сопутствующих продуктов. Значительная роль в решении задач по рациональному использованию минеральных ресурсов уделяется повторной добыче сырья из отходов горного производства на основании применения нестандартных технологических решений и внедрения в практику горного производства научных достижений.

В Донецкой области в отвалах обогатительных фабрик находится более 143 млн. м³ отходов переработки флюсов. При всем многообразии оборудования и технологических схем, которые применяются при создании насыпных техногенных месторождений, можно выделить явления, степень проявления которых в значительной степени влияет на качественные показатели массива техногенного месторождения в целом и его отдельных частей. Одним из таких явлений является гравитационная сегрегация – разделение сыпучих пород по крупности или плотности составляющих частиц в процессе отсыпки на откос. Сегрегация в значительной степени определяется исходными свойствами сыпучей породы, и в первую очередь влажностью, крупностью, а также характером отсыпки – технологией отвалообразования.

Для условий складирования и повторной разработки отходов переработки флюсов недостаточно изучены и требуют детального исследования вопросы комплексного влияния на сегрегацию горной массы отвалообразующих технологий и свойств пород (в первую очередь их крупность и влажность).

Разделение дробленого материала на определенные классы крупности, определяемые ТУ, ГОСТами и требованиями заказчиков, является важнейшим этапом переработки, определяющим качество товарной продукции. В силу того, что на различных этапах подготовки и переработки сырья грансостав материала претерпевает значительные колебания, в том числе и по причине изменения прочностных свойств зерен, возникает необходимость оперативного управления круп-

ностью сырья на складах готовой продукции. Вынужденное попадание полезного ископаемого в отходы, необходимость повторного переосеивания части объемов некондиционной продукции увеличивает себестоимость 1 т продукции.

Таким образом, разработка технологии формирования техногенных месторождений с прогнозируемой структурой и качественными показателями на основании установленных закономерностей сегрегации для последующей их разработки с обеспечением заданных потребительских качеств является актуальной научно-технической задачей, решение которой имеет большое значение для горнодобывающей промышленности.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с программами научно-исследовательских работ ГВУЗ «Национальный горный университет», которые связаны с госбюджетными темами: ГП-448 «Исследование и разработка технологий эффективного и экологического освоения природных ресурсов при открытой разработке месторождений» (№ГГ 0111U002818) и ГП-460 «Развитие теории рационального природопользования для обеспечения устойчивого функционирования техно-экосистем горнодобывающих регионов и охрана окружающей среды» (№ГГ 0113U000404), а также с программами научно-исследовательских работ ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», которые связаны с госбюджетной темой Н-16-15 «Разработка и создание новых и совершенствование существующих технологий комплексной переработки полезных ископаемых и вторичных сырьевых ресурсов».

Идея работы заключается в использовании управляемой гравитационной сегрегации при складировании сыпучих горных пород для последующей их разработки с обеспечением заданных потребительских качеств.

Целью работы является обоснование технологий целенаправленного формирования и последующей разработки техногенных образований с прогнозируемыми качественными и потребительскими свойствами, управляемой структурой и устойчивостью откосов.

Основные задачи исследований:

- изучение современного состояния разработки нерудных материалов, эффективности распределительных процессов на отвалах и складах готовой продукции, возможностей комплексного использования отходов производства, реализации природоохранных мероприятий;

- разработка математической модели процесса сегрегации сыпучих горных пород с целью определения основных характеристик и установления закономерностей распределительных процессов, влияющих на характеристики техногенного образования;

- обоснование рациональных параметров технологии формирования техногенных образований с целью обеспечения заданных качественных характеристик;

- обоснование рационального горнотранспортного оборудования для разработки техногенных образований.

Объект исследования – технология формирования и последующей разработки техногенных месторождений и образований из сыпучих горных пород.

Предмет исследования – закономерности распределительных процессов в сыпучих горных породах при формировании техногенных образований.

Методы исследования. При выполнении работы применен комплексный метод исследования, который включает в себя анализ, обобщение и систематизацию литературных данных; методы математической статистики – при изучении показателей сегрегации и закономерностей их изменения; теории планирования эксперимента – при моделировании процесса сегрегации в массиве горных пород; метод численного решения с использованием пакета прикладных программ – при установлении показателей сегрегации в отвале флюсовых отходов и на складах готовой продукции; аналитический – для обоснования технологических параметров при строительстве техногенных образований.

Научная новизна полученных результатов:

1. Уточнено влияние влажности и крупности сыпучих горных пород на угол внутреннего трения при формировании техногенных месторождений сыпучих горных пород тонкими слоями. Установлено, что при влажности сыпучих горных пород до 17% угол внутреннего трения уменьшается с увеличением крупности, а

при влажности более 17 % – возрастает, что негативно влияет на устойчивость техногенного месторождения.

2. Обоснованы условия формирования техногенного месторождения из сыпучих горных пород, обеспечивающие возможность селективной разработки с обеспечением заданного потребительского качества. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что минимальная высота откоса, обеспечивающая максимально возможную стратификацию по крупности, описывается логарифмической зависимостью от максимального размера куска в составе сыпучих горных пород.

3. Впервые установлен закон распределения среднего размера кусков насыпного материала в заданном пространственном объеме техногенного образования конической формы, сформированного отсыпкой тонкими слоями. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что средний размер кусков сыпучей горной породы в заданном пространственном объеме сформированного отвала зависит от расположения кусков, общей высоты конуса и максимальной крупности кусков.

4. Впервые установлено, что при отсыпке тонкими слоями сыпучих горных пород крупностью 0 – 80 мм разброс их плотности в пределах 30% не влияет на минимальную высоту уступа, обеспечивающую максимально возможную технологическую стратификацию.

5. Впервые установлено, что при формировании техногенных месторождений сыпучих горных пород по разработанной технологии естественная кривизна откоса и наличие в нижней части призмы из скальной породы наибольшей фракции, которая выполняет роль контрфорса, обеспечивает повышение устойчивости отвала на 12% по сравнению с рассчитанной по Петерсону-Фелениусу.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что:

1. Разработаны технологические схемы отдельной разгрузки штабелей товарной продукции, представленных сыпучими горными породами с учетом их крупности и технологии образования насыпи. Это позволит направлять на повторное пересевания не более 12% объемов горной массы в случае отклонения

грансостава конечной продукции от требований потребителя (превышение мелких фракций до 20%);

2. Предложенная схема отдельной разгрузки штабелей в форме конуса, плоского слоя или в форме хребта. Предложенный в работе технологический комплекс оборудования и рекомендации по практическому использованию внедрены для условий ПК ООО «Видис»;

3. Разработана методика управления качественными характеристиками техногенных образований на основе установленных закономерностей сегрегационного распределения сыпучих горных пород.

На защиту выносятся следующие **научные положения**:

1. Распределение кусков насыпного материала по среднему размеру в объеме техногенного образования конической формы, сформированного отсыпкой тонкими слоями, описывается экспоненциальной зависимостью в цилиндрической системе координат от общей высоты образования и диапазона крупности отсыпаемых горных пород, что позволяет проектировать технологию отдельной выемки товарной продукции заданного качества.

2. Минимальная высота откоса формируемого техногенного месторождения сыпучих горных пород естественной влажности крупностью от 15 до 130 мм, обеспечивающая максимально возможное разделение их по крупности, описывается логарифмической зависимостью от максимального размера кусков, что позволяет проектировать технологические параметры формирования и разработки техногенного месторождения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованием апробированных методов исследования, удовлетворительным совпадением расчетных и экспериментальных данных: средняя погрешность рассчитанных и экспериментально определенных средних диаметров частиц сыпучего материала составляет менее 15 %.

Личный вклад соискателя заключается: в установлении математических зависимостей и сравнительном анализе полученных данных; литературном поиске особенностей физического проявления сегрегации в горном деле, соответствующей

щего математического аппарата и графической обработке результатов исследований; математическом планировании экспериментов; проведении экспериментов и обработке результатов экспериментов; разработке и создании установки для проведения лабораторных исследований; в определении требований к технологическому комплексу отвального оборудования для достижения максимального разделительного эффекта на откосе; в разработке технологических схем разработки техногенных месторождений, сформированных на основе установленных закономерностей сегрегации.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: V Международной научной конференции «Современные проблемы экологии и геотехнологии» (г. Житомир, 2008г.); Международных конференциях «Форум горняков» (г. Днепропетровск, 2008 – 2013г.); Международной научно-технической конференции «Устойчивое развитие промышленности и общества» (г. Кривой Рог, 2012 г.).

В полном объеме результаты работы рассматривались на кафедре строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики Донецкого национального технического университета.

Публикации. Основные научные положения и результаты работы по теме диссертации опубликованы в 14 научных работах, из которых 9 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, 5 – в материалах докладов на международных научных конференциях.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников из 111 наименований на 12 страницах, 7 приложений на 16 страницах, содержит 151 страницы основного текста, 65 рисунков, 18 таблиц. Общий объем 182 страницы.

РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1. Анализ объемов и состава отходов открытой разработки месторождений

Особенностью технологических процессов добычи и обогащения полезных ископаемых является образование отходов и попутных продуктов, значительная часть которых может представлять собой сырье для различных отраслей народного хозяйства.

Минеральное сырье из горнопромышленных отходов - попутные полезные ископаемые (ППИ), органически содержат в себе две функциональные предназначения. С одной стороны, представляют собой источник природных ресурсов, который может быть использован наряду и наравне с первичным сырьем месторождений, т.е. как равноправный ресурсный потенциал народного хозяйства. С другой – экологический потенциал, обеспечивающий как общие условия жизни производства, т.е. функционирования народного хозяйства, так и саму степень возможного вовлечения в эксплуатацию ресурсов, их переработку и использование. Необходимость учета двойственности попутных полезных ископаемых требует одновременного решения двух видов проблем на уровне взаимодействия производства с природной средой: ресурсных и экологических, а, следовательно, определяет и концептуальные положения регулирования процесса утилизации минеральных ресурсов

Современные подходы к оценке эффективности горного производства выдвигают более жесткие требования к решению проблем природоохранного характера, в первую очередь, максимального извлечения полезного компонента из недр и как результат сохранения земельных ресурсов. Резервом повышения эффективности производства могут служить мероприятия по комплексному освоению природных ресурсов, изучение возможностей использования отходов производства в качестве техногенных месторождений.

Для выполнения своей производственной работы отечественными неруд-

ными карьерами из сельскохозяйственного использования выведено около 76–80 тыс. га плодородных земель [1, 2, 3]. Из них до 38–40 тыс. га (22–50%) занято отвалами и хранилищами отходов горного производства. Непосредственно под горными отводами использовано около 25–28 тыс. га или 20–36%, что в 1,4–1,7 раза меньше отвальных площадей. Наряду с наносимым экологическим ущербом природной среде изъятие указанных земель из сельскохозяйственного производства приводит к ощутимым экономическим потерям страны.

В этой связи уменьшение темпов отчуждения земельных площадей для открытых разработок месторождений, а также их восстановление в сельскохозяйственном направлении после завершения горных работ является важной народнохозяйственной задачей с точки зрения экономической и природоохранной. Достижение землесбережения на открытых горных разработках возможно как за счет размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьеров [1, 4–7], так и за счет внедрения новых технологий, которые позволяют рассматривать имеющиеся отвалы и отходы переработки сырья в качестве техногенных месторождений.

Непрерывный рост добычи полезных ископаемых открытым способом приводит к увеличению объемов отвальных работ, которые являются одной из основных составляющих технологического процесса открытой разработки. Одновременно возрастает и объем отходов переработки полезных ископаемых. Все это вместе приводит к росту числа и объемов техногенных формирований, масштабы которых в отдельных регионах настолько велики, что нанесенный ущерб природной среде снижает эффективность открытого способа разработки.

В настоящее время в отвалах и хвостохранилищах горных предприятий Украины накопилось свыше 7 млрд. т пород, открытыми горными работами нарушено около 190 тыс. га земель, при этом, значительная часть подобных техногенных формирований содержит в себе потенциальное сырье для различных отраслей народного хозяйства, т.е. представляет собой техногенные месторождения.

1.2. Обзор результатов исследований в области формирования и разработки техногенных месторождений

Освоение и формирование техногенных месторождений [8 - 10] является одним из наиболее актуальных вопросов современной горнодобывающей промышленности и горной науки. Разработка техногенных месторождений является частью комплексного использования минерального сырья, рентабельным путем увеличения его поставок на рынок и одновременно решает две задачи: сохранение природных богатств в земных недрах посредством привлечения сырья из техногенных источников, и улучшение экологической ситуации в районах угольных предприятий.

Варианты освоения техногенных минеральных ресурсов могут быть различны - от частичной либо полной замены первичного минерального сырья отходами в рамках существующего предприятия до создания нового производства на основе более эффективной техники и технологии. Разработку старых (недействующих) шламо- и хвостохранилищ с извлечением полезных компонентов успешно ведут по всей Украине и мире в целом. Разборку породных отвалов в настоящее время ведут в основном для использования пород в качестве строительного материала или сырья для производства строительных материалов.

Многоплановость проблемы оценки техногенных образований нашла отражение в многообразии подходов к их классификации. Вопросы классификации техногенного минерального сырья, горнопромышленных отходов и техногенных месторождений рассматриваются в многочисленных публикациях Трубецкого К.Н. [11] Шегая Г. И. [12, 13], Наркелюна Л.Ф. [14], Едильбаева А.И. [15], Секисова Г.В. [16] и др. В качестве основных признаков при построении классификаций техногенного минерального сырья использованы: место образования в отраслях промышленности, технологические стадии производственного цикла, время накопления, физическое состояние сырья, морфология тел, гранулометрический состав, содержание полезных компонентов, запасы и т.д.

Авторы работы [17] рассматривают техногенные массивы в зависимости от типов производственных и природно-техногенных процессов, в результате которых они сформированы. При этом учитываются тип и возраст пород, применяемое оборудование и способ размещения.

Автор статьи [18] предлагает классифицировать техногенные горные объекты по форме формируемого рельефа и технологическим процессам, приводящим к его образованию. Она также учитывает ряд геомеханических процессов, происходящих в массиве при формировании техногенной среды и влияние на природные объекты.

В соответствии с классификацией техногенных формирований, предложенной проф. Гумеником И. Л. [19], все техногенные формирования в процессе производства горных работ или после их завершения можно разделить на три вида: минерально-сырьевые, ландшафтные, экологические. То есть из всех техногенных горных объектов автор отдельно выделяет те, которые могут стать техногенными месторождениями.

В перечисленных выше работах не рассматривается вопрос формирования техногенных месторождений с учетом технологий последующей разработки.

Исследованиями формирования техногенных месторождений стали заниматься относительно недавно. Наибольший интерес проявлен к техногенным объектам, содержащим редкие и драгоценные металлы и элементы, такие как золото, платина, ванадий, цирконий, германий, селен, индий и др. [20 - 26].

Наиболее интенсивно развивается направление создания техногенного месторождения на базе хвосто- и шламохранилищ. Этому посвящены работы [27 - 30]. Однако результаты этих исследований не могут применяться к насыпным техногенным образованиям.

Авторы работ [31 - 33] предлагают формировать отвалы пустых пород угольных шахт таким образом, чтобы заранее создать зоны с повышенным содержанием необходимого полезного компонента (железа, фосфора и пр.). Однако ими не учитываются процессы природного и природно-техногенного характера,

которые неизбежно сопровождают отсыпку отвалов, в том числе сегрегацию пород.

Стоит отметить, что на сегодняшний день не существует утвержденной методики заблаговременного планирования техногенного месторождения, хотя исследования в этой области проводятся.

Решение проблемы промышленного использования различных горных пород техногенных месторождений связано не только с возможностью появления спроса на них на рынке минерального сырья со временем, но и с необходимостью целенаправленного создания перспективных их источников. В связи с этим, вопрос формирования техногенных месторождений приобретает первостепенное значение.

Изучением вопросов мониторинга терриконов с целью использования пород шахтных отвалов Донбасса в качестве минерального сырья для народного хозяйства, проблемами утилизации пород шахтных отвалов занимались и занимаются в настоящее время многие ученые.

Работа Панова Б.С. и Ю.А. Проскурни [34] посвящена использованию отходов добычи и обогащению угля. Авторы концентрирует внимание на том, что на шахтах Донбасса практически отсутствуют мероприятия по использованию отходов угледобычи - в основном, вся выдаваемая шахтами порода складывается в отвал. Между тем, эти породы, особенно глинистые сланцы, могут экономически и экологически эффективно использоваться для изготовления строительного кирпича, керамических изделий, бетонных заполнителей и т.д. В последнее время были проведены всесторонние исследования некоторых породных отвалов города Донецка с целью выявления возможных направлений использования пород этих отвалов. Результаты исследований свидетельствуют о том, что породы терриконов пригодны для изготовления керамзита, кирпича, насыпных грунтов и в качестве удобрений.

Вопросам утилизации породных отходов посвящена работа Петенко И.В. [35], в которой автор предлагает создание математической модели прогнозируемой оценки влияния пород отвала. Для выявления значимых факторов по собранной

информации автором проведен корреляционный анализ и оценена степень влияния факторов. К числу наиболее значимых факторов, которые учитывались при составлении прогноза, отнесены следующие: высота и возраст отвала, глубина точки зоны, параметр рН и содержание SO на отвале.

Сформулированные проф. Гумеником И.Л. (Национальный горный университет г. Днепропетровск) [19, 36, 37] теоретические основы и принципы формирования техногенных месторождений из отходов горного производства позволяют целенаправленно вести поиск эффективных технологий по формированию и последующей отработки техногенных месторождений. Следует отметить, что в этих исследованиях основным поставщиком горных пород для техногенных месторождений выступают попутные полезные ископаемые из пород вскрыши и некондиционные полезные ископаемые, то есть не основные, полезные ископаемые, которые извлекались в процессе добычи основного полезного ископаемого.

Однако, в вышеназванных работах, не достаточно внимания уделено значительным объемам горной массы, которые представлены отходами переработки обогатительных фабрик горных предприятий и вынужденно укладываются в отвалы или хвостохранилища. При этом необходимо учесть то, что эти породы (отходы переработки полезного ископаемого), пройдя по всей технологической цепи горного производства и обогащения, на выходе, как правило, представляют достаточно дезинтегрированную массу, которая, приобретая новые технологические характеристики, сохраняет при этом определенное содержание полезного компонента. В зависимости от технологии обогащения отходы размещаются либо в шламохранилища, либо в отвалы. Так в отвалы дробильно-сортировочных фабрик Украины ежегодно складировается порядка 2.5 млн. м³ сухих отходов переработки флюсов, притом, что химический состав полезного ископаемого и отходов переработки (особенно для фракций 5 – 15 мм, 5 – 25 мм и более) довольно схожи.

Как показал анализ существующих способов складирования пород, существуют только способы управления формированием отвалов на открытых горных работах для обеспечения их устойчивости или для решения вопросов рекультива-

ции, однако в большей части вопросы дальнейшей разработки таких техногенных образований не рассматриваются.

Таким образом, научное обоснование параметров рационального планирования формирования техногенных месторождений и образований с целью последующего использования как техногенного месторождения является актуальной научно-технической задачей.

Сформированные техногенные месторождения начали интенсивно разрабатывать в последние годы. Это обусловлено незначительными затратами на разработку и возможностью увеличения минерально-сырьевой базы предприятий, осуществляющих эти работы. Как правило, добычу сырья из техногенных объектов ведут открытым способом.

В работах [23, 25, 36, 38,] авторами предлагается ряд технологических схем разработки хвостохранилищ с дальнейшим извлечением ценных компонентов из добытого сырья. Однако ними не рассматриваются вопросы разработки насыпных техногенных образований.

Разборка породных отвалов производится по специальным проектам, согласованным с органами Гостехнадзора. Разборка производится с помощью бульдозеров, экскаваторов, прицепных и самоходных скреперных агрегатов, гидромониторов и др. Однако при этом не учитываются особенности техногенного объекта, заложенные способом его формирования и проявления сегрегации.

В работах проф. Дриженко Ю.А. и проф. Симоненко В.И. [39, 40] было указано, что при открытой разработке месторождений полезных ископаемых со сложными горногеологическими и горнотехническими условиями особое значение приобретает решение проблемы оптимизации отвальных и транспортных работ за счет применения технологических схем с многократным перемещением временных внутренних и внешних отвалов. Глубина ряда железорудных карьеров Кривбасса достигла 300-350 м и продолжает увеличиваться. Эти карьеры столкнулись с проблемой нехватки площадей для размещения внешних отвалов и постоянным ростом себестоимости транспортирования горной массы. Доля затрат на транспортирование в себестоимости горной массы достигает 45-50 %. Для снижения эксплуатационных затрат на

транспортирование горной массы осуществляется реконструкция существующих и строительство новых комплексов циклично-поточной технологии.

Применение конвейеров для транспортирования скальной горной массы предусматривает ее предварительное дробление. В то же время в работах [41 – 45] авторами обращается внимание на ряд требований к качеству дробления и в первую очередь к гранулометрическому составу транспортируемой скальной породы. Например, при транспортировании породы ленточным конвейером с шириной ленты 2000 мм, удельный вес максимальной фракции (400 - 650 мм) в общем объеме не должен превышать 5%. Для снижения капитальных затрат на строительство дробильно-грохотильных пунктов появляется возможность использовать естественное сегрегационное разделение скальной горной массы, которое возникает в процессе ее перемещения по отвальному откосу, для отделения транспортабельной по условию применения конвейерного транспорта фракции.

На пути повышения эффективности и безопасности открытых горных работ требуется постоянно решать задачу по обеспечению устойчивости, предельного равновесия или неустойчивости откосов естественных и техногенных массивов. Управление состоянием массива, прогнозирование устойчивости его откосов немислимо без наблюдения и контроля над деформациями откосов и изменением инженерно-геологических условий бортов карьера или отвала, без специальных технологических и инженерных методов. Центральным вопросом устойчивости является определение коэффициента запаса устойчивости массива, который определяется целым комплексом природных и техногенных факторов, в т. ч. структурной неоднородностью последнего.

В работах Иванчишиной Л.П., Ворон Е.А. [46], и Рыжкова Ю.А. [47] было указано влияние крупности породы и её влажности на значение углов естественного откоса, а именно, если рост степени крупности породы сказывается, главным образом, на уменьшении угла естественного откоса, то степень увлажнения отвальных пород – на его увеличении. В свою очередь гранулометрический состав породы, связность частиц между собой определяют механическую прочность, фильтрационные, тепловые и другие свойства насыпного объекта [48, 49]. Следовательно, в решении про-

блемы устойчивости отвалов и других техногенных образований должны приниматься во внимание сегрегационные процессы.

Определяющими факторами качества товарной продукции для флюсо-добывающих предприятиях являются гранулометрический и химический состав сырья. В результате переработки известняков и доломитов зерновой состав претерпевает значительные колебания, что на конечной стадии выхода может привести к замельчению или укрупнению определенной крупности. Уменьшить или полностью исключить объемы сыпучих пород, которые требуют повторного грохочения, возможно за счет селективной отгрузки материала из штабеля с учетом структуры последнего, которая, в свою очередь, определяется технологией формирования и особенностями сегрегации сыпучих породах в процессе складирования.

В условиях горного производства процесс сегрегации рассматривается в трех направлениях: разработка методов сепарации в дробильных и гравитационных схемах подготовки минерального сырья перед глубоким обогащением; разработка методов, обеспечивающих устойчивость откосов отвалов вскрышных пород; рудоподготовка минерального сырья перед его обогащением. Как показал анализ исследований и научных работ [19, 36, 37, 46, 47, 50 – 67], примерное соотношение публикаций по этим направлениям составляет 4:2:1, что вполне отражает недостаточную степень изученности процесса сегрегации в горном деле. Несмотря на то, что явление сегрегации горной массы известно в технической литературе уже более 40 лет, физический механизм этого явления достаточно не раскрыт и математически не описан. Это определяет научную актуальность вопроса.

Таким образом, явление сегрегации сыпучих горных пород в различных технологических процессах горного производства является существенным явлением. Целенаправленное использование сегрегации, с учетом особенностей технологических процессов, открывает значительные возможности в решении следующих проблем:

- по комплексному использованию минеральных ресурсов;
- в прогнозировании параметров и качественной оценке массива горных пород техногенных месторождений;

- в управлении качеством продукции, в том числе, и его потребительскими свойствами;
- в решении задач по управлению устойчивостью откосов отвалов и складов готовой продукции;
- по реализации новых требований в сфере использования природных, и в первую очередь, земельных ресурсов.

1.3. Обобщение теоретических основ управления процессами сегрегации горных пород

Разделительные процессы, происходящие при сухом складировании сыпучих пород, изучены не достаточно полно. Эти процессы непосредственно связаны с явлением сегрегации. От степени проявления этого процесса в значительной степени зависят фильтрационные свойства отвала, его устойчивость, а также возможность рассмотрения его в качестве техногенного месторождения в будущем.

Под сегрегацией в горном деле понимают процесс разделение сыпучего материала по крупности в результате взаимодействия между частицами сыпучего материала и дополнительных внешних факторов. Например, при отсыпке сыпучего материала в гравитационном поле на наклонную поверхность крупные зерна скапливаются в нижней части насыпи, а мелкие в верхней.

В практике горного производства эффект сегрегации проявляется при отсыпке отвалов пустых пород, формировании рудных складов различного функционального назначения, в разделительных процессах обогатительного производства, при отсыпке дамб и плотин. Таким образом, очень важно знать закономерности сегрегационных процессов при определении технологических схем повторного воздействия на отвалы и склады полезного ископаемого, при решении задач по вовлечению в эксплуатацию техногенных месторождений с определенными зонами концентрации полезного компонента, при прогнозировании состояния насыпных и намывных объектов. Решение этих вопросов в значительной сте-

пени сдерживается отсутствием возможности рассмотрения роли составляющих разделительных процессов с учетом их вероятностной природы.

В теоретической физике разделительные процессы описываются кинетическим уравнением диффузионного типа - уравнением Эйнштейна – Фоккера – Планка – Колмогорова [68]. Строгое решение данного уравнения представляет собой функцию распределения исследуемого показателя в поле задаваемого пространства. В большинстве случаев решение уравнения упирается в численные методы, а само представление результатов сложно для восприятия. Трудности математического описания процесса сегрегации приводит к введению в аналитические зависимости вспомогательных коэффициентов, которые затрудняют инженерные расчеты и не позволяют достигнуть адекватного описания движения горной массы в реальных условиях горных работ.

В теоретических исследованиях явления сегрегации определилось два принципиальных направления: детерминистское и вероятностно-статистическое.

В основу первого положено исследование и описание закономерностей движения отдельного зерна под действием внешних сил в стесненных условиях, создаваемых совокупностью других зерен, участвующих в процессе.

Вероятностно-статистическое направление рассматривает перемещение не отдельных зерен, а их совокупности, характеризуемой определенными физическими константами, как результат действия на них системы сил, проявление которых носит вероятностно-статистический характер. При этом поведение отдельных компонентов системы истолковывается на основе положений теории вероятности и статистической физики.

Вероятностно-статистический подход представляет сегрегацию как массовый процесс с вероятностным характером перемещения частиц различных физических свойств. В этом случае анализируются закономерности перемещения группы однородных частиц и случайные перемещения отдельных частиц относительно центра их распределения.

Каждое из упомянутых направлений отражает лишь отдельные аспекты исследуемого процесса, но, ни одно из них в полной мере не характеризует физическую сущность и механизм расслоения частиц при сегрегации.

Так, детерминистская модель позволяет учесть влияние крупности, плотности и формы частиц на результат расслоения и количественно оценить силы, вызывающие перемещение отдельной частицы, чего невозможно достичь рассмотрением других моделей. В то же время описание движения совокупности зерен и установление закономерностей формирования слоев из однородных по плотности частиц оказывается возможным лишь на основе рассмотрения массово-статистических моделей.

Поэтому представляется наиболее правильным, как это в настоящее время признают многие исследователи базировать исследование и теоретическую интерпретацию процесса на сочетании и взаимном дополнении предложенных ранее моделей в их рациональной части.

Отыскание оптимального взаимоотношения различных моделей сегрегации представляет собой одну из актуальных задач современного развития теории процесса, к решению которой уже предпринимаются практические шаги.

Принимая во внимание, что в сегрегационных процессах распределение кусков породы по крупности носит вероятностный характер, в известных публикациях [47, 50, 52, 55, 56, 61, 62], посвященных данной проблематике, авторы, в первую очередь, опираются на основные положения статистической физики и методы математической статистики. Среди них заслуживает внимания методика, предложенная Ю. Г. Вилкулом, В. К. Слободянюком и А. С. Аралкиным по проведению экспериментальных исследований процесса сегрегации скальной породы при отвалообразовании. В основу методики, которая составлена с применением математических методов планирования экстремальных экспериментов (приложение математической статистики), положены безразмерные комплексы (критерии подобия). Критерии получены на основе анализа размерностей факторов, влияющих на самопроизвольное спонтанное разделение кусков породы на фракции (сегрегацию).

В качестве параметра оптимизации при получении безразмерных комплексов принят уровень отметки слоя породы относительно подошвы отвала, содержащего нетранспортабельные куски по условиям их перемещения транспортом непрерывного действия (конвейерами) – H .

Функциональная зависимость этого параметра от всей совокупности существенных независимых факторов, влияющих на процесс спонтанной сегрегации, в общем виде может быть представлена в виде уравнения

$$H=f(h_o, Q_n, \gamma, V_n, h_n, \omega, W, R, \tau), \quad (1.1)$$

где h_o – общая высота отвала, м; Q_n – парциальная производительность отвалообразования, м³/с; γ – объёмная масса отсыпаемой породы, кг/м³; V_n – начальная скорость породы, укладываемой в отвал м/с; h_n – высота потока отсыпаемой породы, м; ω – начальное ускорение породы в горизонтальном направлении, м/с²; W – удельный объём отсыпаемой породы, м³/кг; R – удельный размер куска наибольшего размера, м/кг; τ – сопротивление насыпного груза сдвигу, Н/м².

Было установлено, что процесс сегрегации имеет ярко выраженный вид как функция высоты слоя породы относительно подошвы отвала, а также что производительность отвалообразования в исследованных пределах незначительно влияет на явление сегрегации и в целом увеличение этого фактора приводит к уменьшению содержания нетранспортабельной фракции при всех значениях рассматриваемого фактора.

Теория обогащительного передела использует ряд математических моделей для описания разделительных процессов. Среди них можно выделить массово-балансовую модель грохочения Л.А. Вайсберга и Д.Г. Рубисова [69, 70]. Исходные положения этой модели были приняты А.В. Гальяновым и Ю.В. Лаптевым [71, 72] как основополагающие для разработки теоретических основ процесса сегрегации горной массы на откосах отвалов.

Комплекс проведенных экспериментальных исследований [70] позволил выдвинуть следующую теоретическую концепцию о кинетике процесса сегрегации

дробленого скального материала при отсыпке отвалов. В основе этой концепции лежит модель сползания горной массы как некоего консолидированного образования по поверхности с углом естественного откоса. Движение отдельностей горной массы представляется в виде двух потоков – направленных как вдоль откоса так и перпендикулярно его поверхности. В процессе сползания массы происходит «втирание» мелких фракций-заполнителей в шероховатую поверхность откоса. При этом крупные куски, «всплывая», скатываются вниз к основанию отвального тела. Таким образом, происходит естественный процесс дезинтеграции (разделения) исходной горной массы по крупности на шероховатой наклонной поверхности откоса отвалов. При движении потока дробленого скального материала по шероховатому откосу отвала происходит разделение горной массы на три продукта: - поровый (частицы, заполняющие поры шероховатой поверхности откоса); - надпоровый (частицы, оставшиеся на шероховатой поверхности за счет сил трения); - материал, продолжающий движение по откосу в соответствии с законами динамики. Структура математической модели [72] сегрегации представлена на рис. 1.1.

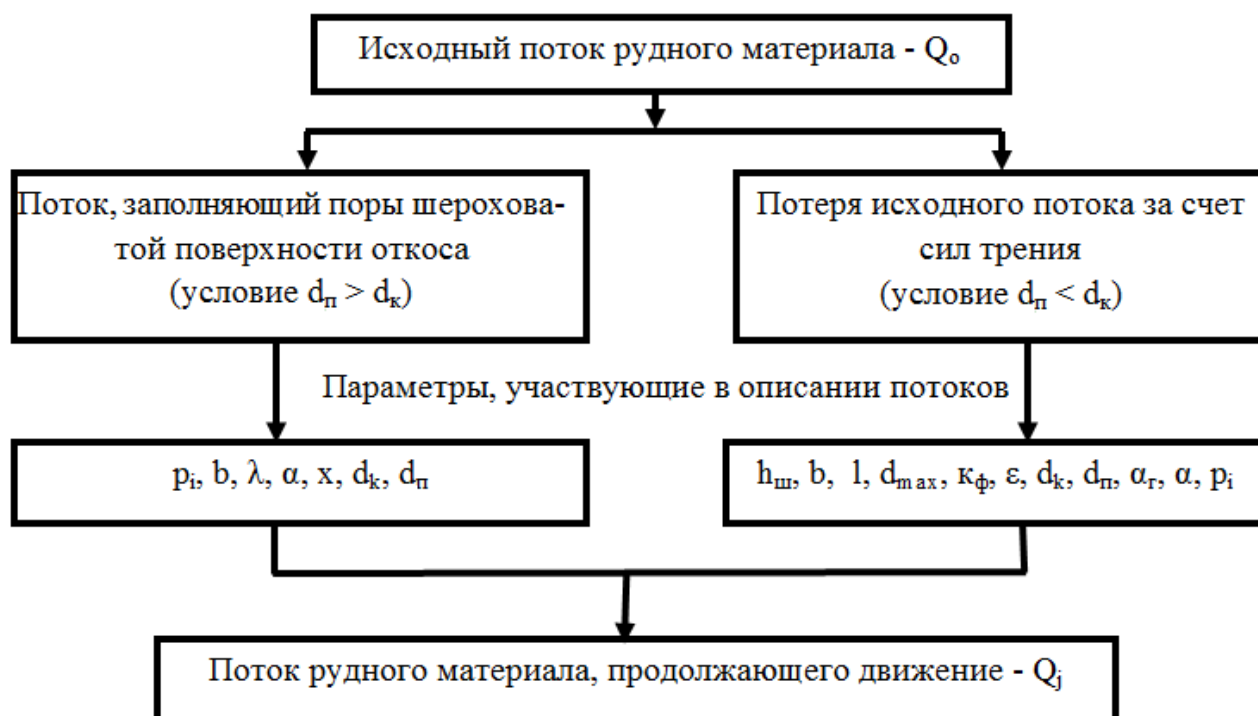


Рис. 1.1. Структура математической модели Ю.В. Лаптева процесса сегрегации сыпучего материала на откосе отвалов

Исходя из концепции массово – балансовой модели основное уравнение баланса представлено следующим образом:

$$Q = Q_0 - q_1 - q_2, \quad (1.2)$$

где Q_0 – исходный поток материала (производительность), м³/с; q_1 – поток материала, заполняющий поры шероховатости поверхности откоса, м³/с; q_2 – часть исходного потока, оставшаяся на шероховатой поверхности за счет сил трения, м³/с; Q – поток материала, продолжающий движение по откосу, м³/с.

Принципиальная схема разделения исходного потока сыпучего материала на поверхности откоса отвала представлена на рис. 1.2.

Исходя из баланса материальных потоков, интегральный выход y_{ij} куска i -го диаметра на интервале $(0, x_j)$ определяется из выражения

$$y_{ij} = p_i \left(1 - \frac{Q_j}{Q_0} \right), \quad (1.3)$$

где p_i – выход i -го куска в исходном материале.

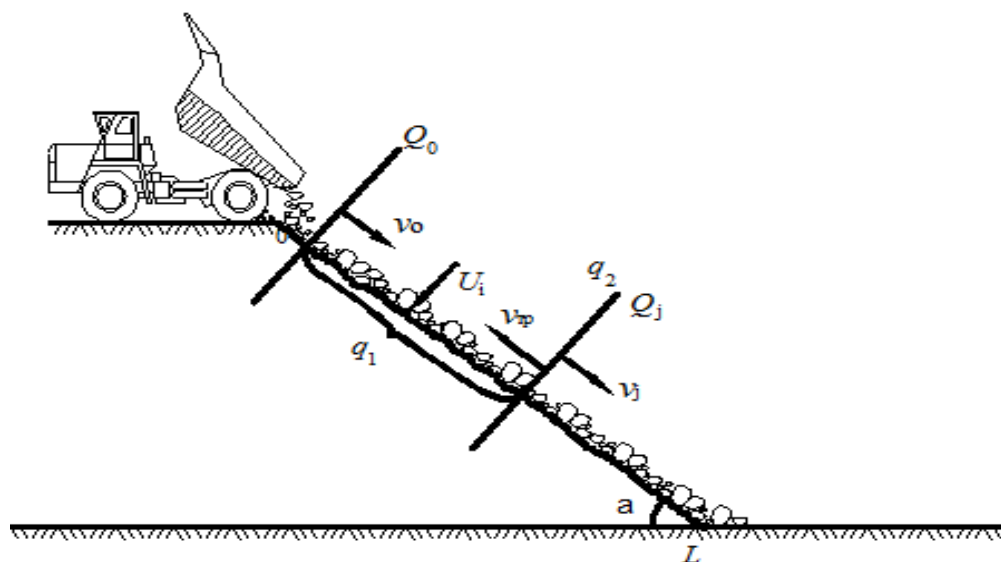


Рис. 1.2. Схема разделения потока сыпучего материала по шероховатой наклонной поверхности откоса отвала

Исходными данными для построения математической модели служат следующие параметры: начальная скорость движения по откосу v_0 , м/с; объем загруженной в кузов автосамосвала горной массы или объем призмы волочения бульдозера V_0 , м³; ширина кузова автосамосвала или лемеха бульдозера b , м; высота лемеха бульдозера $h_{\text{лем}}$, м; высота отвала H , м; длина отвала l , м; расстояние от верхней бровки отвала до i -й точки его сечения x , м; угол отвала α , град; угол внутреннего трения φ , град; коэффициент внутреннего трения сыпучего материала $f = \text{tg}\varphi$; ускорение свободного падения g , м/с²; время разгрузки t , с; коэффициент живого сечения шероховатой поверхности отвала λ ; концентрация i -го куска в исходной отсыпаемой сыпучей массе P_i , дол.ед.; размер отдельного куска в сыпучей массе d_k , м; $d_{\text{п}}$ – диаметр пор на откосе, м; максимальный диаметр куска в сыпучей массе d_{max} , м; момент инерции вращения куска заданной формы (шар, параллелепипед, эллипсоид) J , кг·м²; эксцентриситет куска (отношение толщины куска к его ширине) ε ; $k_{\text{ф}}$ – динамический коэффициент формы; $h_{\text{ш}}$ – глубина шероховатости, м; α_r – коэффициент гистерезисных потерь при движении внедряемого тела в пору поверхности; коэффициент гистерезисных потерь при одноосном растяжении – сжатии α_0 , являющийся эмпирической характеристикой трения физического материала.

Величины α_0 и α_r в теории трения определяются экспериментально и связаны парой трущихся тел: железо – железо, камень – железо и т.д. В условиях решаемой задачи α_0 можно принять в качестве коэффициента пропорциональности, и в дальнейшем это может являться предметом исследований. Выход кусковой фракции на высоте отвала h_j определяется так же из выражения (1.3).

Основным конечным результатом разработанной математической модели является гранулометрическая характеристика сыпучего материала в любом сечении отвала отвала, определяемая по совокупности рассчитанных значений выхода γ_{ij} . Величина γ_{ij} зависит от физико-механических свойств сыпучего материала, горнотехнических факторов и параметров горнотранспортного оборудования.

Следует заметить, что предлагаемая модель разделительного процесса рассматривает сползание горной массы как некоего консолидированного образования, с коэффициентом разрыхления породы, незначительно отличающимся от величины коэффициента разрыхления в транспортном сосуде и постоянным коэффициентом внутреннего трения сыпучего материала $f = \operatorname{tg} \varphi$.

Такое представление оправдано, скорее всего, для начальной стадии сползания горной массы по откосу, или для случая, когда объем сползающего материала по всей длине откоса не дезинтегрирован сегрегацией настолько, что бы рассматривать «свободное движение» частиц. «Свободное движение» в том смысле, чтодвигающиеся частицы настолько рассредоточены, что основным взаимодействием их в гравитационном поле становится явление соударения друг с другом.

Процесс движения горной массы по откосу в реальных условиях отвалообразования можно условно разделить на три фазы:

- первая фаза - это фаза движения горной массы в виде консолидированного образования, с коэффициентом разрыхления, обеспечивающим определенную стабильность объема рыхлых пород в данный момент времени. Другими словами, подобное состояние можно охарактеризовать ситуацией, когда, в процессе движения рыхлой горной массы, практически каждая ее отдельность (кусок) испытывает постоянное объемное взаимодействие, то есть действие окружения со всех шести условных направлений;

- вторая (промежуточная) фаза характеризуется постепенным увеличением числа отдельностей, движение которых напоминает хаотически сталкивающиеся свободные частицы;

- третья фаза - это фаза «свободного движения» отдельностей, то есть когда подавляющее большинство частиц при своем движении периодически испытывают действие окружения с одного, максимум с двух направлений.

Вклад каждой из фаз в разделительный процесс горной массы двигающейся по откосу определяется свойствами горных пород, общей высотой отвала, производительностью отвалообразования (исходным потоком горной массы), технологией и параметрами процесса отвалообразования.

В работах Е. С. Лапшина [73] по развитию теории вибрационного грохочения, впервые при математическом описании кинетики процесса просеивания и вибрационного транспортирования частиц различной формы, учтены закономерности сегрегации.

Так для учета вероятностного характера перемещения частиц под действием вибрации математическое описание процесса грохочения выполнено с помощью марковской неоднородной цепи. При этом элементами стохастической матрицы являются вероятности переходов частиц по высоте слоя, а также вероятности просеивания, забивания и самоочистки сита. Структура матрицы изменяется по мере уменьшения высоты слоя. Показатель степени, в которую возводится матрица, зависит от режима вибротранспортирования. Такой подход позволил описать кинетику грохочения с учетом закономерностей сегрегации, просеивания, вибротранспортирования, формы частиц и отверстия, изменения высоты слоя. Как результат это позволило определить условие для определения рационального режима вибровозбуждения, при котором сколько поступило мелких частиц в контактный слой в результате сегрегации, столько их и убыло вследствие просеивания и перемешивания.

Применение подобного подхода к описанию процесса сегрегации горной массы на откосе яруса представляется несколько проблематичным, поскольку частицы исходного материала в режиме вибровозбуждения находятся во взвешенном, то есть достаточно разряженном состоянии. Это дает основание утверждать, что подобный процесс имеет аналогию в нашем случае только с фазой «свободного движения».

При гидравлическом складировании отходов обогащения осуществляется намыв шламов. В процессе седиментации минеральных зерен формируются отложения с определенным распределением полезного компонента, то есть формируются отложения с изменяющимся вдоль пляжа хвостохранилища гранулометрическим и минералогическим составом, а значит, создается природный ресурс будущих периодов. В работах А. Ишимова и К. Дребенштедта [36, 50 - 52] на основе исследования процесса седиментации при складировании шламов обогаще-

ния предложены не только пути по созданию техногенных месторождений определенного качества, но и дана экономическая оценка целесообразности создания подобных месторождений. Однако к насыпным месторождениям эта теория не может быть применена.

Стоит отметить, что на ряде месторождений выявлена устойчивая статистическая закономерность: качественные показатели мелких фракций минерального сырья значительно отличаются от соответствующих характеристик в крупных классах. Э. И. Черней на основании теоретических и экспериментальных исследований по разведке и разработке россыпных месторождений золота традиционными способами и геотехнологическими методами выдвинул гипотезу относительно закономерностей количественного распределения минералов в техногенных россыпях [53]. Было установлено, что при укладке хвостов в отвал с использованием гидроэлеваторных приборов в результате сегрегации твердых компонентов пульпы образуется техногенная россыпь в форме усеченного конуса. Установление закономерностей образования техногенной россыпи опиралось, в первую очередь, на наличие в породах, слагающих отвалы, минералов, отличающихся высокой плотностью. При этом в теле геометрической фигуры образуется эрозионная депрессия в форме опрокинутого обелиска, расположенная в верхнем основании конуса и ядро в форме обелиска, к которому приурочена основная масса минералов, теряемых при обогащении. Научная гипотеза и последовательность образования зоны концентрации минеральных зерен поясняется рис. 1.3.

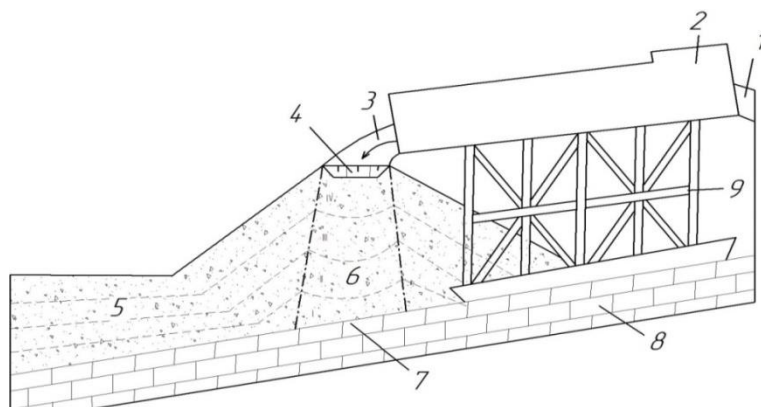


Рис. 1.3. Последовательность образования ядра - 6 при расположении техногенной россыпи (отвала) - 5 на плотике - 8.

Дополнительно на рис.1.3 указано: 1 – трубопровод; 2 - обогатительный шлюз; 3 – падающий поток пульпы; 4 – эрозионная депрессия в форме опрокинутого обелиска; 7 – нижнее основание ядра; 9 – металлическая конструкция.

Размеры нижнего основания ядра – длина D_1 и ширина B_1 определяются соотношением (1.4)

$$D_1 = D + 2H_{\max} \times \operatorname{tg}\alpha, \quad (1.4)$$

$$B_1 = B + H_{\max} \times \operatorname{tg}\alpha.$$

где: D и B - размеры эрозионной депрессии по верху, м; α – угол падающего потока, град.; H_{\max} – максимальная высота падения, м.

Подобные проявления имеют место при скважинной гидродобыче полезных ископаемых, когда наблюдается процесс формирования техногенных россыпей тяжелых металлов при их намыве в яру, балке и в низине. При этом форма, место расположения и параметры зон повышенной концентрации тяжелых металлов в теле техногенного месторождения могут быть определены на основании установленных закономерностей [51 - 53].

Закономерности количественного распределения минералов в техногенных россыпях могут быть эффективно использованы для поиска техногенных россыпей по эрозионным депрессиям с последующей селективной выемкой ядер в форме обелиска.

Исследованиями И. И. Попова, Р. П. Окатова и Ф. И. Низаметдинова [74] установлено, что основным цементирующим материалом в отвалах является фракция размером до 3 мм, при уплотнении которой возникает сцепление пород. Такие породы относятся по гранулометрическому составу к мелкой фракции, а куски породы размером более 40 см – к крупной. Размер пород крупной кусковатости обусловлен в большей степени естественной интенсивностью трещиноватости скального массива горных пород, слагающих борта карьера. Фракции размером от 4 мм до 10 см отнесены к средней кусковатости. Эта фракция образуется в результате измельчения породы при производстве массовых взрывов, погрузке, транспортиро-

вания и перемещении по откосу отвалов. Как правило, эта фракция располагается в средней части отвала.

Было установлено, что фракция 0 - 5 см распространена по откосу в основном до 30 м от верхней бровки или до 18 м по высоте от верхней площадки отвала. В этой зоне задерживаются и более крупные куски породы чаще всего плитчатой и параллелепипедной формы.

Фракция от 5 до 40 см имеет преимущественное распространение от 10 до 30 м по высоте отвала. Фракции этой категории заполняют пустоты между крупно-обломочными породами с $d_{cp} \geq 40$ см в нижней части откоса и перемешивается с мелкой фракцией в верхней его части.

Цементирующий материал (размеры породных частиц менее 3 мм) находится в зоне пород с фракцией $d \leq 5$ см. График изменения содержания фракции $d \leq 5$ см в отвале можно считать за закономерность распределения цементирующего материала по высоте.

Таким образом, в отвалах образуется слоистая структура. Верхний слой, с преимущественным содержанием кусков с $d \leq 5$ см, можно рассматривать как сплошную среду. В ней при наличии цементирующего материала возникают дополнительно к трению и силы сцепления.

Средний слой имеет большее разуплотнение, чем верхний, и требует значительной уплотняющей нагрузки для появления сил сцепления.

В нижней части отвала массив пород находится в равновесии в основном за счет сил трения по граням блока. Так как породы, отсыпаемые в отвал, очень крепкие и практически не размываемые, то этот слой практически не подвергается осадке и уплотнению. Он может выдержать большую нагрузку.

Таким образом, отыскание оптимального взаимоотношения различных моделей сегрегации с целью адекватного описания движения горной массы в реальных условиях, представляет собой один из актуальных вопросов современного развития теории процесса, который исследован недостаточно.

Выводы по разделу 1

1. Применяемые на горных предприятиях технологии складирования различных горных пород приводят к их перемешиванию, при том, что они могут представлять потенциально полезные ископаемые. В этом случае подобные техногенные образования крайне затруднительно рассматривать в качестве техногенных месторождений. Следовательно, важной научной и практической задачей является изыскание технологических схем складирования горных пород, при которых происходило бы их разделение по потребительским качествам.

2. Недостаточное внимание уделяется отходам переработки металлургических флюсов на флюсодобывающих предприятиях, которые вынужденно складироваться (более 2.5 млн. т сухих отходов в год), при том, что они по своим свойствам и по содержанию полезных компонентов могут рассматриваться как потенциально-полезные ископаемые.

3. Явление сегрегации сыпучих горных пород в различных технологических процессах горного производства является существенным явлением. Целенаправленное использование сегрегации, с учетом особенностей технологических процессов, открывает значительные возможности в решении следующих проблем:

- по комплексному использованию минеральных ресурсов;
- в прогнозировании параметров и качественной оценке массива горных пород техногенных месторождений;
- в управлении качеством продукции, в том числе, и его потребительскими свойствами;
- в решении задач по управлению устойчивостью откосов отвалов и складов готовой продукции;
- по реализации новых требований в сфере использования природных, и в первую очередь, земельных ресурсов.

4. Сегрегация в практике горного производства, за исключением обогащительных процессов, практически не используется. Так сегрегация не учитывается на стадии складирования для повышения качества рудного сырья, при создании

техногенных месторождений заданной структуры, отсутствует единый методологический подход в описании процесса сегрегации для различных технологических процессов горнорудного производства.

5. Существующие технологии выемки и последующей переработки нерудного сырья, в том числе и флюсов, на этапе складирования приводят к отклонению качества конечной продукции от предъявляемых потребителем требований по предельному содержанию в ней определенных фракций, что требует дополнительных затрат на повторное грохочение.

РАЗДЕЛ 2. УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СЕГРЕГАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

2.1. Особенности проявления сегрегации в технологических процессах образования техногенных месторождений

Разработка новых способов формирования техногенных месторождений с обеспечением сохранности или созданием новых технологических свойств складированных отходов или вскрышных пород позволяет создавать техногенные месторождения с заранее заданными свойствами.

Состояние горных пород, как объекта воздействия, претерпевает определенные изменения под влиянием того или иного технологического процесса. Так гранулометрический состав горной породы может изменяться как в результате непосредственного технологического воздействия на неё, так и в результате определенных природных проявлений. К числу последних относится гравитационная сегрегация – одно из наиболее существенных природных явлений, которое имеет место при отвалообразовании горных пород, складировании полезного ископаемого, в обогатительных процессах и т.п. Изучение закономерностей гравитационной сегрегации, их увязка с параметрами технологических процессов, свойствами горных пород – это один из путей формирования техногенных месторождений с целью повышения эффективности открытых горных работ.

Для повышения эффективности разделительного процесса, в обогащении разработаны способы и средства на основе использования гравитационных сил, тангенциальной и нормальной вибраций. Так, например, вибрационное грохочение широко применяют в горной, металлургической, химической и многих других отраслях, которые связаны с переработкой сыпучего сырья. Эффективность и высокая производительность этого процесса обеспечивается в результате грохочения, которое производят толстым слоем в режиме подбрасывания сырья. Общеизвестно, что этот процесс в данном случае происходит в результате сегрегации,

просеивания и вибротранспортирования. Интенсивность этих составляющих зависит от грансостава, формы частиц, физико-механических свойств сырья, высоты слоя, конструктивных и динамических параметров грохота. В связи с возросшими требованиями к качеству флюсового сырья (см. Приложение А), возникает необходимость в эффективном решении проблемы уменьшения замельчения над-решетной фракции, которая выводит её, зачастую, за допустимые пределы.

На рис. 2.1 изображен склад готовой продукции - известняка обычного фракции $80 \div 130$ мм, с четко обозначенной областью концентрации «мелочи» в центральной (обелисковой) верхней части насыпи.



Рис. 2.1. Проявление сегрегации на складе готовой продукции известняка

Одна из основных причин подобного негативного явления кроется как в свойствах минерального сырья, так и в самой технологической схеме переработки и применяемом оборудовании. Доизмельчение кусков породы происходит за счет соударения в процессе транспортирования на конвейерной ленте, на перепускных устройствах, при скатывании по откосу насыпи и т.п.

2.2. Моделирование процесса формирования отвала скальных пород и отходов переработки известняков и доломитов

Недостаточная изученность физического механизма, как самого процесса сегрегации горных пород, так и особенностей проявления этого явления в технологических процессах горного производства, определила необходимость проведения целенаправленных лабораторно-промышленных исследований. С этой целью были проведены эксперименты на специальном стенде, который позволяет моделировать процесс сегрегации для реальных объектов.

Стенд (рис. 2.2) представляет сборный короб прямоугольной формы с размерами $2000 \times 1000 \times 500$ мм. Стенд состоит из металлического каркаса 1, несущие элементы которого выполнены из металлического уголка – 75 мм ГОСТ – 6785. Для удобства проведения линейных и угловых измерений, на горизонтальные и вертикальные ребра передней стенки (металлические уголки каркаса) нанесена разметка с ценой деления 0,5 см. Соединение металлических элементов каркаса короба – разъемное с помощью болтов $d = 8$ мм. Боковая поверхность – передняя стенка 2 выполнена стеклянной (стекло класса «сталинит» толщиной 8 мм) для визуального наблюдения за процессом отсыпки и структурой моделируемого отвала, а задняя стенка (на рис. 2.2. не показана) – фанерный щит на деревянном подрамнике, то есть представляет собой сплошную, слегка шероховатую ровную поверхность.

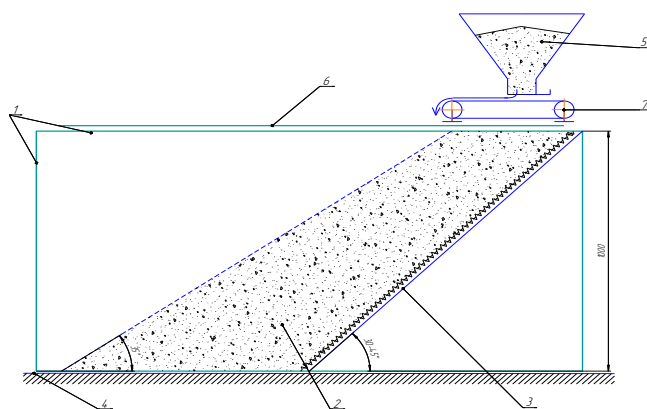


Рис. 2.2. Схема лабораторного стенда: 1 – каркас короба; 2 – передняя стенка короба; 3 – плоский наклонный щиток с переменным углом установки; 4 – горизонтальное основание; 5 – бункер; 6 – направляющие; 7 – питатель

Внутри стенда, для моделирования отгрузки на наклонную поверхность, устанавливается щиток 3, угол установки, которого можно варьировать от 0 до

45°. Поверхность щитка футерована слоем отсыпаемого материала. Стенд устанавливается на горизонтальное основание 4. Загрузку стенда исходным материалом можно осуществлять как при помощи конвейерного питателя 7, установленного под бункером 5 и способного перемещаться по направляющим 6, так и посредством специального скребка (на рисунке скребок не обозначен). Таким образом, в первом случае моделируется работа конвейерных отвалообразователей, а во втором отвалообразование с применением бульдозеров и автомобильного транспорта.

Цель проведения экспериментов состояла в исследовании закономерностей разделения скального сыпучего материала по крупности при отсыпке его на горизонтальное основание и на наклонную плоскость, которая устанавливалась под различными углами (в т. ч. под углом естественного откоса).

В процессе проведения экспериментов отсыпка опытных штабелей производилась сыпучим (щебеночным) материалом с различным гранулометрическим составом и влажностью. При этом ставились следующие задачи:

- установить взаимосвязь между углом естественного откоса штабеля и гранулометрическим составом слагающих его пород для заданной влажности массива, что практически не определялось при проведении подобных экспериментов;
- установить закономерности формирования внутренней структуры техногенных формирований различной формы (слой, конус) в зависимости от режима отсыпки (имитация конвейерной непрерывной разгрузки или автомобильной разгрузки на откос с последующим бульдозерным сталкиванием);
- исследовать характер изменения качественных показателей горной массы при формировании техногенных объектов;
- оценить разделительную способность наклонной плоскости (откоса);
- оценить влияние исходного гранулометрического состава сыпучего материала на проявление эффекта сегрегации.

Исходным материалом для засыпки стенда служили хвосты обогащения известняков и доломитов ДОФ №1 ЧАО «Докучаевский флюсо-доломитный комбинат» («ДФДК») крупностью 0 - 60 мм и товарное сырье «известняк флюсовый

обычный» крупностью 20 – 50, 40 – 80, 80 - 130 мм. Материал предварительно был просушен естественным образом (под навесом) при температуре 25 – 32 °С. Путем сухого отсева материала на ситах с ячейками размером 2.5, 5.0, 15.0, 20.0, 40.0, 80.0 мм были получены соответствующие классы крупности 0 – 2.5, 2.5 – 5.0, 5.0 – 15.0, 15.0 – 20.0, 20.0 – 40.0, 40.0 – 80.0, 80.0 – 130.0 мм. Из этих классов составлялись смеси заданного грансостава, в том числе и смеси, которые моделировали бы грансостав скальной вскрыши, то есть взорванной породы на карьерах ЧАО «ДФДК», ЧАО «Новотроицкое рудоуправление» («НТРУ») и ЧАО «Комсомольское рудоуправление» («КРУ»). Для прогнозирования результатов экспериментов для реальных техногенных формирований был принят масштабный фактор 1:10. Проведено было четыре эксперимента по следующим схемам:

1. Определение углов естественного откоса для выделенных классов крупности проводилось при формировании плоскости откоса насыпи на высоту стенда. Формирование насыпи осуществлялось посредством питателя, путем непрерывной отсыпки сухого материала первоначально на поверхность щитка 3 (см. рис. 2.3), установленного под углом 30° , а после на сформированный из сыпучего материала откос.

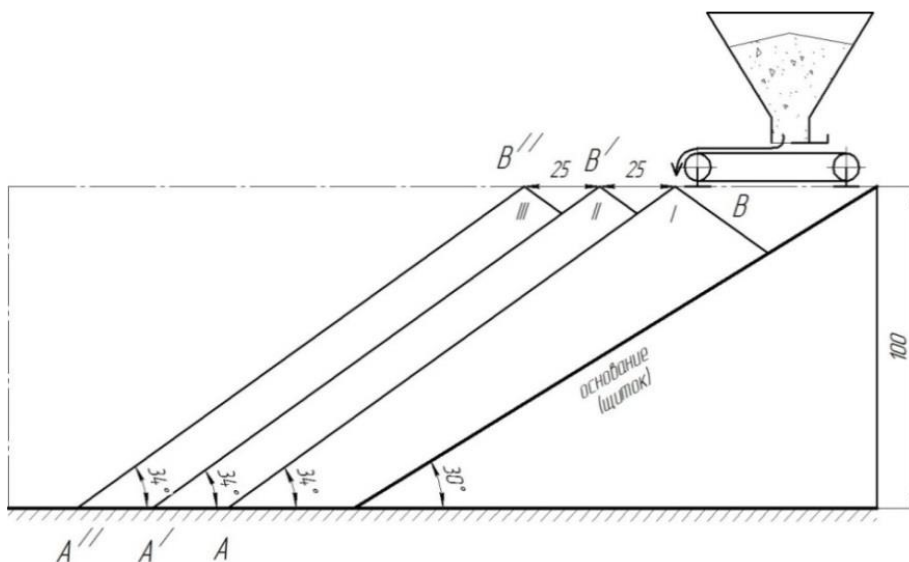


Рис. 2.3. Схема эксперимента по определению угла естественного откоса

При достижении вершины насыпи максимальной высоты стенда в 1.0 м, определялось значение угла естественного откоса по замерам координат узловых точек. После этого питатель перемещался по направляющим на 0.25 м вперед, и

процедура отсыпки повторялась (рис. 2.3). Осуществлялось три отсыпки, угол измерялся для каждого вновь образованного откоса, после чего определялось среднее арифметическое значение угла естественного откоса для материала заданной крупности и влажности.

Следующими этапами эксперимента являлось измерение углов естественного откоса для влажного и мокрого материала. Это достигалось путем механического перемешивания, с увлажнением ранее используемой сыпучей сухой горной массы. Расход воды на увлажнение определялся в соответствующих долях от массы предварительно взвешенного на напольных весах сухого материала с точностью до 0.1кг. Весовая влажность на этом этапе эксперимента, в первом случае, составляла $W = 12\%$, а во втором – $W = 17\%$ и более для мелкой фракции.

Значение углов естественного откоса для материала разной крупности и влажности, полученное в результате эксперимента, приведено в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значение углов естественного откоса в зависимости от класса крупности и влажности породы

Класс крупности, мм	Угол естественного откоса штабеля пород, (град. мин.)		
	Сухие породы	Влажные породы (весовая влажность $W = 12\%$)	Мокрые породы ($W \geq 17\%$)
0 – 2.5	38° 20'	42° 00'	21° 30'
2.5 – 5.0	38° 00'	40° 30'	27° 50'
5.0 – 15.0	36° 30'	36° 45'	32° 30'
15.0 – 20.0	34° 35'	36° 20'	33° 15'
20.0 – 40.0	34° 30'	34° 55'	33° 55'
40.0 – 80.0	34° 00'	34° 30'	33° 50'
80.0 – 130.0	33° 55'	34° 15'	34° 10'

2. Для определения закономерностей распределения сыпучих скальных пород по крупности в насыпи в форме конуса, был проведен эксперимент по следу-

ющей схеме (рис.2.4). На горизонтальное основание стенда из одного положения питателя производилась непрерывная отсыпка скального сыпучего материала приготовленного гранулометрического состава с естественной влажностью. Материал соответствовал характеристике крупности отходов ДОФ №1 ЧАО «ДФДК» (табл. 2.2). По достижению гребнем насыпи высоты в 1 м, отсыпка прекращалась. Для осуществления внутреннего контроля, насыпь делилась на слои, каждый слой на заходки. В силу симметрии процесса обработке подвергалась левая половина штабеля. Материал каждой заходки взвешивался с точностью до 0,1 кг, рассеивался на ситах, и каждая фракция взвешивалась.

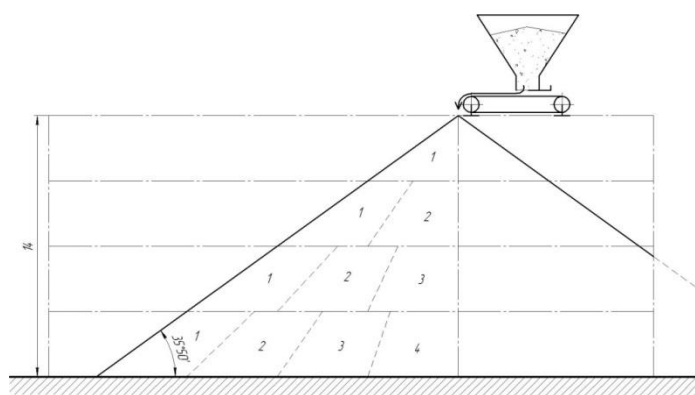


Рис. 2.4. Схема эксперимента для изучения внутренней структуры насыпи в форме конуса с выделенными слоями и заходками

Таблица 2.2

Результаты ситового анализа отходов ДОФ №1 ЧАО «ДФДК»

Классы, мм	Выход			
	Классов		Суммарный по плюсу, %	Суммарный по минусу, %
	кг	%		
-80+40	3.0	0.2	0.2	100.0
-40+20	48.4	3.2	3.4	99.8
-20+15	83.2	5.5	8.9	96.6
-15+5	420.4	27.8	36.7	91.1
-5+2.5	214.7	14.2	50.9	63.3
-2.5+0	742.5	49.1	100.0	49.1
Итого	1512.2	100	-	-

3. Формирование штабеля на полную высоту осуществлялось непрерывной подачей дробленого материала, первоначально на наклонный щиток, а после на поверхность сформированного откоса с постепенным перемещением бункера – питателя по направляющим. Таким способом отсыпки имитировалась конвейерная отсыпка техногенного образования с максимальным вылетом точки разгрузки – отвальной консоли отвалообразователя (рис 2.3) и с минимальным вылетом (рис. 2.5).

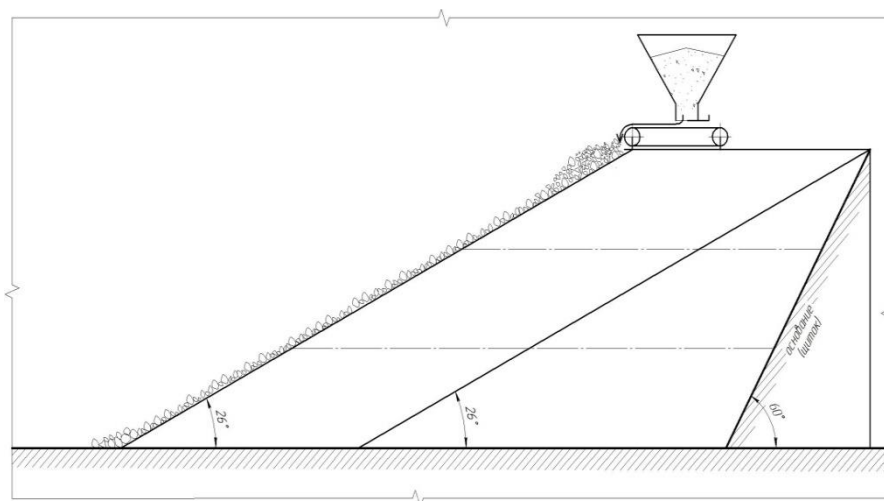


Рис. 2.5. Схема эксперимента имитирующего конвейерную отсыпку техногенных образований

Отгрузка штабеля производилась слоями, каждый слой в свою очередь делился на заходки. Материал каждой из заходок 1 – 5 (см. рис. 2.6) взвешивался с точностью до 0,1 кг, рассеивался на ситах, и каждая фракция взвешивалась. Таким образом, осуществлялся внутренний контроль отгрузки штабеля (баланс массы).

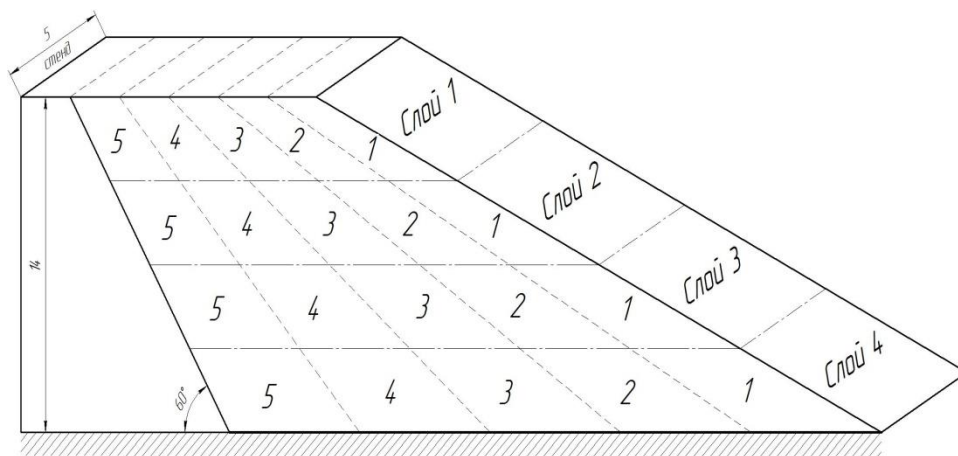


Рис. 2.6. Схема обработки опытного штабеля

4. В завершающем эксперименте отсыпка производилась по схеме: в точку разгрузки отсыпалось три равных порции сыпучего материала объемом 10 дм^3 так, что две порции ссыпались под откос сразу за бровкой, а третья – на бровку. После заполнения всего фронта штабеля, для чего требовалось до шести порций материала, специальным скребком производилось сталкивание массы под откос, этим имитировалась работа бульдозера. Затем все операции повторялись до полного заполнения стенда (рис. 2.7).

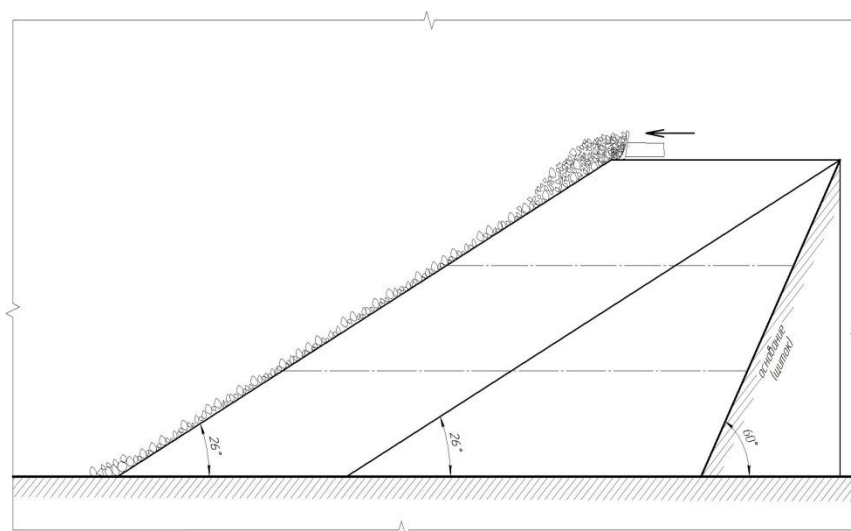


Рис. 2.7. Схема эксперимента имитирующего работу бульдозера на отвале

Камеральная обработка материалов состояла в расчете выхода различных фракций рудной массы для каждой заходки. Каждая заходка получила геометрическую привязку к узловым точкам стенда, что позволило закоординировать положение заходок и результатов ситового анализа по каждой заходке..

Использование метода изолиний на поверхностях с числовыми отметками дало возможность интерпретировать закономерности, сопутствующие процессу сегрегации (рис. 2.8).

Основные выводы по результатам экспериментальных исследований сводятся к следующему:

1. При отсыпке сыпучих пород на горизонтальное, либо на наклонное основание происходит установление определенного угла естественного откоса, который для данного типа пород определяется в основном классом крупности и влажностью и не зависит от способа формирования насыпи (табл. 2.1).

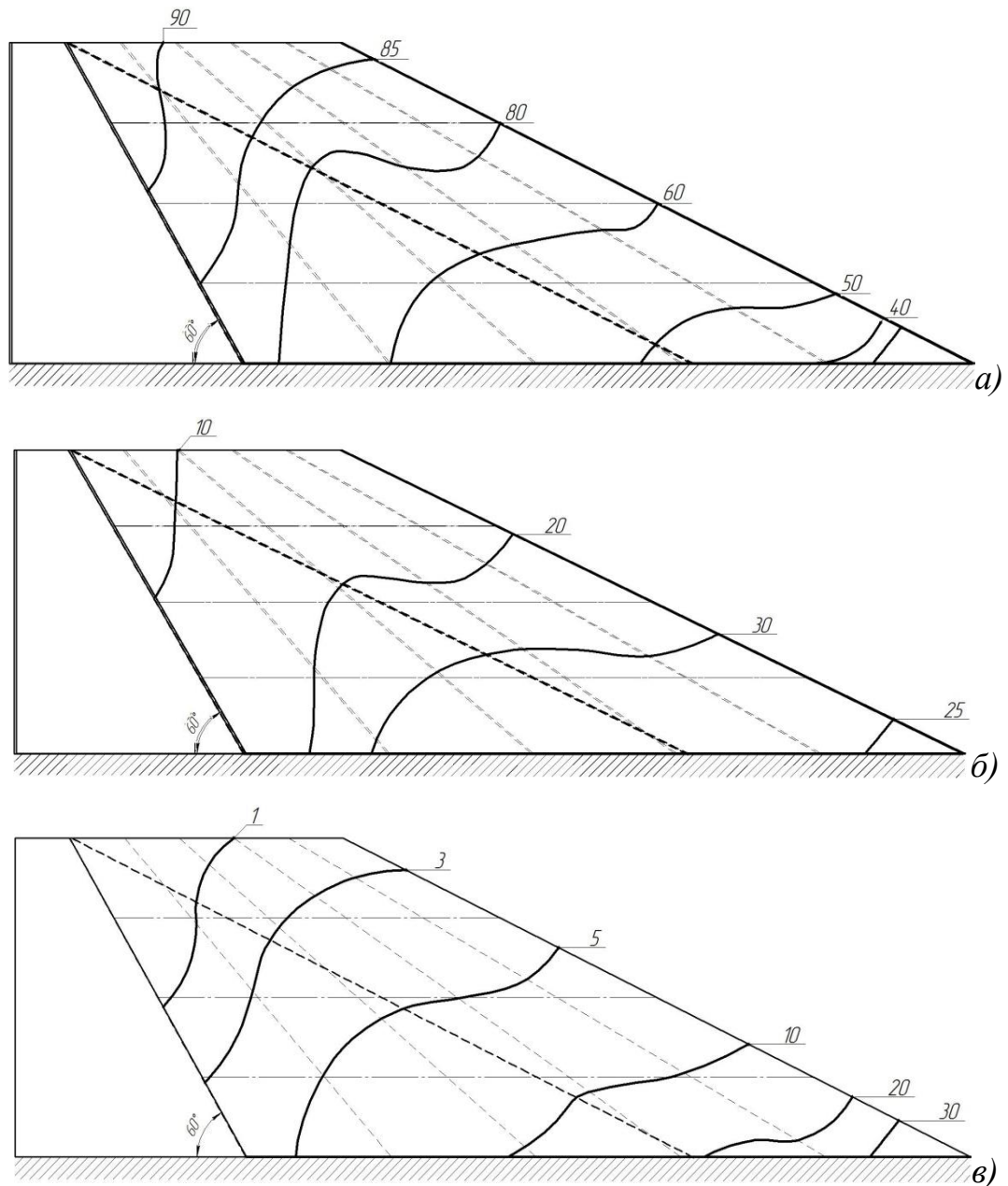
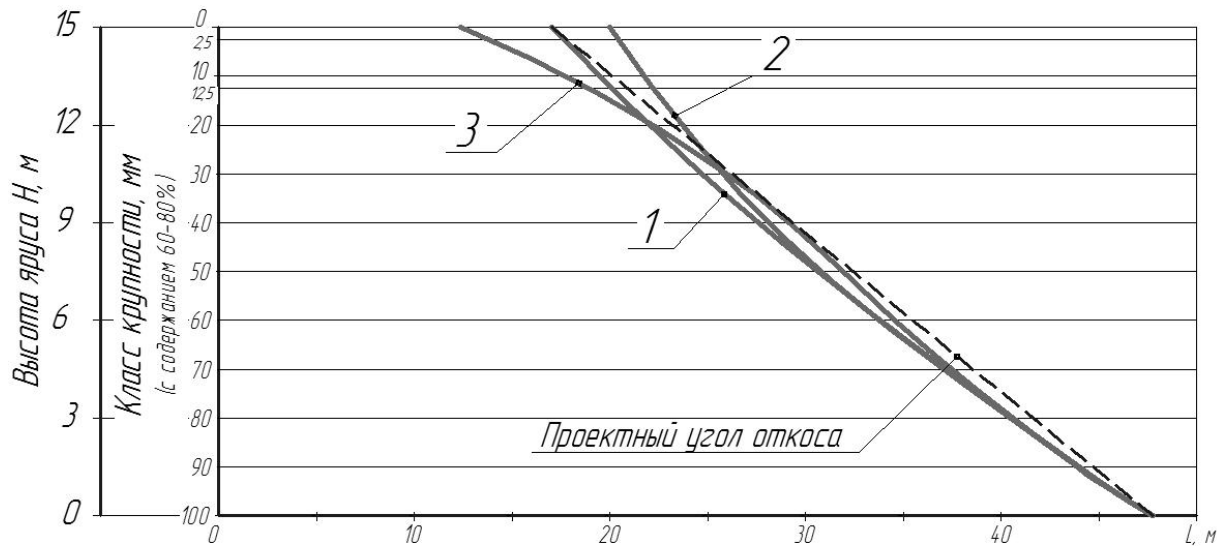


Рис 2.8. Изменение фракций различной крупности в опытном штабеле: *а, б, в* – фракции 0 – 5, 5 – 15, +15 мм.

2. Реальная поверхность откоса техногенного формирования, сложенного из сыпучих горных пород, имеет определенную кривизну, которая определяется распределением масс по крупности в результате сегрегации и влажностью слагающих пород. (рис. 2.9).



Форма откоса для пород:
 1 - естественной влажности; 2 - влажных; 3 - мокрых

Рис. 2.9. Форма откоса в зависимости от грансостава влажности материала

Аналитические зависимости между углом естественного откоса и максимальным значением куска для соответствующего класса крупности горной породы с учетом влажности исходного материала представлены на рис.2.10.

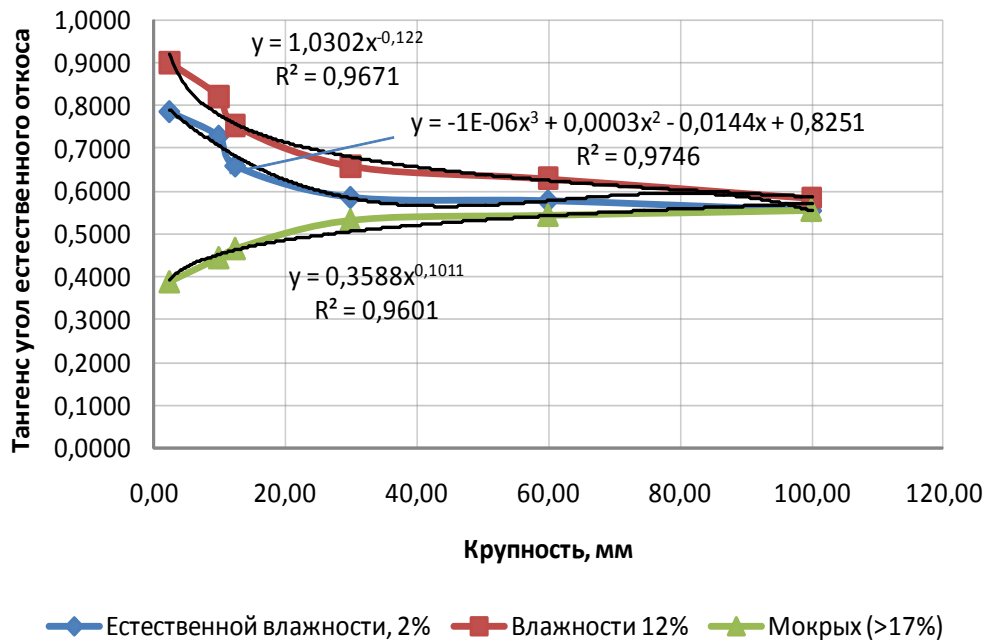


Рис. 2.10. Изменение угла (величины тангенса угла) естественного откоса штабеля от класса крупности материала и его влажности

3. При отсыпке штабеля из скальных сыпучих пород определенного гранулометрического состава происходит перераспределение масс по крупности материала. В верхней части штабеля доминирует мелкая фракция, в нижней части – крупная. При этом более качественное разделение (сегрегация) наблюдается при подаче исходного материала имитирующей конвейерную разгрузку, поскольку в этом случае обеспечивается максимальное рассредоточение слагающих частиц при падении на откос. При сталкивании материала скребком (имитация работы бульдозера) сегрегация выражена слабее, особенно в верхнем слое штабеля.

4. В поперечном сечении штабеля выделяются три зоны формирования его внутренней структуры. Первая прилегает непосредственно к пионерной насыпи и ограничивается поверхностью с углом естественного откоса. Вторая занимает основной объем штабеля и характеризуется достаточно стабильным, устоявшимся соотношением масс различных фракций. Третья зона отсыпки непосредственно прилегает к поверхности штабеля (рис 2.11).



Рис. 2.11. Сечение штабеля (фото), отсыпанного на наклонное основание. Визуально отмечается разный грансостав материала по простиранию и по мощности штабеля

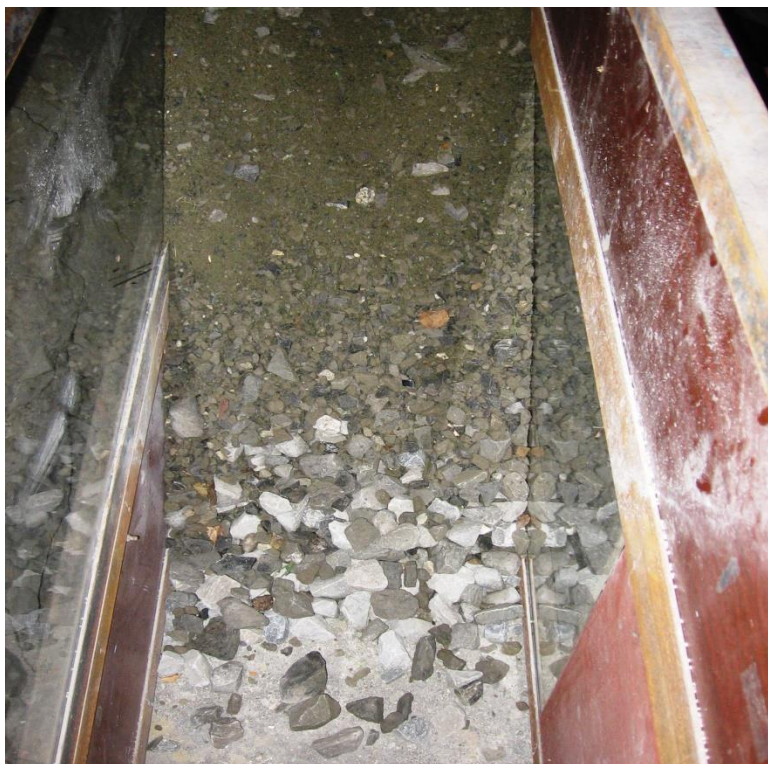


Рис. 2.12. Распределение масс по фронту откоса (зона – 3).

5. Распределение масс по крупности в третьей зоне (рис. 2.11 и 2.12) (вид поперечного сечения откоса и вид по фронту откоса) значительно отличается от распределения масс внутри штабеля (особенно характерная область прилегания штабеля к основанию).

6. Распределение масс по крупности во второй зоне (средняя часть штабеля) практически не отличается от распределения масс исходного материала

7. Отмечается закономерность: отсыпка производится наклонными слоями, а распределение масс по крупности формирует слои, параллельны основанию штабеля. Особенно это наглядно проявляется для крупной и мелкой фракций.

8. Из-за слоевой внутренней структуры вытекает, что плотность укладки материала в штабеле неравномерная. Это приводит к «пятнистой» структуре массива и образованию особых внутренних зон, то есть зон с пониженной плотностью укладки. Наименьшая плотность укладки наблюдается в нижней передовой области штабеля, которая соприкасается с основанием отсыпки (рис. 2.13).

9. При наличии зависимости качества сырья от крупности материала общий характер изменения грансостава внутри тела штабеля определяет характер изменения содержаний контролируемых показателей и внутренней структуры штабеля.

10. При отсыпке штабеля толстыми слоями (имитация бульдозерного отваллообразования) и при значительном отличии зерен от величины среднего куска (отличие в 2 – 3 раза и более), поперечное сечение тела штабеля сохраняет слоевую структуру. Это обстоятельство делает малоэффективным способ разделения тела техногенного месторождения на подступы по критерию качества. Из этого

следует, что формирование тел техногенных месторождений предпочтительнее производить тонкими слоями, чем толстыми слоями, а значит, эффективность сегрегации зависит от степени рассредоточения между частицами, которые перемещаются по откосу. Степень рассредоточенности частиц горной массы по мере сползания по откосу возрастает.



Рис. 2.13. Распределение и плотность укладки в передовой части штабеля (вид с боку)

11. Экспериментально установлено, что разделительная способность наклонной поверхности зависит от степени рассредоточенности частиц исходного материала в начальный момент движения по откосу. Наилучшая степень разделения по крупности наблюдается при имитации конвейерной отсыпки, наихудшая при укладке толстыми слоями (имитация бульдозерного отвалообразования).

12. Экспериментально установлено, что разделительная способность наклонной поверхности насыпных тел увеличивается по мере возрастания высоты штабеля, а ее способность к торможению (удержания) кусков породы – «шероховатость» возрастает по откосу сверху – вниз, то есть к основанию штабеля.

13. При росте влажности сыпучего материала процесс сегрегации происходит менее эффективно. В процессе сползания массы происходит втирание мелких фракций в пространство между кусками крупных фракций. Постепенно просеиваясь, фракции-заполнители перемещаются от верха до основания штабеля, что позволяет сделать вывод о том, что для сыпучей горной породы определенного гранулометрического состава существует оптимальная высота наклонной поверхности эффективного разделения.

Отсыпка сыпучего материала на откос тонкими слоями позволила установить зависимость угла естественного откоса насыпи от влажности материала и его крупности, которая, в свою очередь, меняется по откосу. При влажности пород до 17% наблюдается уменьшения угла стояния пород одновременно с увеличением крупности пород по откосу. При влажности больше 17% для крупности 0-5 мм наблюдается обратная зависимость (верхняя часть насыпи). Для крупных фракций влияние влажности на зависимость угла естественного откоса от крупности не выражено.

Подобное влияние влажности горных пород на угол естественного откоса можно объяснить следующим образом. Если степень влажности породы определяется в основном водой, находящейся в капиллярной и пленочной фазе, то к силам сцепления между зернами материала добавляются сила поверхностного натяжения пленочной воды, что для мелкой фракции это приводит к увеличению угла откоса. Этому в значительной степени способствует наличие глинистых частиц, которые предрасположены к содержанию воды в подобных фазах. При появлении свободной воды, то есть гравитационной составляющей фазы, наблюдается резкое снижения сил сцепления между зернами материала из-за «смазывающего» слоя – свободной воды между частицами. Для крупных же кусков материала, силы сцепления значительно превышают силу поверхностного натяжения, а, следовательно, рост влажности существенно не влияет на зависимость угла естественного откоса от крупности материала.

Результаты физического моделирования процесса сегрегации отвальных пород дают возможность разработать математическую модель сегрегации, что рассмотрено далее.

2.3. Разработка математической модели для установления закономерностей управления процессом сегрегации горных пород

Сегрегация это результат неупорядоченного, случайного, непрогнозируемого поведения множества отдельностей (кусков) породы, т. е. есть следствие

хаотического процесса. В п. 1.3 отмечалось, что вероятностная природа подобных процессов описывается кинетическим уравнением диффузионного типа, которое является результатом развития теории описания стохастических явлений от соотношения Эйнштейна - Смолуховского до уравнения Фоккера - Планка, известное так же как прямое уравнение Колмогорова [68].

Уравнение Фоккера – Планка – одно из стохастических дифференциальных уравнений, которое описывает временную функцию плотности вероятности координат и импульса частиц в процессах, где важна стохастическая природа явления. Оно может быть обобщено на другие измеримые параметры (размер, масса и т. д.).

Общая форма уравнения Фоккера – Планка для N переменных имеет следующий вид:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \left[- \sum_{i=1}^N \frac{\partial}{\partial x_i} D_i^1(x_1, \dots, x_N) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} D_{ij}^2(x_1, \dots, x_N) \right] W,$$

где W – функция плотности вероятности, описывающая вероятность того, что частица имеет скорость в интервале $(v, v + dv)$, если в момент времени 0 она имела начальную скорость v_0 , D^1 вектор сноса и D^2 тензор диффузии, причем диффузия вызвана действием сил стохастической природы.

Строгое решение данного уравнения представляет собой функцию распределения исследуемого показателя в поле задаваемого пространства. Тем не менее, в большинстве случаев решение дифференциального уравнения упирается в численные методы, а само представление результатов сложно для восприятия. Трудности математического описания процесса сегрегации приводит к введению в аналитические зависимости вспомогательных коэффициентов, которые затрудняют инженерные расчеты и не позволяют достигнуть адекватного описания движения горной массы в реальных условиях горных работ.

Моделирование эффекта сегрегации, которое имеет место при формировании простейших техногенных объектов из сыпучих горных пород, осуществляется на основании фундаментальных законов теоретической механики. При этом должны быть соблюдены следующие требования:

- математическая модель, во-первых, должна учитывать характеристики горной массы (гранулометрический состав, связность элементов между собой, фактор «лещадности», физические свойства частиц);

- во-вторых, при реализации заданного характера взаимодействия между частицами, необходимо предусмотреть особенности взаимодействия этих частиц с основанием и стенками бункера;

- в-третьих, модель должна быть адаптирована к реальным схемам формирования техногенных объектов, т. е. учитывать особенности технологий.

Свойства горной массы определяется свойствами слагающих её отдельных частей – кусков. При гравитационной сегрегации важен выбор такого параметра, посредством которого, с одной стороны, можно было бы учесть форму, объем и плотность куска, а с другой, характеристику крупности исходного материала. Таким требованиям в наибольшей степени отвечает величина пропорциональная размеру среднего размера куска d_{cp} , то есть вводится характерный безразмерный параметр (размер куска) $R \sim d_{cp}/2$.

Обработка большого количества гранулометрических анализов продуктов дробления и измельчения горных пород показало, что во многих случаях лучшее соответствие опытным данным дает уравнение характеристики крупности (2.1), предложенное Розиным и Раммлером [75]:

$$V = 100 \exp(-b \cdot x^n) \quad (2.1)$$

где: V – суммарный выход класса x (по плюсу), %; x – размер отверстий сита; b, n – параметры, зависящие от свойств материала и размерности величины x .

В координатах $[\lg \lg 100/V; \lg x]$ уравнение (2.1) изображается прямой линией с угловым коэффициентом n .

Уравнение Розина – Раммлера охватывает опытные точки в широком диапазоне крупности, но оно не удовлетворяет одному конечному условию: нулевой выход классов достигается только при бесконечно большой крупности материала, то есть $V=0$ при $x \rightarrow 0$.

При использовании уравнения Розина – Раммлера, необходимо считаться с этим обстоятельством. Конечную крупность материала будем ограничивать определенным значением соответствующим рассматриваемым условиям (для взорванной горной массы – 900мм, для отходов обогащения, как показали пробные рассевы, максимальный кусок ограничен размером 60 – 100мм).

С учетом вышеизложенного, в реальном сыпучем материале характер распределения размеров зерен относительно характерного параметра R так же носит нормальный характер, что отражено в математической модели.

Вторая часть этой проблемы – задание характера взаимодействия, которое бы учитывало основные составляющие взаимодействия (выражения 2.2 и 2.3).

Гравитационная составляющая в общем случае пропорциональна массе m , а, следовательно, объему частицы, который, в свою очередь, пропорционален R^3 , где R – характерный размер куска. Силы трения при взаимодействии кусков между собой и с ограничивающими поверхностями, а так же влияние среды (в нашем случае трение о воздух) пропорционально размерам поверхности, т. е. имеет размерность R^2 .

$$\begin{aligned} f_x &= f_{x1} - G \cdot v_{x1} \cdot R^2, \\ f_z &= f_{z1} - g \cdot m + B \cdot \exp\left(-\frac{z_1}{b}\right) \cdot R^2 - G \cdot v_{z1} \cdot R^2, \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} f_x &= f_{x1} + dt \cdot x_1 \cdot r_{g1} - G_2 \cdot G_1 \cdot (v_{x1} - v_{x2}) + \sigma, \\ f_z &= f_{z1} + dt \cdot z_1 \cdot r_{g1} - G_2 \cdot G_1 \cdot (v_{z1} - v_{z2}) + \sigma, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где G_1 , G_2 – параметры, характеризующие трение между взаимодействующими объектами 1 и 2 (частица – частица, частица – поверхность), σ - дополнительное слагаемое учитывающее трение о воздух.

В модели предполагается, что отсыпка сыпучего материала (вбрасывание частиц - кусков различной величины) и взаимодействие между частицами происходит в соответствии с законом нормального распределения – закона Гаусса (2.4):

$$P(r) = C \exp \left[-\frac{(r - R_0)^2}{2c^2} \right], \quad (2.4)$$

где C, c – нормировочные коэффициенты, определяющие как динамику взаимодействия, так и средний (эффективный) радиус кусков.

Взаимодействие между частицами происходит на эффективных радиусах R_i , которые в первом приближении пропорциональны корню кубическому из объема i -ой частицы – $V_i^{1/3}$ (рис. 2.14).

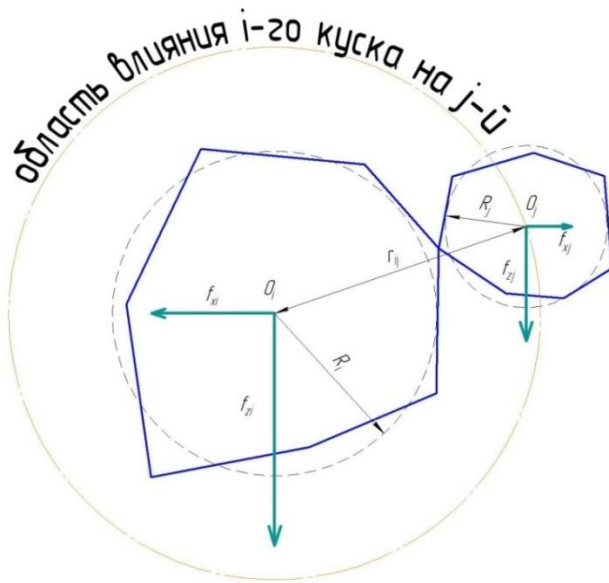


Рис. 2.14. Схема взаимодействия кусков на эффективных радиусах.

На эффективный радиус взаимодействия накладываются дополнительные требования (2.5):

$$r_{\text{э}} = C \exp \left[\frac{1 - \frac{r \cdot r'}{R_0 \cdot R_0'}}{c} \right], \quad (2.5)$$

где r, r' – радиус – вектора, определяемые выражением $r = \text{abs}(\Delta x + i \cdot \Delta z)$.

В модели предусматривается ограничение пространства взаимодействия вокруг отдельно взятого i -го куска, в том числе, с учетом фактора «лещадности» – λ , условием (2.6):

$$r_{\text{э}ij} \leq \lambda |R_i + R_j|. \quad (2.6)$$

Массив скоростей движения и положений кусков организуется с выделением соответствующих тангенциальных и нормальных составляющих

$$\begin{aligned} v_x &= v_{x0} + dt \cdot fx / m & v_z &= v_z + dt \cdot fz / m \\ x &= x_0 + dt \cdot v_x & z &= z_0 + dt \cdot v_z \end{aligned} \quad (2.7)$$

Заключительная составляющая программы определяет: объем горной массы как общее количество вбрасывания; ширину разгрузочного устройства; производительность разгрузочного устройства как частоту вбрасывания; высоту разгрузки; параметры и угол наклона поверхности, на которую производится разгрузка горной массы. В качестве дополнительного ограничения предполагается, что при взаимодействии куска с основанием насыпи, движение его прекращается достаточно быстро, т.е. трение о поверхность основания достаточно велико.

Представленные выше выражения положены в основу компьютерной программы. Программа позволяет задавать необходимый гранулометрический состав, моделировать особенности разгрузки, а так же изменять, в известных пределах, характер взаимодействия как между элементами системы (кусками породы) так и характер граничных условий - плоскостей взаимодействия. Генерация случайных чисел и статистическая обработка осуществлялась с помощью программы Matlab.

В результате наблюдаем, что в нижнем слое насыпи исходный материал перераспределяется по принципу - доля крупной фракции увеличивается к периферии (краям) насыпи (рис. 2.15), т. е. прослеживается явная зависимость от величины x .

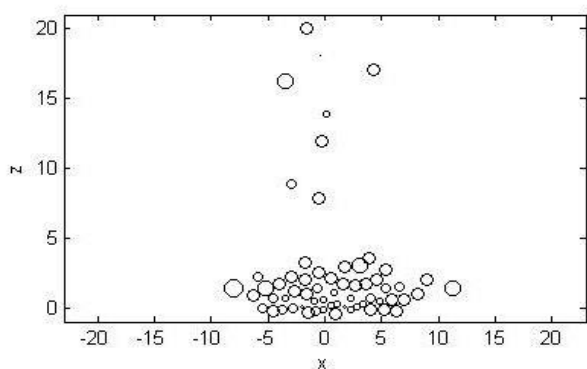


Рис. 2.15. Кадр анимационного изображения

Блок схема алгоритма решения задачи по определению распределения грансостава в результате сегрегации сыпучего материала приведена на рис. 2.16.

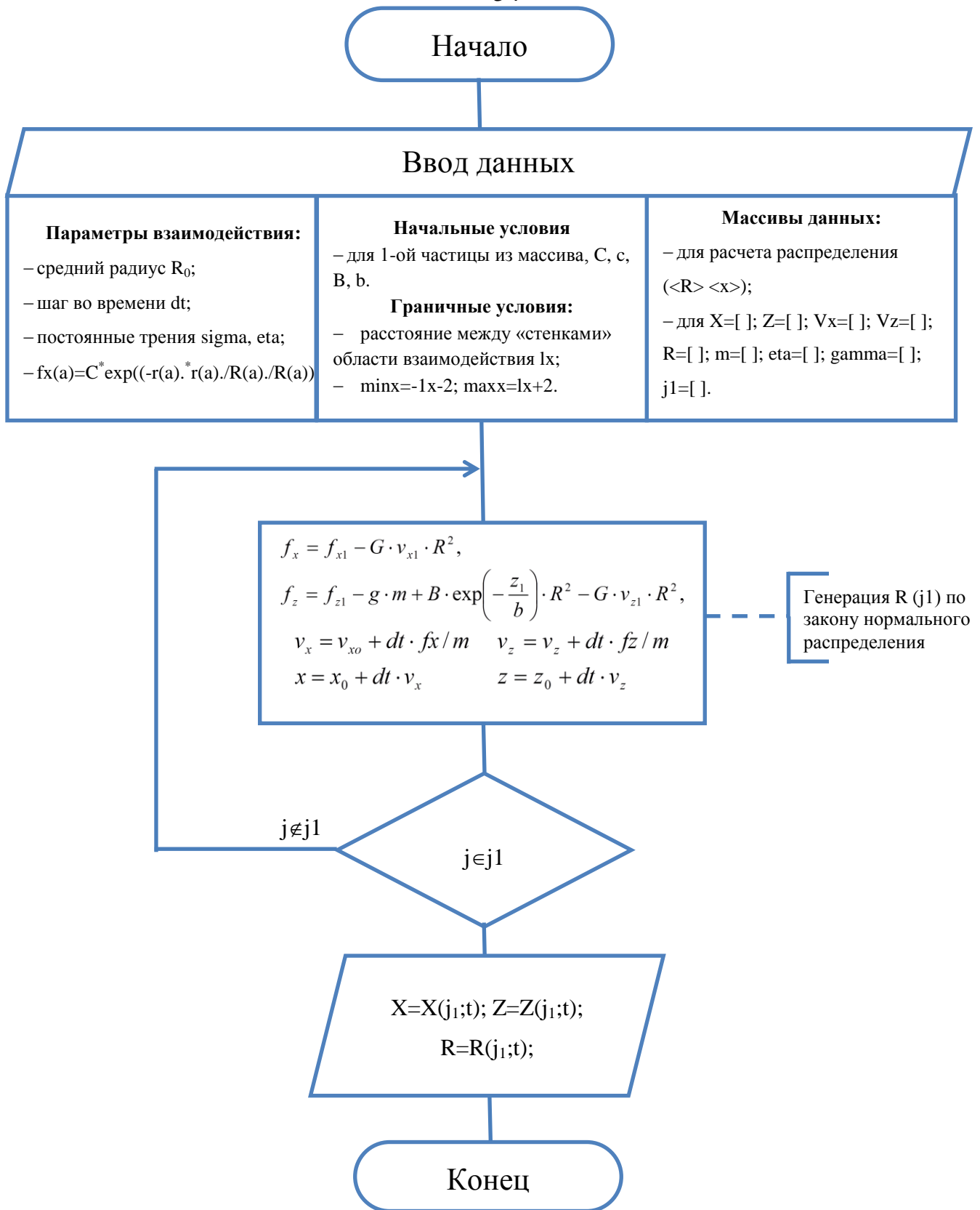


Рис. 2.16. Блок-схема алгоритма математической модели сегрегации сыпучих пород

Структура насыпного образования устанавливается посредством определения закономерности, между параметром, характеризующим крупность произвольно выделенного элементарного объема в массиве насыпи и положением элементарного объема в теле конуса. В качестве параметра, характеризующего крупность сыпучего материала для элементарного объёма, принимаем размер среднего куска R_{cp} . В силу осевой симметрии насыпи в цилиндрических координатах (ρ , φ , z) положение элементарного объема сыпучего материала определяется только удалением его от оси конуса – r (координата ρ) и положением относительно основания – h (координата z). Следовательно, трехмерная задача сводится к рассмотрению двухмерного случая, то есть функциональная зависимость в цилиндрических координатах примет вид $R_{cp} = f(h, r)$.

Принцип суперпозиции (наложения статистических результатов), который реализуется в математической модели, позволяет при относительно небольшом количестве вбрасываний (количество частиц исходного материала в программе при моделировании процесса задавалась от 50 до 500 единиц) получать результат соответствующий большим числам реальных объектов, что под силу только современным суперкомпьютерам.

Основным конечным результатом разработанной математической модели на данном этапе является получение зависимости между величиной R_{cp} , то есть между параметром, характеризующим крупность сыпучего материала и положением элементарного объема в массиве насыпного объекта. Характер изменения величины R_{cp} зависит от гранулометрического состава исходного сыпучего материала, его физико-механических свойств, условий формирования (горнотехнических факторов и параметров горнотранспортного оборудования). Таким образом, параметры структуры насыпного образования, определенные по совокупности рассчитанных математической моделью значений $R_{cp}(h, r)$, могут служить основой для оценки применимости к реальным условиям горного производства.

При выборе параметра для оценки раскрытия материала по крупности на откосе насыпного образования, то есть эффективности сегрегации, будем исходить из того, что соотношение между крупностью материала до отсыпки и крупностью

материала в различных местах откоса, установившуюся после отсыпки, будет в полной мере характеризовать степень этого раскрытия.

В связи с этим степень раскрытия сыпучего материала по крупности вдоль поверхности откоса (эффективность процесса сегрегации) предлагается оценивать средним относительным размером куска $R_{\text{ср(отн)}}$ – параметром, который определяется как отношение среднего размера куска в выделенном объеме (слое) массива насыпи $R_{\text{ср}}$, к величине среднего размера куска в исходном материале $R_{\text{ср}}^0$. Скорость изменения величины $R_{\text{ср(отн)}}$ вдоль образующей откоса характеризует разделительную способность, как самого откоса, так и влияние на этот процесс технологий отсыпки. Диапазон параметра $R_{\text{ср(отн)}}$ в определенных случаях может коррелироваться с качеством товарной продукции по показателю крупности.

Математическое моделирование реализует разделительный эффект – в нижнем слое насыпи происходит накопление крупной фракции, а в верхнем – мелких фракций (рис. 2.15). Это подтверждает и математическая статистика распределения виртуальных частиц по среднему относительному радиусу $R_{\text{ср(отн)}}$. При достаточном количестве повторений данного процесса получается плавная кривая, характеризующая распределение среднего относительного размера «куска» породы $R_{\text{ср(отн)}} = R_{\text{ср}}/R_{\text{ср}}^0$ относительно центральной оси конуса (насыпи) на уровне основания конуса. На рисунке 2.17 ось абсцисс это значения $R_{\text{ср(отн)}}$, а ось ординат – удаление r от оси конуса с учетом знака «+» или «-» и цены деления - $100 R_0$.

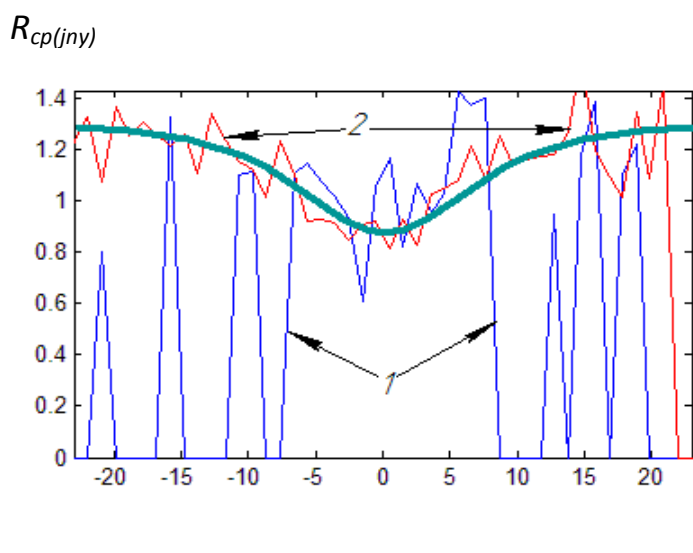


Рис. 2.17. Статистика результатов последовательных экспериментов, реализуемых математической моделью: 1 – распределение одного цикла вбрасывания из 150 частиц; 2 – распределение после 10 циклов; гладкая линия при 1000 циклах.

Результаты моделирования позволяют построить характерную кривую зависимости $R_{\text{ср(отн)}}$ от положения r элементарного объема сыпучего материала в произвольно выделенном горизонтальном слое (рис.2.18).

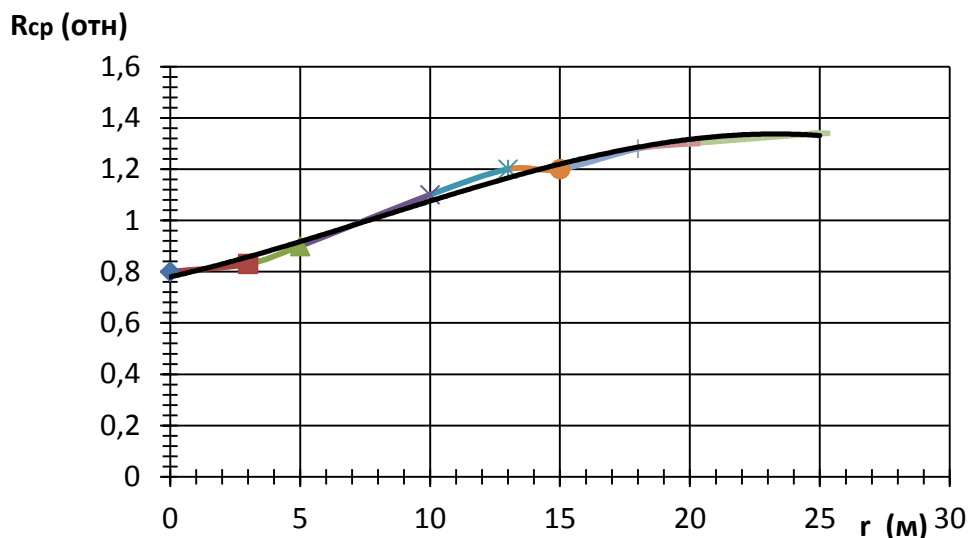


Рис. 2.18. Зависимость величины $R_{\text{ср(отн)}}$ элементарного объема сыпучего материала от его удаленности оси конуса – r на горизонте основания конуса.

Характер поведения кривой указывает на то, что после определенного удаления от оси конуса средний относительный размер куска $R_{\text{ср(отн)}}$ стабилизируется. Следовательно, можно ожидать, что существует связь между крупностью исходного материала и высотой штабеля, которая обеспечивает максимально раскрытие материала по крупности $R_{\text{ср(отн)}}$.

Для установления связи между высотой откоса и величиной среднего относительного размера куска $R_{\text{ср(отн)}}$ у основания откоса был проведен эксперимент в условиях напольных складов товарной продукции участка №2 ПК ООО «Видис», ДОФ №1 и ЦПТЛ ЧАО «ДФДК», который заключался в том, что по мере увеличения высоты насыпных образований конусообразной формы, формируемых из продуктов переработки известняка различной крупности (0 – 20 мм; 20 – 50 мм; 40 – 80 мм и 80 – 120 (130) мм) производился отбор проб материала у основания насыпи. Последующее определение крупности пробы производилось путем сухого отсева на ситах с ячейками размером 2.5, 5.0, 15.0, 20.0, 40.0, и 80.0 мм. По

построенным, таким образом, интегральным характеристикам крупности проб определялось значение среднего размера зерна R_{cp} , что позволяло отслеживать изменение величины $R_{cp(отн)}$.

Возможности лабораторного стенда (рис. 2.2) были использованы для эксперимента с сыпучим материалом фракцией 0 – 5 мм. Обработка характеристик проб производилось с использованием стандартного комплект сит для определения зернового состава щебня КП-109/1 (размер ячеек в мм: 0,16; 0,315; 0,5; 1,25; 2,5; 3,0; 5,0). Результаты рассчитанных значений $R_{cp(отн)}$ по экспериментальным значениям R_{cp} , приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Влияние высоты насыпи на величину параметр $R_{cp(отн)}$ у основания насыпи

Высота образования, м	Крупность исходного материала, мм				
	0 – 5 мм	0 – 20 мм	20 – 50 мм	40 – 80 мм	80 – 120(130) мм
0,5	1,08	-	-	-	-
1,0	1,14	-	-	-	-
1,5	1,15	1,18	-	-	-
3,0	1,20	1,22	1,15	1,13	1,10
5,0	1,21	1,30	1,16	1,16	1,13
10,0	-	1,38	1,25	1,29	1,23
15,0	-	1,38	1,27	1,30	1,26

На рис. 2.19 представлена степень раскрытия материала по крупности (эффективность сегрегационного проявления) при конвейерной разгрузке фракции 0 – 15 мм на наклонную поверхность откоса насыпи для условий цеха №2 ПК ООО «Видис» (с содержанием фракций 0-5мм - 20%, 5 - 15 мм - 80% при $R_{cp} = 8,5$ мм). Сплошной линией представлены экспериментальные данные для $H_1=5$ м, $H_2=10$ м, $H_3=15$ м и $H_4=20$ м; пунктирной линией – расчётные данные по модели [54].

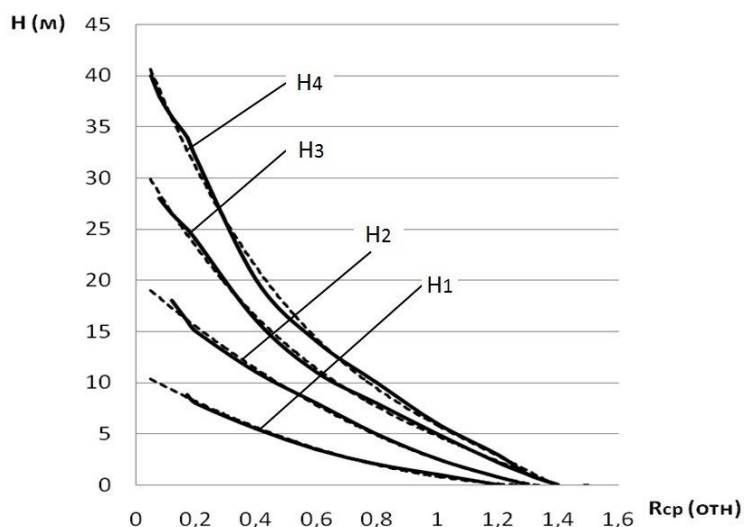


Рис. 2.19. Зависимость $R_{ср(отн)}$ (сегрегационного эффекта) от высоты яруса при конвейерной разгрузке сыпучих пород крупности 0 – 15 мм на наклонную поверхность откоса

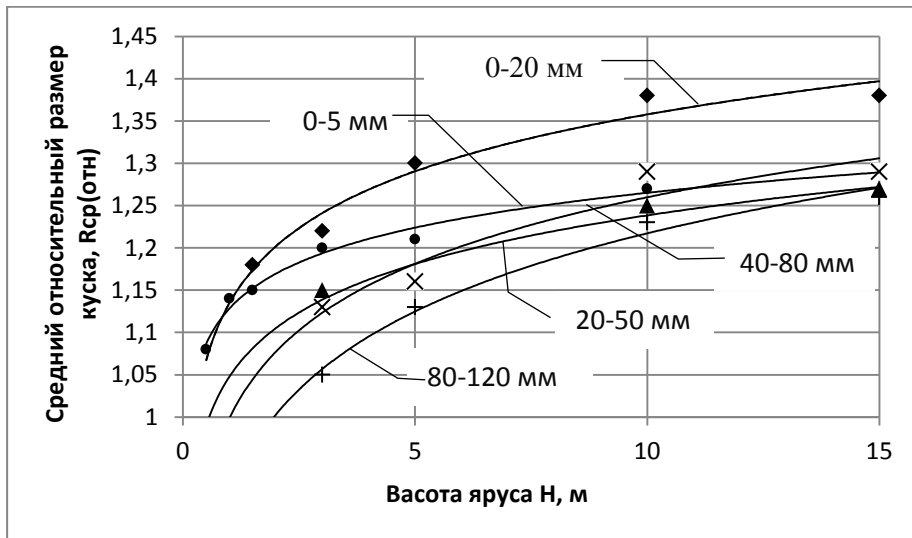
В случае складирования щебня фракции 0 – 15мм с естественной влажностью и с 20% содержанием некондиционных компонентов, то есть с содержанием фракции 0-5мм (20%) и фракции 5-15 мм (80%) ($R_{ср} = 8,5$ мм), минимальной высотой конуса (штабеля) является 10м. При этом значении, как следует из графической зависимости (рис. 2.23), обеспечивается требуемое качество щебня в основании конуса и оптимальные параметры забоя для отгрузки продукции экскаватором, например, ЭКГ - 5А. В случае отсыпки исходного материала с повышенной влажностью высоту отсыпки следует увеличить до 15м. Это позволит, улучшит очистку крупных кусков от прилипших пылеватых частиц за счет увеличения времени встряхивания при движении частиц по откосу.

На основании изложенного выше делаем вывод, что применяемая на складах готовой продукции флюсодобывающих предприятий высота штабеля в 15 – 16 м удовлетворяет условиям максимального раскрытия материала по крупности, при условии что на откос производится разгрузка фракций от 5 мм и выше.

При большом разбросе и плохой воспроизводимости данных приведенных в табл. 2.3, полученные зависимости (рис. 2.20-а) между параметром $R_{ср(отн)}$ и высотой откоса яруса на котором происходит раскрытие по крупности исходного мате-

риала, показывает естественную тенденцию увеличения высоты яруса с ростом максимального куска, с одной стороны, а с другой, наличие минимальной высоты откоса при которой параметр $R_{\text{ср(отн)}}$ стабилизируется (рис. 2.20-б).

а)



б)

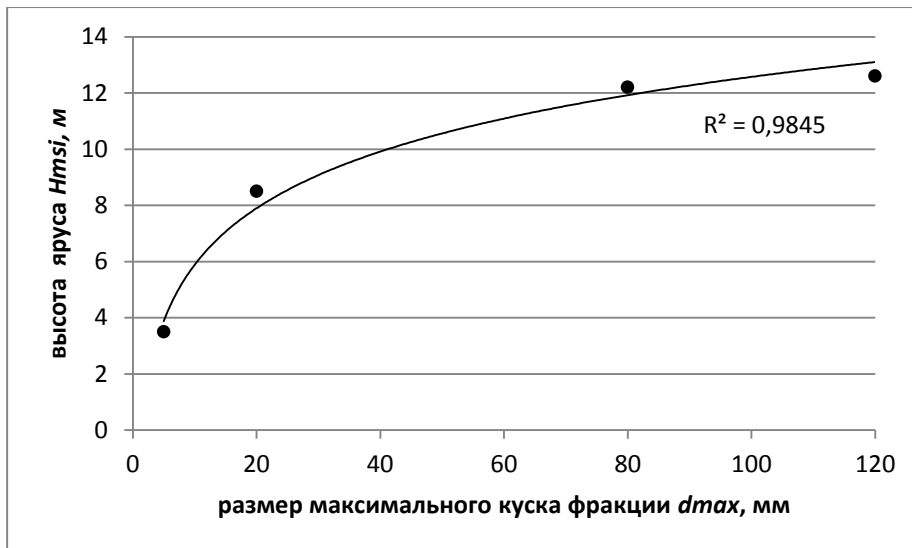


Рис. 2.20. Влияние высоты яруса на раскрываемость сыпучих горных пород по крупности: а) — зависимость раскрываемости по параметру $R_{\text{ср(отн)}}$ от высоты яруса H ; б) — зависимость минимальной высоты яруса H_{min} , обеспечивающей максимально возможное раскрытие материала по крупности, от максимального размера куска d_{max}

Для пород представленными отходами ДОФ № 1, 3 и товарной продукцией ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» (Приложение 1) зависимость имеет следующий вид:

$$H = 3,3269 \ln(d_{\text{max}}) - 0,6014; \text{ при } R^2 = 0,9845$$

Для каждого горизонтального сечения (слоя) насыпи техногенного конусообразного формирования, закон распределения гранулометрического состава исходного материала в цилиндрических координатах имеет вид выражения (2.8),

что подтверждает и статистика распределения частиц по среднему радиусу (рис. 2.17).

$$R_{cp} = (R_{max} \times (H-h)^2 / H^2) \times ((1 - R_0 / R_{max} \times \exp(-r^2 / H^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha)) + A(\rho) R_0^3 - B(\operatorname{tg}(\varphi)) R_0^2 + C(\lambda) R_0 + R_{min} / R_{max}), \quad (2.8)$$

где R_0 , R_{max} и R_{min} – соответствующие значения для среднего, максимального и минимального (обычно $R_{min} \rightarrow 0$) размера куска исходного материала, м; $\gamma = R_{max} \times (H-h)^2 / H^2$ – нормировочный коэффициент; H – высота конуса, м; h – высота изучаемого горизонта (слоя) относительно основания, м; A , B и C – величины характеризующие физико-механические свойства сыпучего материала и пропорциональны плотности куска ρ , коэффициенту внутреннего трения сыпучего материала $f = \operatorname{tg} \varphi$ и коэффициенту λ , учитывающего особенность формы куска. Размерность A , B и C соответственно равна – $[m^{-3}]$, $[m^{-2}]$ и $[m^{-1}]$;

На рис. 2.21 представлен трехмерный график (в цилиндрических координатах – r , h) изменения среднего размера куска породы $R_{cp} = f(r, h)$ для отходов переработки флюсов на ДОФ №1 и №2 ЧАО «ДФДК», которые отгружаются на насыпной конус. Кусок породы удален от оси конуса на расстояние r , и находится в горизонтальном слое на высоте h от основания конуса.

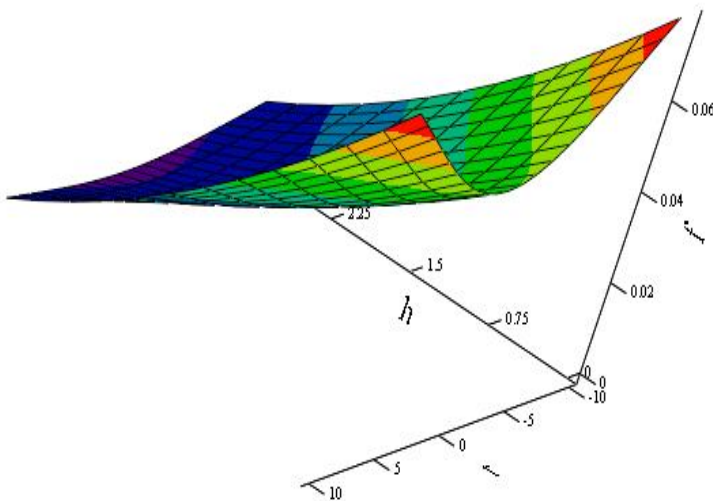


Рис. 2.21. Изменение среднего размера куска породы в техногенном образовании - насыпном конусе

Для гранулометрического состава отходов (табл. 2.2), при $R_0 = 8,5$ мм,

$R_{\max} = 40\text{мм}$, $R_{\min} = 0\text{ мм}$ и высоте конуса $H = 5\text{ м}$ с углом откоса в 34° , получаем семейство кривых (рис. 2.22). Кривые построены для $\Delta h = 0.5\text{ м}$ и $\Delta r = 1.0\text{ м}$.

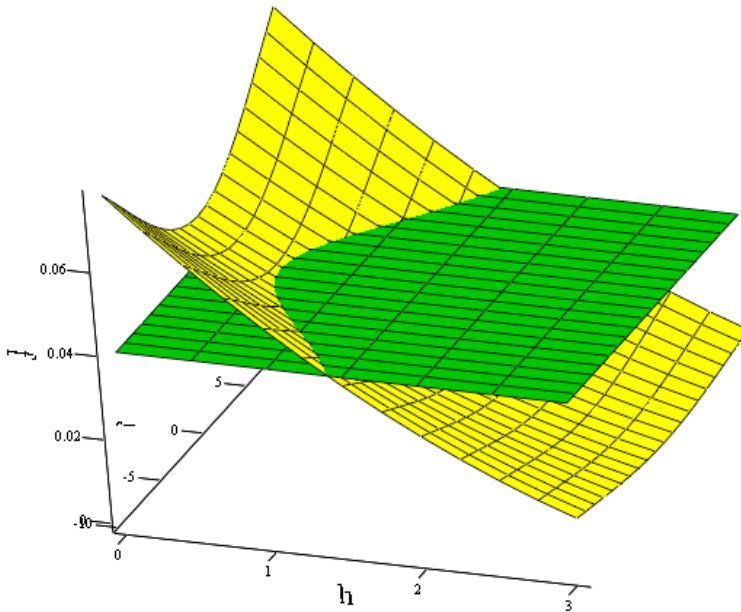


Рис. 2.22. Область (кривая пересечения поверхностей) постоянного гранулометрического состава породы в насыпном конусе, характеризующаяся постоянным параметром - R_{cp}

Для случая сыпучего материала, зерна которого представлены одним типом пород (равной плотности и формы слагающих частиц) с определенной точностью можно принять коэффициенты A , B и C в качестве постоянных величин. В этом случае управляющей функцией изменения R_{cp} в горизонтальных сечениях конуса является выражение $-(R_{\max} \times (H-h)^2 / H^2) \times (1 - R_0 / R_{\max} \times \exp(-r^2 / H^2 \text{ctg}^2 \alpha))$.

Область постоянного значения R_{cp} в теле конуса определяется решением системы уравнений, что равносильно нахождению пересечения поверхности, которое задается уравнением (2.9)

$$R_{cp} = (R_{\max} \times (H-h)^2 / H^2) \times (1 - R_0 / R_{\max} \times \exp(-r^2 / H^2 \text{ctg}^2 \alpha)), \quad (2.9)$$

и плоскости

$$R_{cp} = f(r, h) = \text{const} \quad (2.10)$$

Решение системы из уравнений (2.9) и (2.10) приводит к уравнению для изолиний по параметру R_{cp} вида

$$h = H - (HR_{cp}) \times (R_{\max} - R_0 \exp(-r^2 / H^2 \text{ctg}^2 \alpha))^{-0.5}. \quad (2.11)$$

Следует отметить, что в математической модели, расчетах и выводах использовали понятие «радиус частицы». На этапе моделирования и аналитических расчетов это диктовалось векторным характером и определенной симметрией взаимодействия между частицами. Однако в практике горного производства используется понятия «размер частицы», «средний диаметр куска» и т.п. Переход от R_{cp} к d_{cp} на этапе выводов и решения практических задач является чисто формальным, с учетом численного коэффициента равного 2.

На рис. 2.23 показано, как в виртуальном насыпном конусе на различных стадиях образования формируются области с определенной крупностью. Математическая модель позволяет определять положение и размеры этих областей.

Следовательно, в результате моделирования процесса отсыпки конуса, происходит распределение исходного материала, которое приводит к образованию внутренней области – ядра в форме обелиска с преобладанием мелких фракций.

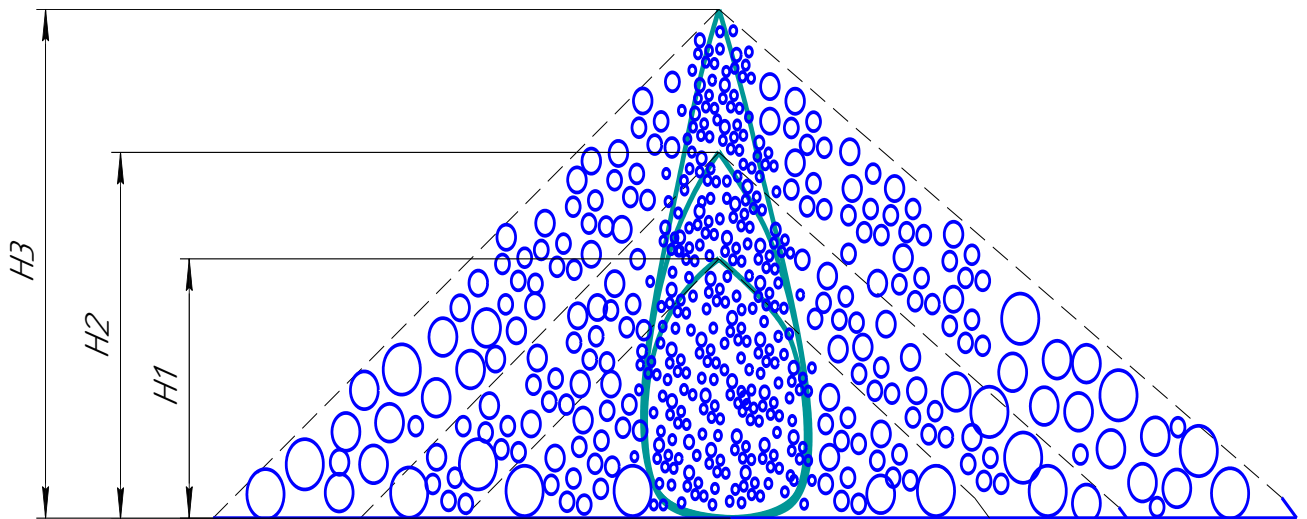


Рис. 2.23. Этап образования зоны перераспределения гранулометрического состава: H_1 , H_2 , H_3 – рост отвала во времени

Разработанная программа позволяет моделировать образование насыпного техногенного формирования в форме яруса (штабеля) и отслеживать характер разделительного процесса, как в начальной стадии его образования, так и на последующих этапах развития (рис. 2.24).

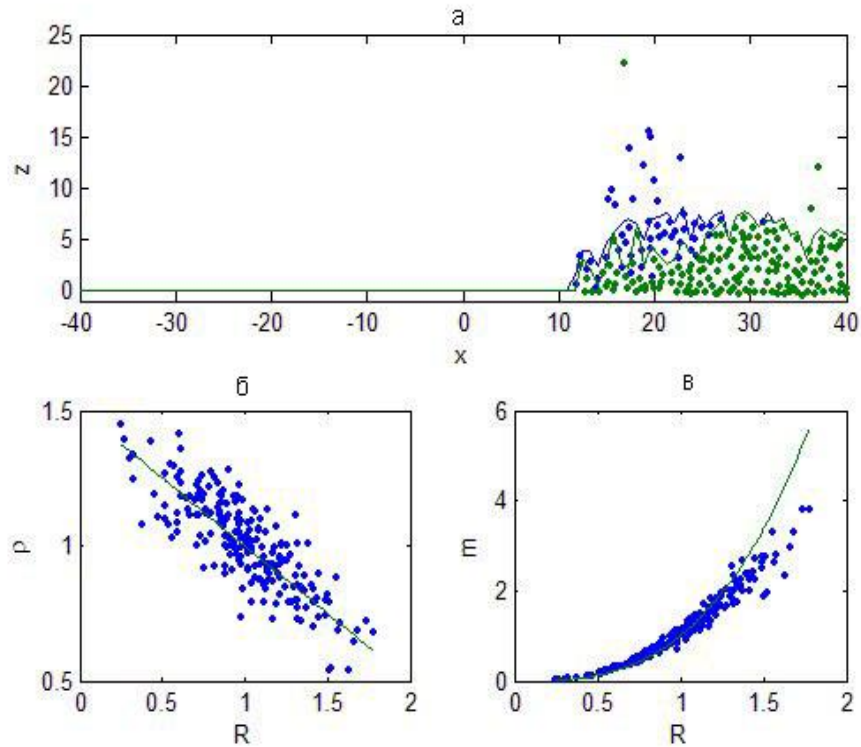


Рис. 2.24. Моделирование конвейерной отсыпки плоского штабеля (слоя) из сыпучих горных пород, сложенных частицами различной плотности

На рис. 2.24-а показан процесс образования слоистой структуры яруса отвала, на рис. 2.22-б представлена зависимость между плотностью частицы – ρ и её радиусом – R , а на рис. 2.24-в – зависимость между массой - m и радиусом– R

Подобная закономерность распределения минералов в техногенных образованиях экспериментально была установлена при изучении процесса складирования дробленого материала на напольных складах и при укладке отходов переработки флюсов на ДОФ №1 и №2 ЧАО «ДФДК» [49, 55, 57].

При моделировании отсыпки сыпучего материала, состоящего из зерен разного размера и плотности, на откос яруса, происходит естественное разделение, которое характеризуется концентрацией в нижнем слое наиболее крупных и массивных зерен, а в верхнем слое мелких и менее плотных. Степень выраженности этого эффекта зависит от гранулометрического состава и влажности исходного материала, формы и плотности отдельностей, технологии отсыпки материала на наклонную поверхность. Тело яруса приобретает слоистую структуру со слоями с

различными коэффициентами разрыхления. В случае утяжеления мелкой фракции (качественный показатель для мелкой фракции), наблюдается «приближение» мелкой фракции к основанию отвала (рис. 2.25-а).

Моделирование процесса отсыпки сыпучего материала, в котором наблюдается зависимость процентного содержания полезного компонента от величины среднего размера куска, приводит к выраженной слоистой структуре виртуального яруса насыпного объекта. Характер распределения сыпучего материала по высоте яруса определяется теми же условиями, что и при формировании насыпного конуса.

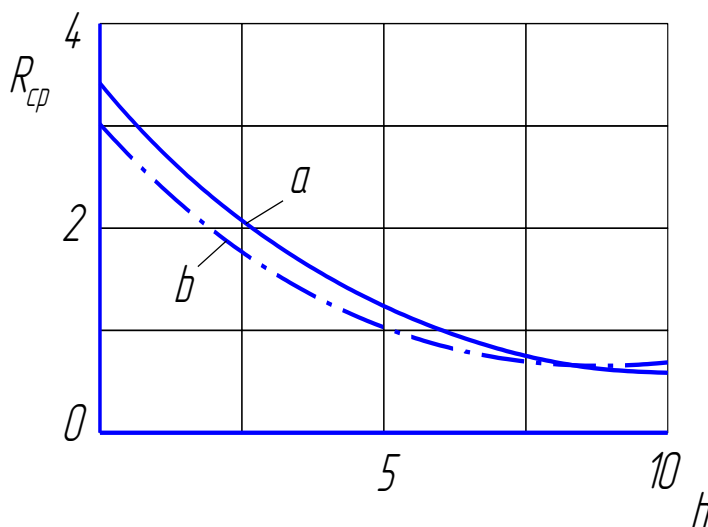


Рис. 2.25. Характер распределения среднего радиуса «кусков» породы по высоте отвала: а – кривая распределения для случая равной плотности различных кусков материала; б – распределение с учетом утяжеления мелких фракций

Решение системы из выражений 2.9 и 2.11 позволяет получить зависимость $R_{ср}$ от высоты яруса h . Путем проведения замены $r = (H-h)ctg\alpha$ для рассматриваемого случая получено

$$R_{ср} = R_0(1-h/H)^2(1-\exp(-(1-h/H)^2)). \quad (2.12)$$

Таким образом, предлагаемый подход к решению задачи по моделированию сегрегации горной массы позволяет прогнозировать качество сегрегационного эффекта на наклонной поверхности в зависимости от фракционного состава породы, угла наклона и высоты конуса насыпи. Экспериментально доказана адекватность математической модели, рассматриваемому в работе процессу.

2.4. Особенности изменения грансостава сыпучих отходов переработки флюсов в массиве техногенного образования

Особенности перераспределения фракций в массиве техногенного формирования необходимо учитывать в процессах усреднения рудной массы по грансоставу, при формировании техногенных месторождений, на складах готовой продукции и при формировании отвалов.

Основная часть отходов переработки флюсов состоит из фракций 0 – 15 мм, 0 – 20 мм и, в отдельных случаях до 40 мм и более. Укладка отходов осуществляется с применением поворотно-звеньевых конвейеров или бульдозерами в комплексе с автомобильным транспортом.

Объемное моделирование с применением программного продукта «AutoCAD 2009» позволило определить форму и объем отсыпаемого слоя (рис.2.26), форму и параметры переходных областей между слоями (рис. 2.27 – 2.28).

Этапы подвигания фронта отвальных работ (для случая вылета консоли $l = 10$ м для консольного отвалообразователя) при отсыпке щебня фракции 0 – 15 мм на наклонную поверхность представлена на рис. 2.26.

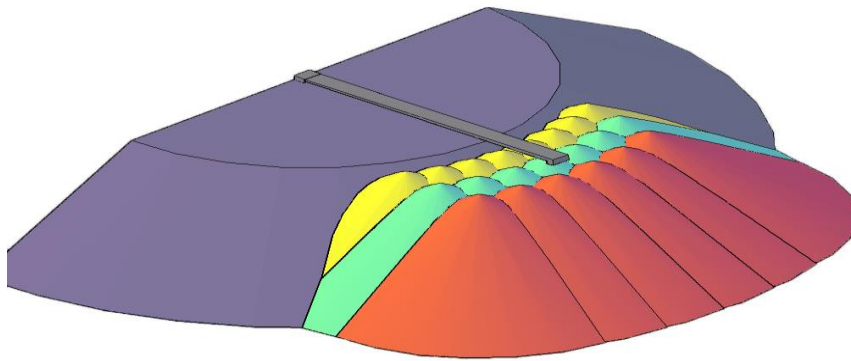


Рис. 2.26. Объемная модель отвала образованного последовательной отсыпкой конусов поворотно-звеньевым конвейером

С учетом установленной закономерности сегрегационного разделения исходного материала по крупности получается сложная слоевая структура массива горных пород. Характеристикой слоев является соответствующее содержание фракции 0 – 5 мм. Условную поверхность контакта двух слоев определим как изоповерхность. Подобные изоповерхности имеют сложную, но повторяющуюся форму (рис. 2.27).

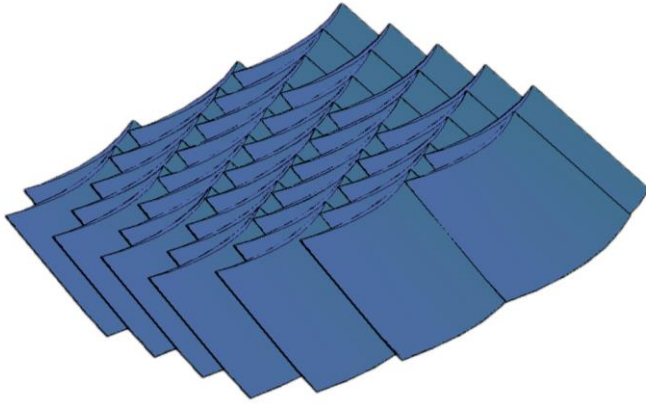


Рис. 2.27. Формы изоповерхностей, которые разделяют слои с разным содержанием фракции 0 – 5 мм

Мощность верхнего первого слоя определяется из условия содержания фракции 0 – 5 мм более 80 % и составляет $h_1 = 7,1$ м, следующий слой - 2 с 50 % содержанием по всему объему имеет мощность $h_2 = 27,4$ м и слой 3 с содержанием менее 20 % указанной фракции имеет мощность $h_3 = 20,5$ м.

В результате подобной технологии отвалообразования граница раздела между слоями 1-2 и 2-3 имеет волнообразную форму с высотой гребня $\Delta h' \approx 4,7$ м и $\Delta h'' \approx 2,7$ м (рис. 2.28).

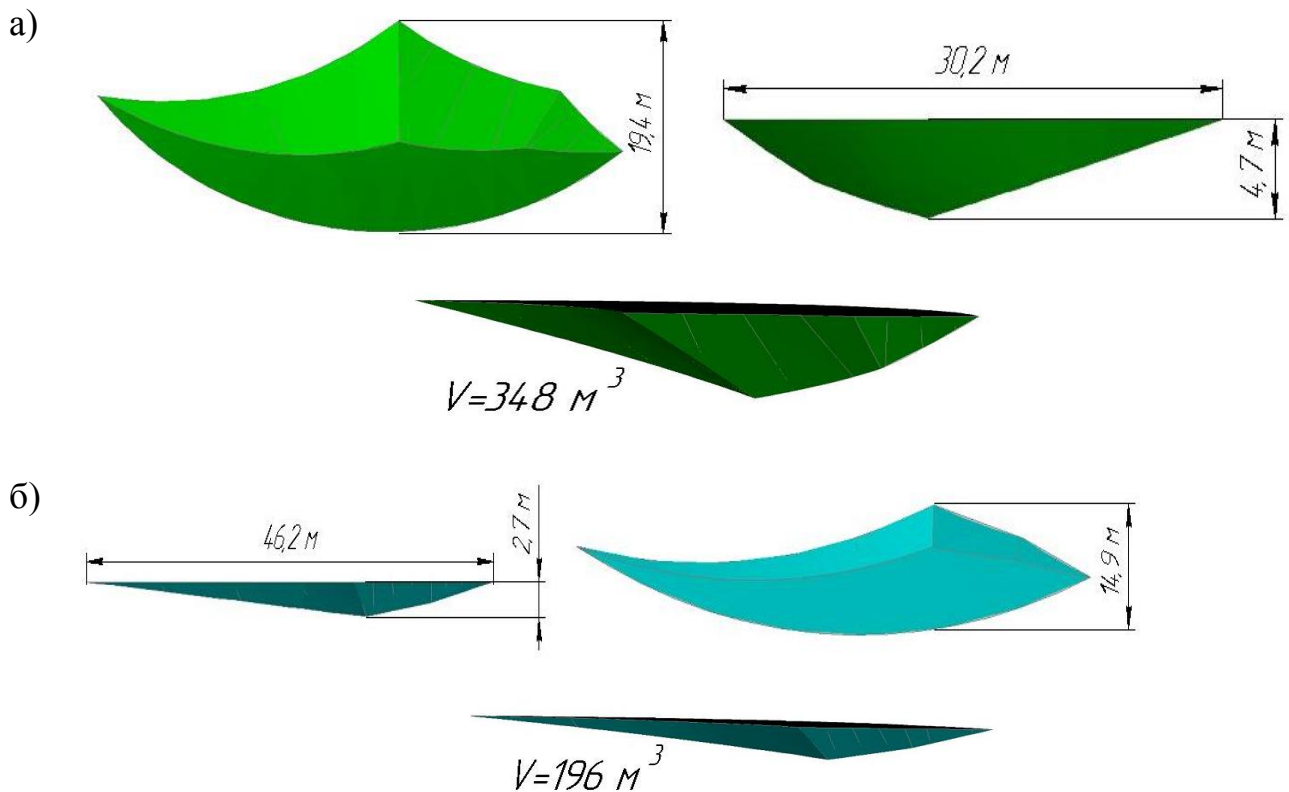


Рис. 2.28. Элементарный объем переходного слоя для селективной отработки а) верхнего переходного слоя; б) нижнего переходного слоя

Расстояние между гребнями соответствует вылету отвальной консоли $l=10\text{м}$. В этом случае представляется возможность достаточно точно определить расположение и параметры элементарных объема а) и объема б) для соответствующей изоповерхности с целью организации селективной отработки слоев. Определяющими параметрами являются: исходный гранулометрический состав щебня (на весь период отсыпки отвала принималось 60% фракции 0 – 5мм, 40% фракции 5 -15мм); вылет отвальной консоли от верхней бровки $l=10\text{м}$ с шагом переустановки в 10м между вершинами соседних конусов.

Поскольку в плане переходной слой имеет определенный сложный порядок, а мощность слоя не превышает 4,7м, то эффективность его отработки зависит будет от применяемого выемочно-транспортного оборудования и удаленности приемного пункта. Так при разработке 1-го и 3-го слоя важную роль имеет близость расположения ж.д. пути или погрузочного пункта для отгрузки товарной продукции, а для 2-го слоя расположение узла грохочения.

Для сыпучих пород одной из важных характеристик является гранулометрический состав. На рис. 2.29-а – 2.29-г приведены кривые гранулометрического состава пород отвалов обогатительных фабрик ДОФ № 2 и ДОФ №1 ЧАО «ДФДК», ДОФ ЧАО «Новотроицкое РУ» и ДОФ ЧАО «Комсомольское РУ», сложенных отходами обогащения флюсовых и доломитизированных известняков, представленных дресвой, небольшим количеством глин и песков. Кривые гранулометрического состава пород отвала ДОФ №2 имеют большую крутизну, а коэффициент неоднородности колеблется от 22 до 70. Это позволяет судить о более однородном составе пород.

Для определения гранулометрического состава и построения характеристик крупности отходов переработки флюсов, пробы отбирались по рекомендованной автором методике по результатам аналитических исследований. Пробы отбирались с напольных складов ЦПТЛ на карьере «Центральный» ЧАО «ДФДК», напольных складов и бортов отвалов ДОФ № 1 и ДОФ №2 ЧАО «ДФДК», ДОФ ЧАО «Новотроицкое РУ» и ДОФ ЧАО «Комсомольское РУ» по горизонтам через каждые 10 м в колбы емкостью 2 и 5 литров методом задавливания. Суммарная

характеристика крупности пород отвалов сравнивались с результатами математического моделирования [54] и исследований, проведенных в 1985г. [49] по пробам (керну), которые были полученным с глубин в 5 м, 10м, 20 м, 30 м и 40 м. по скважинам, пройденным на поверхности отвала ДОФ№1 и ДОФ№2 Докучаевского ФДК.

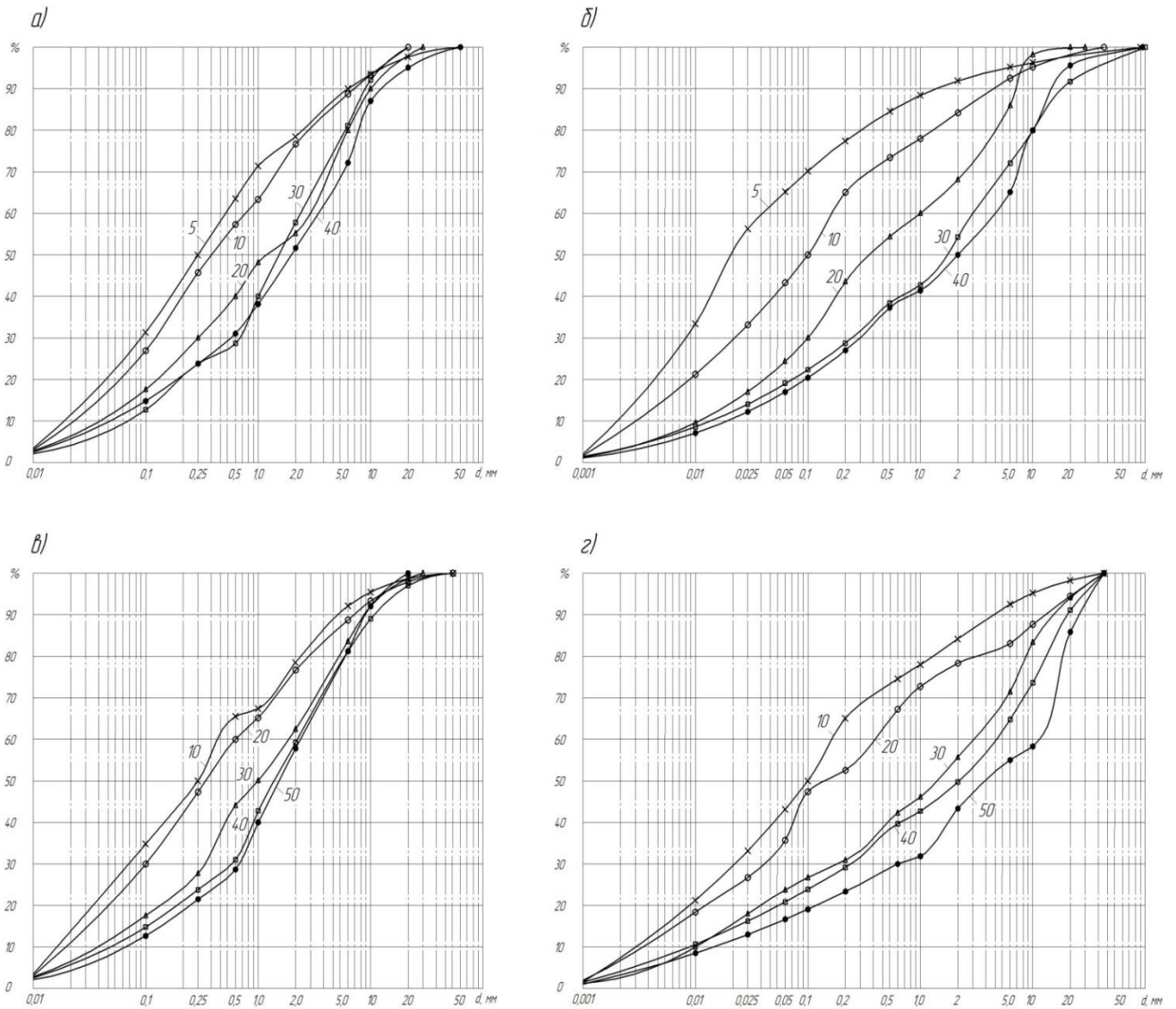


Рис. 2.29. Суммарная характеристика крупности пород отвалов (в системе координат с полулогарифмической шкалой): а, б, в, г – по пробам соответственно ДОФ №2, №1 ЧАО «ДФДК», Новотроицкого и Комсомольского рудоуправлений

Кривые гранулометрического состава пород, отобранные с различных глубин (горизонтов), позволяют судить о степени их неоднородности по механическому составу. Вычисленный коэффициент неоднородности колеблется от 565 до

1286, это указывает на то, что грунт является разнородным по гранулометрическому составу. На неоднородность состава указывает и пологий характер кривых гранулометрического состава.

Изучение полученных опытным путем суммарных (кумулятивных) характеристик крупности (рис. 2.30) для проб с различных глубин (кривые построены «по минусу»), позволяет установить следующую закономерность. Кривые гранулометрического состава проб взятых с верхних участков имеют выпуклую форму, а с нижних участков имеют вогнутый вид. Это свидетельствует о том, что слагающие отвал породы в верхних слоях имеют наибольший выход мелких фракций (-5 +0) от 70% до 90%, при выходе крупного класса (-20 +10) не более 10%. В нижних же слоях мелкий класс составляет уже не более 40%, а выход крупного класса достигает значений 25 -45%.

Подобная тенденция к перераспределению гранулометрического состава наблюдается и при отвалообразовании сыпучих вскрышных пород и при складировании готовой продукции на складах [52 - 62, 71, 72]. Причина заключается в том, что при отсыпке сыпучего материала на наклонную поверхность откоса, мы имеем дело с сегрегацией горных пород.

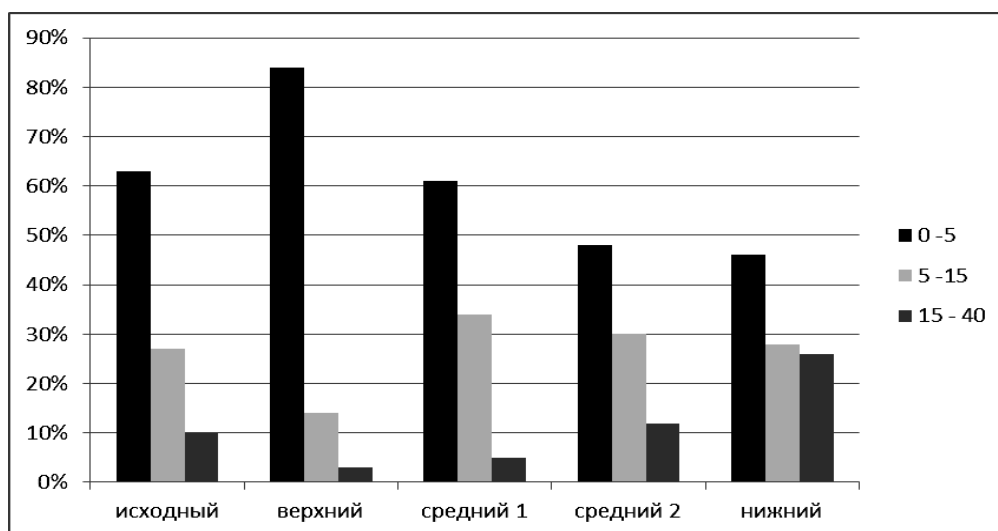


Рис. 2.30. Кумулятивные характеристики для разной крупности и разных горизонтов отвала отходов ДОФ №1

Выводы по разделу 2

1. При отсыпке конусообразных техногенных формирований, происходит образование в теле конуса центрального обелиска - ядра, к которому приурочена в основном мелкая фракция исходной горной массы, а при формировании яруса насыпного объекта отсыпка производится наклонными слоями, а распределение масс по крупности формирует слои, параллельные основанию штабеля. При прочих равных условиях, мощность слоя концентрации данной крупности пропорциональна весовой доли данной крупности в исходном материале.

2. На основе результатов математического моделирования и результатов стендовых испытаний предложена гипотеза, согласно которой процесс сегрегации при движении горной массы по откосу в условиях отвалообразования можно разделить на три фазы: 1) фазу движения горной массы в виде консолидированного образования; 2) переходную фазу; 3) фазу «свободного» движения отдельностей. Каждая фаза имеет свои разделительные особенности, которые определяют эффективность процесса сегрегации.

3. Поверхность откоса яруса техногенного формирования имеет определенную кривизну, на величину которой, в первую очередь, влияет распределение масс по крупности и влажность исходного материала.

4. Для сыпучего материала с крупностью менее 5 мм увеличение влажности приводит к увеличению угла естественного откоса до определенного значения влажности (до 17%), поскольку к силам трения между зернами добавляется сила поверхностного натяжения пленочной воды. При достижении критического значения влажности $W_{кр}$ (для исследуемых пород $W_{кр} = 17\%$) угол естественного откоса резко уменьшается. Подобное явление можно объяснить тем, что при появлении свободной (гравитационной) воды между зернами резко снижается силы трения на контакте между зернами, то есть появляется эффект смазки. Повышение влажности повышает степень миграции мелких фракций к основанию насыпи – эффект «прилипания» мелких фракций к крупным фракциям.

5. Впервые установлен закон распределения размера кусков насыпного материала в техногенном образовании конической формы, сформированного отсыпкой тонкими слоями. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что размер куска сыпучей горной породы в сформированном месторождении зависит от его пространственного расположения, общей высоты конуса и максимального размера куска.

6. Впервые установлено, что при отсыпке тонкими слоями минимальная высота уступа, обеспечивающая технологическую стратификацию для сыпучих горных пород крупностью 0 – 80 мм, не зависит от плотности горных пород. Миграция более плотных частиц происходит в пределах расстояний на порядок меньше толщины отсыпаемого слоя, что не оказывает существенного влияния на общую стратификацию породы по откосу.

7. Впервые установлены условия формирования техногенного месторождения из сыпучих горных пород, обеспечивающие возможность селективной разработки с обеспечением заданного потребительского качества. Показано, что минимальная высота откоса, обеспечивающая максимально возможную стратификацию по крупности, описывается логарифмической зависимостью от максимального размера куска в составе сыпучих горных пород. Это позволяет проектировать технологические параметры формирования и разработки техногенных месторождений.

РАЗДЕЛ 3. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

3.1. Анализ влияния технологии и параметров отвалообразования на структуру техногенного месторождения

Выбор способа формирования техногенного образования (техногенного формирования) при открытой разработке имеет существенное значение для организации эффективной работы горнодобывающего предприятия. Особенную актуальность этот вопрос приобретает при комплексной разработке месторождений.

Различают следующие способы складирования вскрышных пород и отходов обогащения: 1) на внутренних отвалах; 2) на внешних отвалах; 3) комбинация двух первых способов – комбинированный способ.

В период разработки крутопадающих месторождений превалирует внешнее отвалообразование, которое влечет за собой значительные отторжения земельных угодий и интенсивное негативное влияние на окружающую среду. Внутреннее отвалообразование, как правило, имеет место в основном при разработке сразу на всю мощность пластообразных залежей, имеющих горизонтальное или близкое к нему залегание. Комбинированное отвалообразование применяют при значительной мощности вскрытия и доработке карьеров.

Анализ существующих способов отвалообразования [3, 37, 76] при открытой разработке месторождений полезных ископаемых показал, что вскрышные породы и отходы обогащения, которые находятся в отвалах и хвостохранилищах, перемешаны между собой. Принятое разделение на отвалы мягких и скальных пород весьма условны.

Для непосредственного использования заскладированного минерального сырья в промышленности необходимо его разделить, на что требуются дополнительные затраты. К тому же некоторые потенциально – полезные ископаемые перемешаны друг с другом так, что их последующее использование невозможно. В

этой связи при последующей эксплуатации техногенных месторождений полезных ископаемых открытым способом перспективной является разработка эффективных способов складирования попутных полезных ископаемых и отходов обогащения с целью сохранения и возможного улучшения их промышленных свойств.

Структура техногенного месторождения, как это было показано выше, в значительной степени определяется технологией укладки горных пород в тело техногенного месторождения, параметрами элементов отвала, типоразмером отвального оборудования и схемой его работы [77. 78].

подавляющее большинство техногенных формирований (отвалов, временных складов, хранилищ отходов продуктов обогащения и т. п.) имеют слоевую форму. Следовательно, необходимо установить характерные особенности и параметры отдельных слоев, слагающих ярус техногенного образования, в том числе и granulометрический состав горной массы в слое.

Для случая насыпных образований в форме конуса или в форме гребня, что характерно при формировании напольных складов или отвалов при конвейерной разгрузке, основным элементом структуры является распределение материала по крупности в зонах формирующихся ядро по типу сердцевины или обелиска.

Одним из основных критериев при выборе рациональной технологии образования техногенного месторождения, которая предполагает максимальное раскрытие исходного материала по крупности, следует считать степень сегрегации данной сыпучей породы.

С учетом изложенного разработаны схемы рационального применения отвального оборудования при использовании конвейерного и колесного видов транспорта (см. Приложение Б), обеспечивающей максимальную степень сегрегации сыпучих горных пород, высокую производительность оборудования на отвальном участке, минимизацию экологических издержек при соблюдении требований по безопасному ведению отвальных работ.

Рассмотрим варианты формирования техногенного месторождения при использовании конвейерного и колесного видов транспорта.

Схема 1: формирование техногенного месторождения происходит по фронту путем пошагового поворота поворотного-звеньевое отвалообразователя с максимальным вылетом отвального звена на угол, который обеспечивал бы формирование нового конуса проектной высоты ($H_k = 63,5\text{м}$) в течение времени кратного продолжительности рабочей смены (суток).

Схема 2: формирование техногенного месторождения происходит по фронту путем непрерывного движения по направляющим поворотного-звеньевое отвалообразователя с максимальным вылетом отвального звена либо путем последовательных поворотов на угол $\alpha = 1 - 2$ град.

Схема 3: формирование техногенного месторождения происходит по фронту путем непрерывного движения по направляющим (либо пошаговым поворотом на угол $\alpha = 1 \div 2$ град.) поворотного-звеньевое отвалообразователя с минимальным вылетом отвального звена $l_{zg} = 1 \div 2\text{м}$ (разгрузочного устройства).

Схема 4: формирование техногенного месторождения происходит по фронту и наращиванием по высоте в основном за счет периферийной разгрузки автосамосвалов с последующим сталкиванием горной массы бульдозером под откос.

Схема 5: формирование техногенного месторождения происходит по фронту и с наращиванием по высоте в основном за счет площадной разгрузки автосамосвалов с последующим планированием и частичным сталкиванием горной массы бульдозером под откос.

Схемы 6: формирование техногенных месторождений производится экскаваторами типа прямая механическая лопата при верхней и нижней отсыпке пород, то есть на верхний и на нижний подступ отвала одновременно.

Схема: 7 – 8: формирование техногенных месторождений производится экскаваторами типа драглайн при верхней и нижней отсыпке пород (на верхний и на нижний подступ отвала) одновременно или только с нижней отсыпкой соответственно.

Схема 9 – 10: формирование техногенных месторождений с использованием одноковшового фронтального колесного погрузчика, который ведет укладку гор-

ной массы по типу бульдозерного сталкивания под откос или по типу выгрузки породы из транспортного сосуда автосамосвала соответственно.

Схема 11: формирование техногенных месторождений с использованием самоходных колесных скреперов.

При конвейерном отвалообразовании (1, 2 и 3-й варианты) заполнение тела техногенного месторождения происходит по фронту путем последовательных поворотов поворотно-звеньевым отвалообразователем с последующим наращиванием консольных звеньев.

Достоинствами такого формирования являются совмещение функций перемещения и складирования породы, большая приемная способность отвала, небольшие металлоемкость и энергоемкость процесса. К его недостаткам следует отнести необходимость периодического наращивания конвейерных лент и значительные трудности при складировании скальных крупнокусковых пород, что для случая складирования отходов дробильно-сортировочных фабрик флюсовых предприятий не является проблемой, поскольку максимальный размер куска не превышает 100мм.

Как отмечалось ранее, процесс сегрегации при движении горной массы по откосу в условиях отвалообразования можно разделить на три фазы: 1) фазу движения горной массы в виде консолидированного образования; 2) переходную фазу; 3) фазу «свободного» движения отдельностей. Отсыпка рыхлых пород с конвейера на откос позволяет уже при падении максимально раскрыться исходному материалу на отдельности и при попадании на наклонную плоскость откоса, последующее движение частиц происходит в третьей фазе. В этом случае практически отсутствует эффект втирания крупных кусков под действием налегающего объема породы, что позволяет более полно разделиться исходному материалу по фракциям.

Использование автомобильного транспорта (схема 4) для транспортирования и укладки вскрышных пород или отходов переработки в отвал с последующим сталкиванием их бульдозером под откос представляет интерес. В этом случае характер разделительного процесса горной массы на наклонной поверхности откоса

имеет общие черты с процессом непрерывной отсыпки конвейером при минимальном удалении точки разгрузки от верхней бровки отвала.

Существенным отличием от конвейерной разгрузки на откос яруса являются условия, в которых происходит сегрегация, а, следовательно, и степень проявления разделительного процесса.

Как показало моделирование различных процессов отвалообразования и вариантов разгрузки горной массы на специальном стенде в лабораторных условиях [55, 59], наиболее эффективен, в плане качественного разделения сыпучего материала на фракции, способ при котором горная масса разгружается на бровку небольшими порциями в рассредоточенном состоянии. Это характерно для конвейерной отсыпки или для случая периферийного отвалообразования с использованием автосамосвалов грузоподъемностью до 40 т. В последнем случае горная масса (до 70% объема) при падении на бровку достаточно разрыхляется и начинает сползание по откосу уже в состоянии переходной фазы - 2.

При площадном отвалообразовании (схема – 5) разгрузка из автомобилей производится на поверхность техногенного месторождения. Автомобиль при этом не подходит к верхней бровке откоса отвала, разгружаясь на кровле отвала. Затем бульдозерами планируют этот слой. Периферийный способ более экономичен и чаще используется в практике бульдозерного отвалообразования в период строительства отвалов, в случае слабой несущей способности вскрышных пород и при использовании автосамосвалов с грузоподъемностью более 40т. В этом случае значительные объемы пород не участвуют в процессе движения по наклонной поверхности откоса, а та незначительная часть, которая сталкивается бульдозером с верхней бровки отвала, начинает движение по откосу с минимальной скоростью, что приводит к эффекту «втирания» достаточно крупных кусков в верхнюю часть яруса. В этом случае, возможно, говорить только о отдельной укладке потенциально-полезных ископаемых (ППИ) по известным способам селективного складирования [35] без учета эффективного проявления гравитационной сегрегации.

При формировании техногенных месторождений (ТМ) с использованием одноковшовых экскаваторов (схемы 6 – 8) процесс сегрегации для горной массы,

выгружаемой из ковша на откос яруса отвала, состоят из последних двух фаз, а именно, из переходной фазы (сосредоточенно-рассредоточенная) и рассредоточенной фазы, или же только из последней рассредоточенной фазы разделительного процесса. В зависимости от применяемых технологических схем отвалообразования возможны следующие варианты:

- формирование яруса отвала осуществляется последовательной отсыпкой подступов, что, с одной стороны, приводит к соответствующему увеличению до двух слоев с определенным распределением сыпучей породы по крупности в теле каждого слоя. В этом случае, необходимо, чтобы высота подступа обеспечила необходимую эффективность сегрегации (для скальной вскрыши большинства флюсовых предприятий она соответствует не менее 10м);

- отсыпка яруса отвала производится сразу на полную высоту, что создает протяженные откосы, а, следовательно, благоприятную ситуацию для сегрегационного разделения на их поверхности.

Квалификация машиниста играет большую роль в сегрегационном разделении горной массы при экскаваторном способе образования техногенного формирования. Последовательность отсыпки, равные условия для каждой выгрузки, а так же максимальная дезинтеграция выгружаемой из ковша на откос породы – те условия, которые способствуют разделительному процессу.

Формирование техногенных месторождений с использованием одноковшовых погрузчиков (см. Приложение Б, схемы 9 – 10) представляется перспективным с точки зрения мобильности оборудования и оперативного влияния его возможностей на эффективность разделительного процесса (рис.3.1).

Выгрузка горной массы из ковша погрузчика, как показано на рис. 3.1-а на бровку яруса отвала, как и при периферийной разгрузке автосамосвалов, создает благоприятные условия для сегрегации и начала движения горной массы по откосу в состоянии максимального разрыхления (вторая фаза). В случае бульдозерного сталкивания пород ковшом погрузчика реализуется ситуация наличия всех трех фаз в сползающей горной массе, что ухудшает качество разделения исходного материала по гранулометрическому составу (рис. 3.1-б).

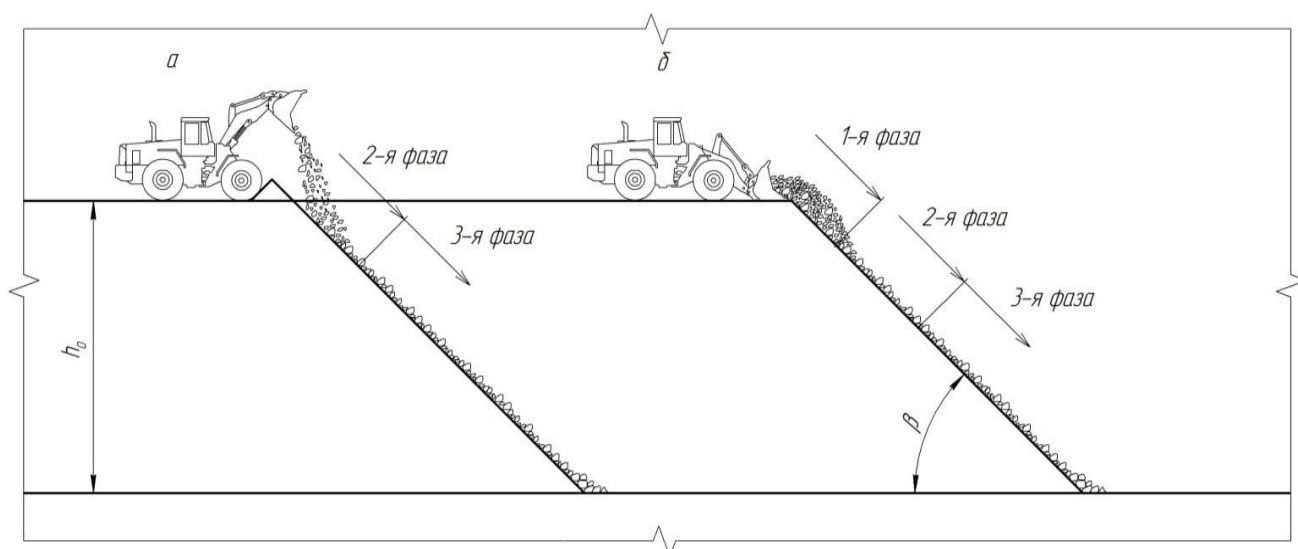


Рис. 3.1. Особенности формирования техногенного месторождения с применением колесных погрузчиков: а – с опрокидыванием ковша; б – сталкиванием

Особенности разгрузки самоходных скреперов при формировании отвалов или складов таковы, что не представляется возможным инициировать процесс гравитационной сегрегации. Тем не менее, использование самоходных скреперов в настоящее время получило заметно большее распространение для укладки попутных полезных ископаемых в техногенные месторождения. Для селективной укладки попутных полезных ископаемых в техногенные месторождения необходимо разгрузку скреперов производить под углом, близким к нулю относительно к горизонтальной поверхности. При этом каждое полезное ископаемое складировается в отдельные блоки, располагаемые отдельными слоями.

Применение скреперов для формирования техногенных месторождений ограничено условиями их проходимости в глинистых породах влажностью более 20% без предварительного осушения.

Таким образом, в дальнейшем будем рассматривать технологии, которые будут позволять формировать техногенные образования с максимальным раскрытием крупности сыпучих горных пород. Это позволит в последующем формировать в том числе и техногенные месторождения карбонатного сырья с требуемыми потребительскими свойствами элементов структуры массива самого образования и необходимых его параметров, которые обеспечивали бы как заданное качество

дополнительного источника минерального сырья, так и выбор наиболее рациональной технологии последующей разработки техногенного месторождения.

3.2. Оценка эффективности применения конвейерного отвалообразования при формировании техногенных месторождений

Использование техники непрерывного действия позволяет формировать техногенные месторождения по двум принципиально различным схемам отдельного складирования:

1) послойная схема заключается в отдельном складировании ППИ послойно в пределах ширины отвальной заходки $Ш_{оз}$;

2) блочная схема предполагает разделение ТМ на блоки по ширине каждой отвальной заходки; при этом по длине каждого блока располагаются однотипные ППИ.

При складировании по блочным схемам обеспечивается возможность непосредственного доступа к ППИ во время повторной разработки ТМ, гравитационная же сегрегация позволяет повышать «ценность» ППИ только в случае послойного формирования ТМ, что и рассматривается в данной работе.

Под «ценностью» ППИ подразумевается совокупность полезных свойств и потребности промышленности. В нашем случае именно гранулометрический состав слоев образующихся в результате сегрегации в первую очередь определяет их «ценность».

В общем случае складирование скальных пород ленточными отвалообразователями требует предварительного дробления до крупности, отвечающей требованию нормальной работы ленточного конвейера. Это требование характеризуется связью между шириной B конвейерной ленты и максимальным размером d_{max} кусков, выражаемым равенством (3.1)

$$d_{max} = 0.5B - 100, \text{ мм.} \quad (3.1)$$

Максимальный размер d_{max} куска при складировании отходов переработки флюсов не превышает 100 мм. У отвалообразователя ОЗП-1100 ширина конвей-

ерной ленты $B = 1100$ мм, следовательно максимально допустимый размер куска транспортируемой породы составит 450мм, что удовлетворяет необходимым требованиям.

Рассмотрим укладку отходов переработки флюсов на ДОФ по схеме 1 (Приложение Б) с применением поворотно-звеньевым отвалообразователем и максимальным вылетом отвальной консоли (рис. 3.2). В этом случае заполнение тела техногенного месторождения происходит по фронту путем последовательных поворотов отвалообразователя на угол, который обеспечивал бы в течение времени кратного продолжительности рабочей смены (суток) формирование нового конуса проектной высоты $H_k = 65$ м. Так при суточной производительность фабрики по отходам в $\Pi_{от\ сут} = 62$ тыс.м³/сут, формирование отвала поворотно-звеньевым конвейером с пятью звеньями и вылетом отвальной звена $l_{зв} = 20$ м, расположенного на горизонтальной поверхности отвала с высотой яруса $H_я = 60$ м, будет обеспечена разовым поворотом на угол в $\alpha = 11 - 12$ град. При этом удаление вершины последующего (n+1) - го конуса от вершины предыдущего n - го будет находиться на расстоянии в $l_{n, n+1} = 19,4$ м.

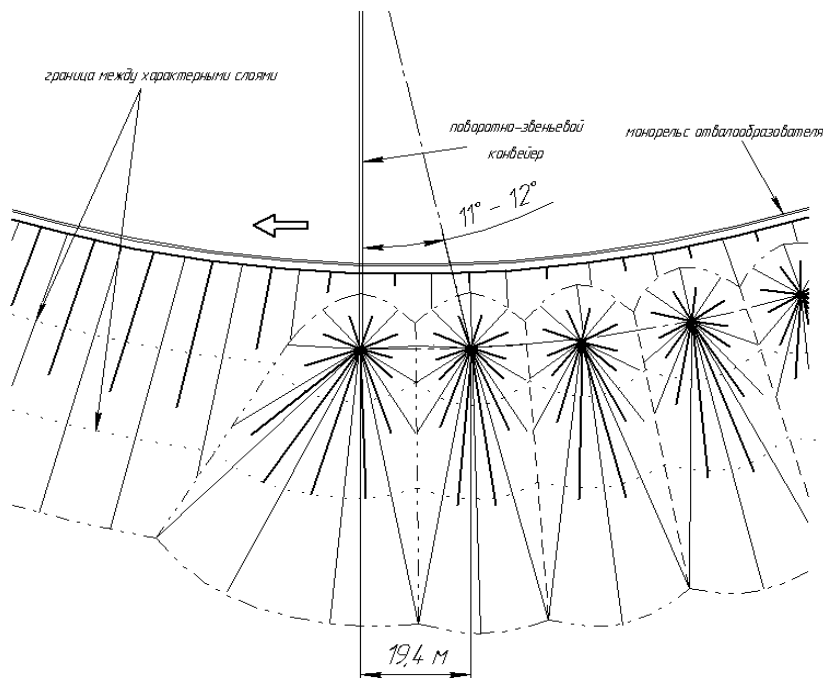


Рис. 3.2. Формирование отвала ТМ при пошаговом повороте поворотно-звеньевым отвалообразователем и максимальном вылете отвальной консоли

Для конструкции поворотно-звеньевым отвалообразователя, показанной на рис. 3.2, и схемы 1 – 3 работы оборудования (см. Приложение Б), объем заходки в равнинной местности определим по формуле (3.2) проф. М. Г. Новожилова [43]:

$$V_0 = \frac{1}{3} k l_0^3 \sin^3 \alpha \left[\frac{\pi \beta}{360} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \gamma) (2 \operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \gamma) + \operatorname{ctg} \gamma \left(\operatorname{ctg} \alpha + \frac{\pi}{2} \operatorname{ctg} \gamma \right) \right], \text{ м}^3 \quad (3.2)$$

где $k = 0.95 \div 0.98$ – коэффициент, учитывающий пустоты между конусами породы; l_0 – длина консоли отвалообразователя, м; α – угол подъема консоли отвалообразователя, град; β – угол поворота отвалообразователя, град; γ – угол естественного откоса породы в отвале, град.

Для условий отвала отходов ДОФ №1 и ДОФ №2 ЧАО «ДФДК» ($k = 0.95$; $l = 100$ м; $\alpha = 12^\circ$; $\beta = \pm 90^\circ$; $\gamma = 32^\circ - 34^\circ$) объем заходки при выходе отвала на проектную высоту в 60 м составляет 86.5 тыс. м³.

При отсыпке конусообразных тел (рис. 3.3), как указано в п. 2.3, процесс сегрегационного разделения горной массы происходит в виде рассредоточенных отдельностей (кусков) падающих с высоты отсыпки на наклонную поверхность с последующим движением по ней.

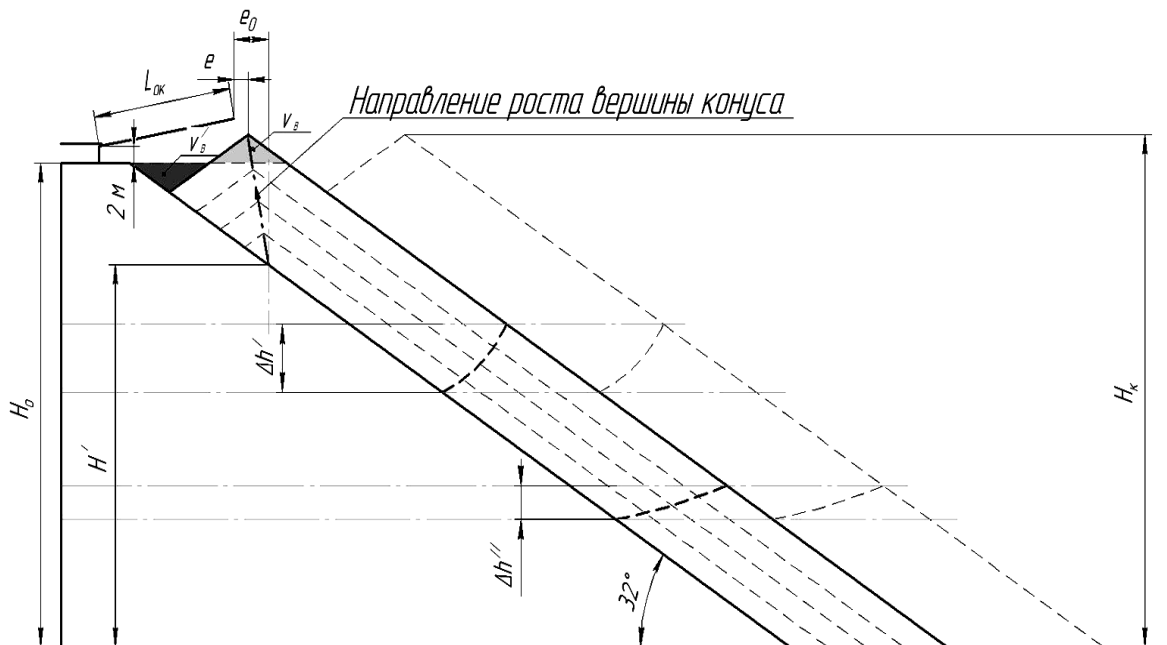


Рис. 3.3. Формирование приоткосного конуса с выделением границ (изоповерхностей) для объемов с различным гранулометрическим составом (1-й вариант)

Сегрегация приводит к образованию в отдельно взятом конусе характерных зон концентрации фракций по крупности, то есть имеет место возрастание содержания преимущественно мелких фракций ближе к оси и к вершине конуса (в форме обелиска). В массиве техногенного месторождения формируется слоевая структура, т.е. распределение масс по крупности формирует определенные слои, которые в целом параллельны основанию штабеля. Особенно это наглядно проявляется для крупной и мелкой фракций. Поверхность отдельно взятого слоя имеет сложную форму (рис. 3.4-а), представляющую суперпозицию изоповерхностей распределения грансостава в конусе техногенного формирования (см. п. 2.3).

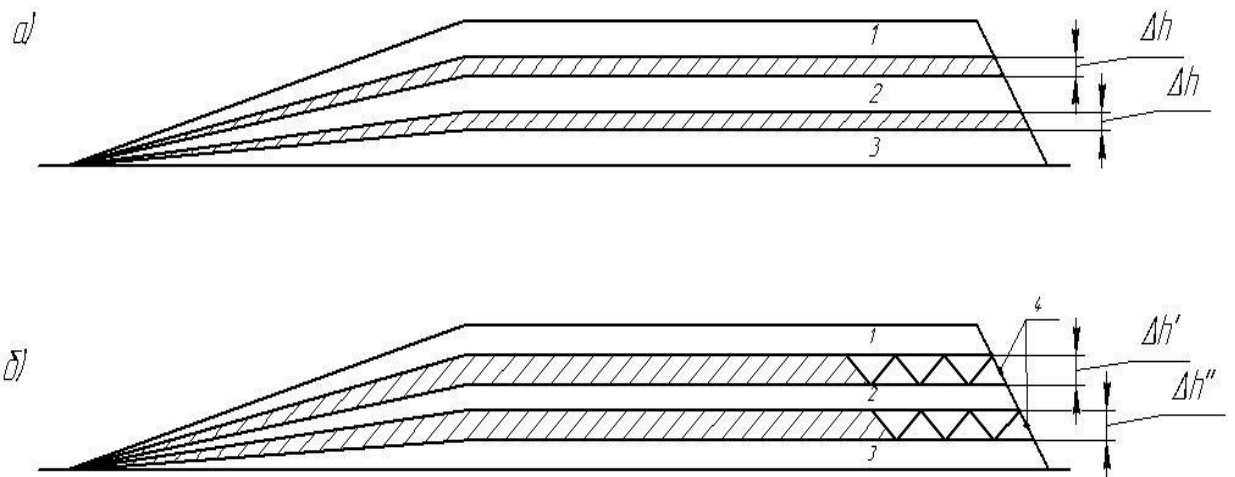


Рис. 3.4. Слоевая структура отвала отходов переработки флюсов при отвалообразовании: а) – с применением автомобильного транспорта (схеме - 4); б) - с применением поворотно-звеньевых конвейеров (схемы 1 – 2)

Особый интерес представляют форма и размеры переходных областей между слоями, в которых характеристика крупности считается существенным качественным показателем для потребителя или выбора технологии дальнейшей переработки. С точки зрения особенностей сегрегационного разделения сыпучего материала переходный слой не будет явно выражен и может быть определен, в первую очередь, на основании технологической документации (проекта, паспорта, и т. п.), а так же характеристик сыпучего материала с учетом технологии и параметров схемы отвалообразования.

Объемное моделирование процесса отвалообразования отходов ДОФ с учетом характера проявления сегрегации (для сыпучего материала с крупность. 0 – 5 мм – 70%, 5 – 10 мм – 20% и 10 – 25 мм – 10%) применением программного продукта «AutoCAD 2009» (рис. 2.5 – 2.7) позволило определить форму и параметры переходных областей между слоями (рис.3.5).

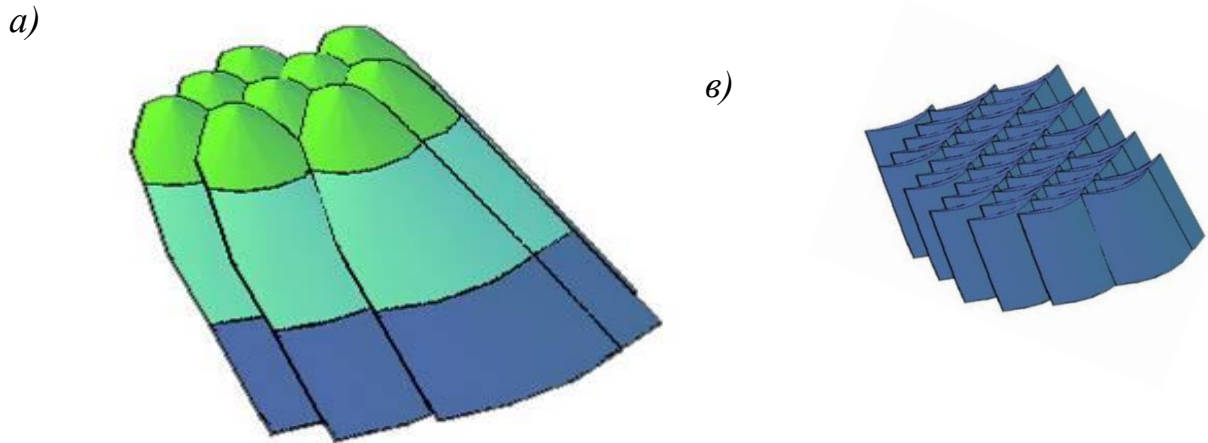


Рис. 3.5. Структурные элементы объёма массива, образующиеся в результате конвейерной отсыпки отвала по схеме 1 (Приложение Б) – формирование конусов по фронту отвала; *a* – конусообразные элементы массива со слоевой структурой; *в* – выделенный нижний слой массива с заданной характеристикой крупности

Граница между слоями 1-2 и 2-3 имеет достаточно сложную волнообразную форму, с высотой гребня $\Delta h' = 4.7$ м, $\Delta h'' = 2.7$ м соответственно. Расстояние между гребнями соответствует вылету отвальной консоли. В этом случае возможность селективной отработки переходных слоев представляется достаточно проблематичной.

Рассмотрим схему работы, при которой заполнение тела по фронту отвала происходит путем постоянного движения поворотного-звеньевое отвалообразователя с максимальным вылетом отвальной консоли по направляющим (см. Приложение Б, схема - 2) либо путем последовательных поворотов на малый угол ($\alpha = 1 - 2$ град.). В этом случае разгрузка, а значит и сегрегационное разделение отходов, происходит в одинаковых условиях по всему фронту отвала (рис. 3.6).

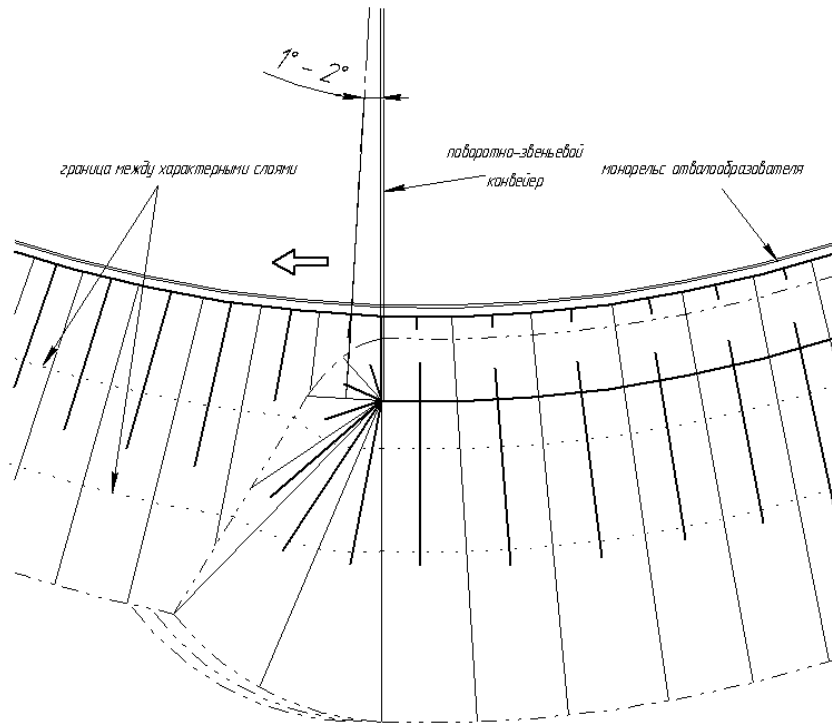


Рис. 3.6. Формирование отвала с отсыпкой конусов при непрерывном повороте поворотного-звеньевых отвалообразователя

При подобной технологии отсыпки отвала, сегрегационное разделение приводит к образованию горизонтальных слоев с определенной характеристикой по крупности материала. Слои разделяются между собой условными поверхностями, напоминающими концентрические волны (рис. 3.7), с центром в точке расположения поворотного башмака поворотного-звеньевых конвейера и расстоянием между ближайшими гребнями (впадинами) поверхности равным $l_{зб} = 20\text{м}$, то есть длине отвальной консоли и высотой гребня равной соответственно $\Delta h'$ или $\Delta h''$.

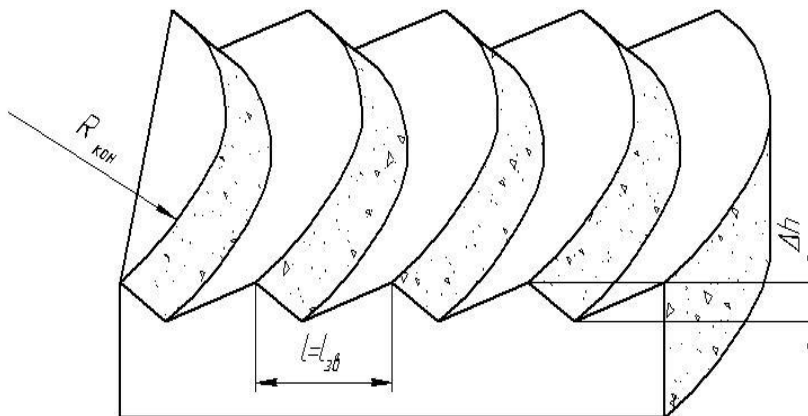


Рис. 3.7. Гребенчатая форма поверхности, разделяющая характерные слои отвала

В этом случае возможен вариант селективной послойной отработки массива, поскольку гребенчатая форма поверхности, разделяющая характерные слои техногенного формирования значительно проще предыдущего варианта, а паспорт отвалообразования дает привязку особенностей рельефа нижележащего слоя относительно поворотной точки овалообразователя. Положительным фактором в этом случае можно считать простоту строительства подъездных путей и возможность использования всех видов колесного транспорта. Комплекс горного оборудования, работающий на граничном участке и в этом случае должен обладать мобильностью и возможностью работы в стесненных условиях. Параметры забоя будут зависеть от характеристики сыпучего материала, технологии и параметров схемы отвалообразования. Этим требованиям в значительной степени удовлетворяют фронтальные погрузчики в качестве основного выемочно-погрузочного оборудования, применяемые совместно с автосамосвалами или в качестве основного погрузочно-транспортного оборудования. Параметры забоя будут зависеть от характеристики сыпучего материала, технологии и параметров схемы отвалообразования.

Рассмотрим схему - 3 (Приложение Б), то есть заполнение тела отвала по фронту при непрерывном повороте поворотно-звеньевой отвалообразователя с минимальным вылетом отвального звена $l_{зв} = 1 - 2$ м (рис. 3.8).

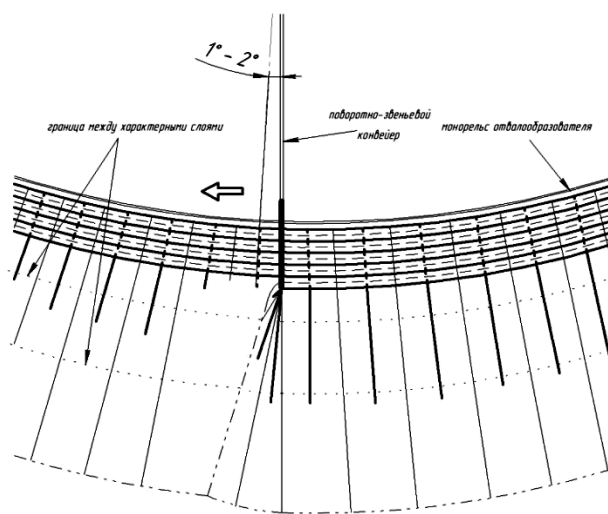


Рис. 3.8. Формирование отвала с отсыпкой конусов при непрерывном повороте поворотно-звеньевой отвалообразователя с минимальным вылетом отвальной консоли

В этом случае форма и параметры поверхности, на которую производится отсыпка дробленого материала, остается постоянной на весь период заполнения тела отвала, что значительно сглаживает условные поверхности, которые разделяют отвал на слои с заданными характеристиками крупности. Эти поверхности с достаточной степенью точности имеют вид горизонтальных плоскостей, что позволяет эффективно применять высокопроизводительное выемочно-погрузочное оборудование как циклического, так и поточного действия.

Применением специального разгрузочного устройства (отвальных плужков), установленного на отвальной консоли (рис 3.9), позволяет значительно уменьшить объем работ по переносу направляющих для отвалообразователя и достичь реализации технологии предыдущей схемы в полном объеме.

Объем заходки в равнинной местности определяется по формуле (3.3)

$$V_0 = \pi \cdot R_{КО} \cdot l_{ОК} \cdot H_0 \cdot ctg\gamma, \text{ м}^3 \quad (3.3)$$

где $R_{КО}$ – длина поворотно-звеньевых отвалообразователя (110 м); $l_{ОК}$ – удаление точки разгрузки от верхней бровки яруса отвала по горизонтали (2 м); H_0 – высота яруса отвала (60 м).

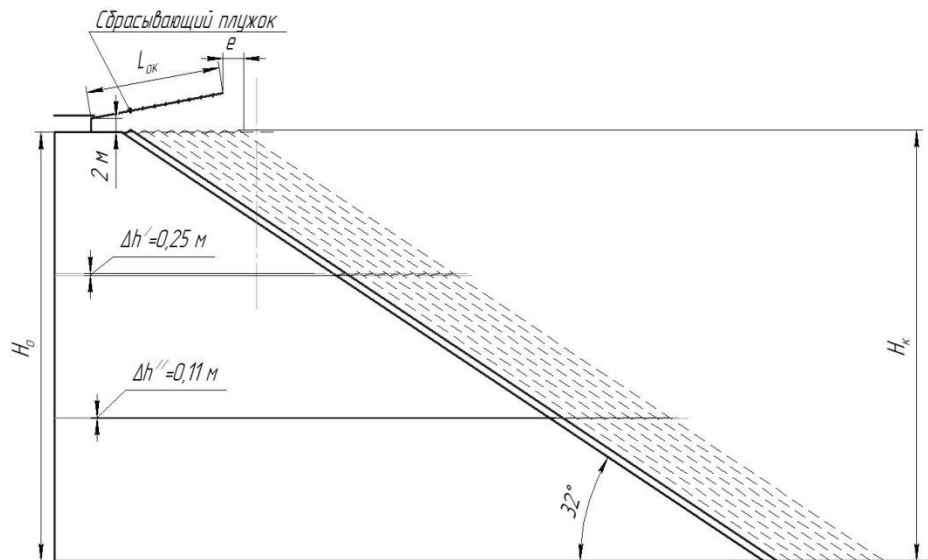


Рис. 3.9. Формирование отвала с отсыпкой горной массы при непрерывном повороте поворотно-звеньевых отвалообразователя с применением специальных разгрузочных устройств

При заданных параметрах схемы отвалообразования объем заходки при полном повороте составит 67.7 тыс. м³, что соответствует производительности ДОФ за двое суток.

На основании выше изложенного делаем вывод о том, что для эффективного разделения сыпучего материала наиболее эффективной схемой работы отвального оборудования является схема-3. Одновременно с достижением максимального раскрытия по фракциям достигается уменьшения объема вспомогательных работ на отвальном участке (в основном планировочных). Эффективности сегрегации способствует относительно небольшая высота падения горной массы с разгрузочного конвейера (от 3 до 8 м), что снижает эффект «вбивания» крупных фракций в верхнюю часть откоса.

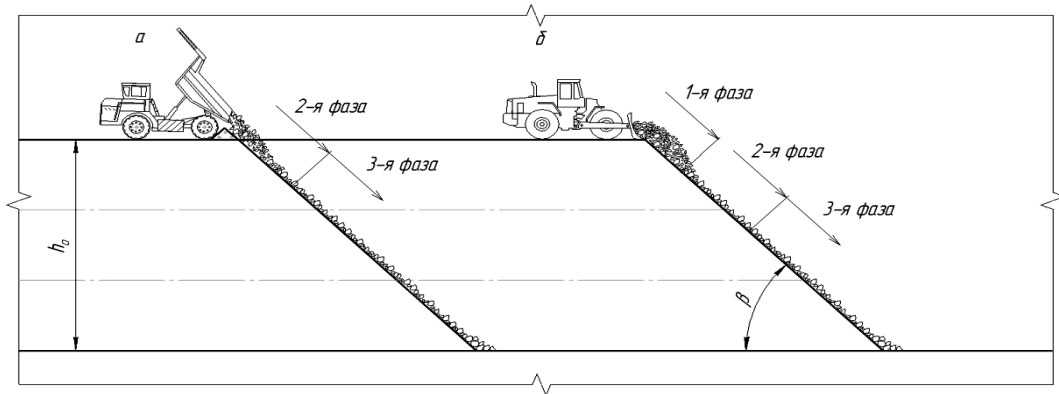
3.3. Обоснование области применения автомобильно-бульдозерных комплексов для формирования техногенных месторождений и образований

Автомобильный транспорт для транспортирования и последующей укладки вскрышных пород или отходов переработки в отвалы на флюсовых предприятиях приобрел доминирующее положение. Этому способствуют, во-первых, новые проектные решения по организации отвальных работ на большинстве карьеров, и в первую очередь, строительство временных внутренних отвалов и складов некондиционной продукции, что приводит к уменьшению плеча откатки при транспортировании горной массы, а во-вторых, внедрение нового оборудования - современных высокопроизводительных автосамосвалов, мощных колесных и гусеничных бульдозеров.

Автомобильный транспорт широко применяют для транспортирования отходов переработки флюсов на ДОФ. Одна из причин подобного явления заключается в том, что значительные рыночные колебания требуемых объемов металлургических флюсов приводит к тому, что обогатительные фабрики работают длительные периоды ниже своей производительности, а, следовательно, содержание и обслуживание стационарных отвальных комплексов становится более затратным.

Традиционно бульдозерное отвалообразование подразделяют на периферийное и площадное (рис. 3.10). В первом случае породу разгружают прямо под откос или в непосредственной близости от него, а затем бульдозерами перемещают к верхней бровке отвала. Во втором случае породу разгружают на всей площади отвала, затем ее планируют бульдозерами и укатывают катками, после чего отсыпают следующий слой породы и т.д. Площадное отвалообразование в данной работе не рассматривается, поскольку оно не создает условий к выраженному проявлению гравитационной сегрегации в массиве техногенного месторождения. К тому же, периферийное отвалообразование, вследствие меньшего объема планирования и дорожных работ, более экономичнее.

а)



б)

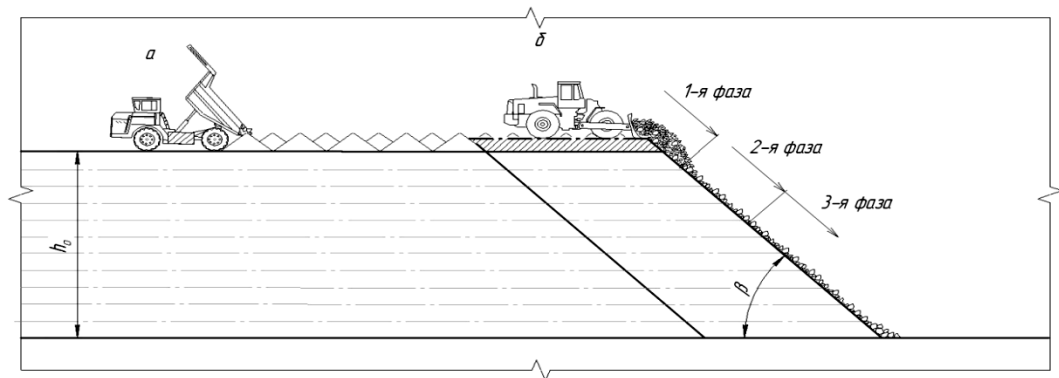


Рис. 3.10. Схемы бульдозерного отвалообразования при автотранспорте: а) – периферийное; б) – площадное отвалообразование

Бульдозерные отвалы могут быть внешними и внутренними, а по конструкции, в зависимости от горнотехнических условий – одноярусными и многоярус-

ными. Процесс бульдозерного отвалообразования при автомобильном транспорте включает три операции: разгрузку автосамосвалов, планировку отвальной бровки и устройство автодорог. Отвальный фронт работы делят на два или несколько участков, на которых последовательно осуществляют планировку и разгрузку. Отвальные или временные дороги располагают вдоль разгрузочного фронта.

Автосамосвалы разгружают породу, не доезжая до бровки отвального уступа на расстояние не меньше величины безопасного подъезда. Для рассматриваемых условий, породы, складываемые в отвал, по физико – механическим свойствам Центрогипрошахт относит ко второй группе. В случае применения автосамосвалов грузоподъемностью 40 т безопасное расстояние подъезда составит 3,5 м. при этом до 60% породы разгружается на площадке. Высота породного развала составляет 0,8 – 1,8 м, а ширина 1,2 – 5 м.

Отходы переработки флюсов следует стремиться разгружать непосредственно под откос. В этом случае значительный объем разгружаемой горой массы попадает на наклонную поверхность откоса в достаточной степени разрыхленном состоянии, что сокращает фазу движения породы в консолидированном состоянии и повышает эффективность сегрегационного разделения.

Безопасная разгрузка автомашин обеспечивается устройством у верхней бровки отвала предохранительного породного отвала высотой 0,4 – 0,8 м и шириной 1 – 1,5 м, создаваемого и периодически профилируемого при поперечно-продольных проходах бульдозера.

На отвале применимы две формы организации работ: а) разгрузку машин и планировку отвальной бровки совмещают на одном участке; б) разгрузку машин и планировку отвальной бровки производят на различных участках. Вторая форма организации работ предпочтительнее, поскольку создает значительные удобства и повышает безопасность работы. Однако в этом случае схема работы отвального оборудования не позволяет основному объему породы перемещаться по откосу. Условия эффективной сегрегации сыпучих пород при данной схеме отвалообразования отсутствуют.

Заданными параметрами при расчете бульдозерных отвалов являются: общий объём пород V_o , подлежащих складированию в отвалы, производительность фабрики по отходам P_o .

Высота отвальных ярусов будет ограничена углом внутреннего трения – $\beta = 32^\circ \div 34^\circ$. Для сыпучих горных пород, которыми представлены отходы переработки флюсов, при угле внутреннего трения $\varphi=25,4^\circ$, коэффициенте сцепления $k=1.97$ т/м², среднем значении объемного веса горной породы $\gamma = 2,1$ т/м³, естественном откосе $\beta_0=32^\circ$ и требованиями по безопасной эксплуатации автотранспорта на отвалах высота отвального яруса составит $H=20,4$ м (см. Приложение 2). В соответствии с опытом работы флюсодобывающих предприятий высота отвального яруса (уступа) для скальных пород составляет 25 - 30 м, для песчаных пород – 15 - 20 м.

Площадь трехъярусного бульдозерного отвала, обеспечивающего складирование отходов ДОФ №2 ЧАО «ДФДК» (высота ярусов $h_{1,2,3} = 20$ м), определяется в зависимости от общего объема отходов и общей высоты отвала h :

$$S_o = (V_o \times K_p) / (h \times K_o), \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

где K_p – коэффициент разрыхления пород в отвале (обычно 1,15 – 1,2); K_o – коэффициент, учитывающий откосы и неравномерность заполнения площади (для трехъярусного отвала – 0,5).

Для условий ДОФ № 2 площадь отвала составила бы 73,3 га, что вдвое больше чем при конвейерном отвалообразовании (37,7 га). Следовательно, внедрение автомобильно-бульдозерных комплексов на укладке отходов переработки флюсов приведет к увеличению отчуждаемых земель под отвалы.

Для максимального сегрегационного разделения исходного материала (песчано-гравийная смесь) на наклонной поверхности откоса техногенного образования, необходима высота яруса не менее 15 м.

Достижение проектной высоты техногенного образования обеспечивается поочередной отсыпкой трех ярусов высотой по 20 м, или четырех – по 15 м. Для обеспечения максимальной безопасности работы автосамосвалов при периферийной схеме разгрузки принимаем высоту яруса техногенного образования 15м.

При последующей разработке техногенного образования необходимо принять во внимание изменение очередность слоев с необходимыми характеристиками крупности и количество отсыпаемых ярусов.

3.4. Анализ и оценка эффективности технологии формирования техногенных месторождений с помощью колесных погрузчиков

Как средство механизации горных работ в схеме комплексной механизации карьерные погрузчики в наибольшей мере отвечают основным принципам механизации открытых горных работ, определенным Н. В. Мельниковым [79]. Как комбинированные машины, они обеспечивают поточность производства, т. е. непрерывность технологического процесса – выемки или черпания, погрузки или транспортирования и складирования или отвалообразования при совмещении процессов, так как весь технологический цикл может выполняться одним механизмом.

Схемы с использованием карьерных погрузчиков в качестве погрузочно-транспортного оборудования, являются наиболее экономичными из-за исключения одной операции перегрузки и вида транспорта. Погрузчики могут с высокой эффективностью применяться как при цикличной технологии, так и при циклично-поточной технологии горных работ на карьерах, а в условиях ДОФ флюсовых предприятий и при поточно-циклических технологиях горных работ [79 - 84].

Организация формирования техногенного месторождения на внешнем отвале с использованием одноковшового колесного погрузчика, представленная на рис. 3.11 (схема *a*), предполагает разгрузку горной массы на площадку непосредственно с транспортера галереи, а далее с площадки горная масса погрузчиками перевозится непосредственно в отвал. Трассы движения погрузчиков расходятся радиально от площадки разгрузки транспортера галереи. Высота блока ТМ для песчаных пород – 15–20 м. Поскольку, для достижения требуемого сегрегационного разделения исходного материала (песчано-гравийной смеси) необходима высота яруса не менее 15 м, то конечная высота отвала 60 м может быть обеспечена поочередной отсыпкой трех ярусов высотой по 20 м, или четырех – по 15 м. Как и в случае бульдо-

зерного отвалообразования, при выборе технологии последующей разработки ТМ необходимо принять во внимание число и очередность слоев с необходимыми характеристиками по крупности.

На эффективность работы карьерного погрузчика в значительной степени влияет грансостав взорванных горных пород. Производительность выемочно-погрузочного оборудования определяется, главным образом вместимостью ковша, коэффициентом его наполнения, продолжительностью цикла погрузки и коэффициентом разрыхления разрабатываемых горных пород [43 - 45, 79 - 81]. Последние три показателя зависят от качества подготовки полускальных и скальных пород к выемке. Причем с уменьшением кусковатости дробленных горных пород производительность погрузчика возрастает при соответствующем увеличении коэффициента наполнения ковша, снижении продолжительности черпания (составляющей цикла погрузки) и коэффициента разрыхления горных пород в ковше.

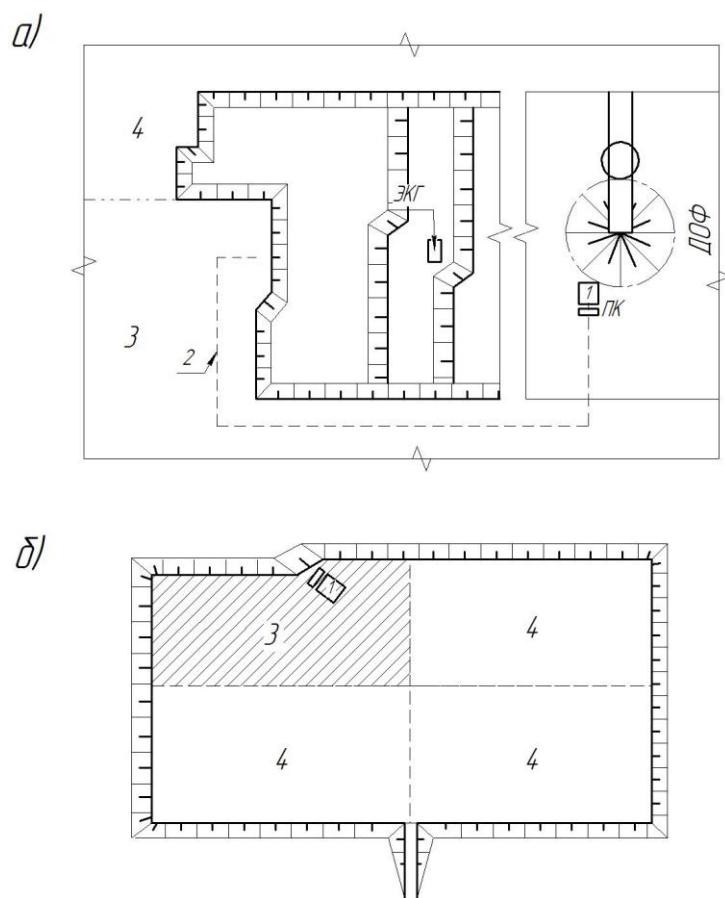


Рис. 3.11. Организация работы погрузчиков со складированием породы на внутренних (а) и внешних (б) отвалах: 1 – погрузчик; 2 – трасса движения; 3 – блок складирования отходов переработки флюсов; 4 – валовое складирование других пород

На схеме б) показано складирование отходов переработки флюсов во внутренний отвал в отдельные блоки с учетом валового складирования других пород.

В результате исследования [79, 80, 85 - 90] было установлено:

1. Погрузчик с меньшей емкостью ковша имеет несколько лучшие показатели черпания, так как при практически одинаковом грансоставе взорванных горных пород и наполнении ковша продолжительность черпания у погрузчика с $E_{\text{п}}' = 8,41 \text{ м}^3$ выше, чем у погрузчика с ковшом $E_{\text{п}}' = 7,65 \text{ м}^3$. То есть, при увеличении вместимости ковша на 9,99%, получаем увеличение производительности погрузчика всего на 1,4 – 6,87%.

2. При кусковатости d_{cp} горных пород, равной 100 мм, для погрузчика с вместимостью ковша с «шапкой» $E_{\text{п}}' = 4,6 \text{ м}^3$ отношение ширины режущей кромки $b_{\text{к}}$ к среднему размеру куска d_{cp} ($b_{\text{к}}/d_{\text{cp}}$) равно 33, то для погрузчиков с $E_{\text{п}}' = 20 \text{ м}^3$ (ПК-40) $d_{\text{cp}}/b_{\text{к}} = 60$. Если для погрузчика с $E_{\text{п}}' = 4,6 \text{ м}^3$ горную породу с $d_{\text{cp}} = 350$ мм следует оценивать как крупнокусковую, то для погрузчика ПК-40 эту же породу можно рассматривать как сыпучую среду.

3. Резкое увеличение производительности погрузчиков с ковшом вместимостью $4,6 \text{ м}^3$ наблюдается при изменении показателя $b_{\text{к}}/d_{\text{cp}}$ от 13 – 14 до 3 – 4. При $b_{\text{к}}/d_{\text{cp}} \geq (13 \div 14)$ погрузчики работают наиболее производительны. Следовательно фракция 100 – 200 мм и менее оказывает положительное влияние на повышение производительности $Q_{\text{т}}$ погрузчика.

4. Погрузчики с ковшами достаточно широкого спектра вместимости при $b_{\text{к}}/d_{\text{cp}} \geq (13 \div 14)$ работают наиболее производительны.

5. Оптимальная грузоподъемность погрузчика, занятого на погрузочно-транспортных работах, должна превышать в 1,6 – 1,9 раза оптимальную грузоподъемность погрузчика, используемого в качестве погрузочного средства в комплексе с автосамосвалами.

6. Основная часть погрузочного и погрузочно-транспортного циклов погрузчиков составляет время на движение их в груженном и порожнем состоянии. Так, например, доля затрат времени на движение погрузчика к месту разгрузки ковша и черпания горной породы при минимальном расстоянии (в одном направлении)

15 – 20 м составляет 59 – 75% от общей продолжительности погрузочного цикла, в то время как при использовании его в качестве погрузочно-транспортного оборудования при расстоянии транспортирования 140 м и более – 92 – 97% от продолжительности погрузочно-транспортного цикла.

Математическая обработка многочисленных экспериментальных данных [79, 80, 93] по погрузчикам, применяемым на рудных карьерах, позволило получить зависимость средней эксплуатационной скорости движения груженого погрузчика $v_{гр}$ от расстояния транспортирования $L_{тр}$ и типа дорожного полотна (рис. 3.12).

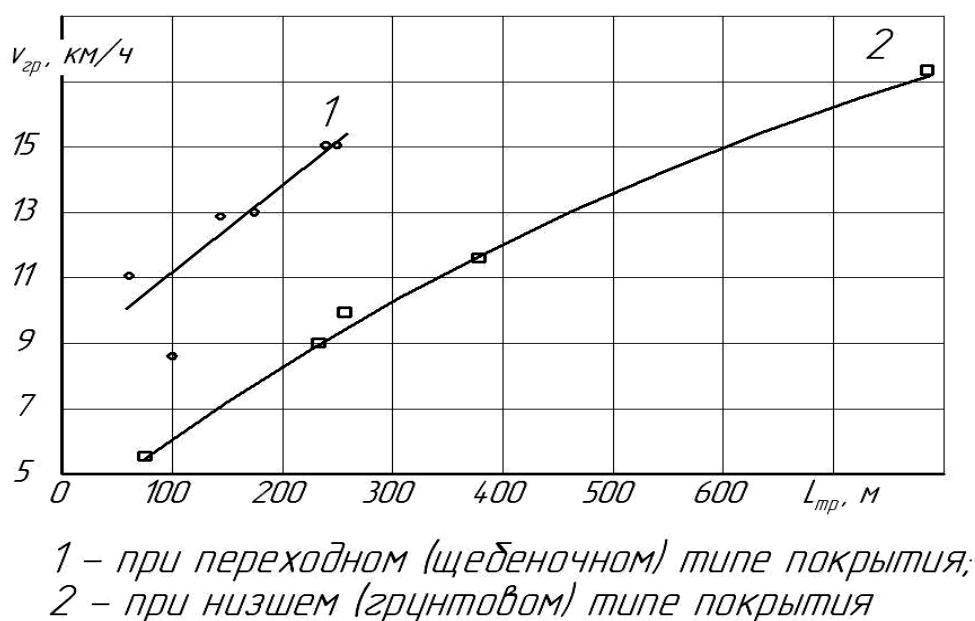


Рис. 3.12. График зависимости средней эксплуатационной скорости движения груженого погрузчика $v_{гр}$ от расстояния транспортирования $L_{тр}$ и типа дорожного полотна

Скорость движения погрузчиков в груженом и порожнем направлении, при использовании погрузчиков в качестве погрузочно-транспортного оборудования, определяется исходя из тяговых качеств погрузчика [79].

Практический интерес представляет эксплуатационная производительность ($m^3/смену$) погрузчика. При нормальном обеспечении погрузчиков транспортными средствами или при их работе в качестве погрузочно-транспортного оборудования коэффициент использования погрузчика в течении смены, как показывают

результаты исследований [84], зависит, главным образом, от затрат времени на техническое обслуживание и текущий ремонт погрузчиков, а так же от использования их на вспомогательных работах.

Таким образом, при решении вопроса о выборе расчетной формулы для определения эксплуатационной производительности погрузчика будем учитывать вид выполняемых работ.

Определение производительности погрузчика (т/смену) при работе в качестве погрузочного оборудования производим с учетом продолжительности установки автосамосвала под погрузку t_m и грузоподъемностью автосамосвалов q_a , работающих в комплексе с погрузчиком по формуле (3.5)

$$Q_{э.п.} = \frac{3600 \times T_{см} \times k_{ис} \times E_n \times k_n}{0,52 \times k_{р.к.} \times (168,85 - 20,5q_n + q_n^2) + E_n \times k_n \times \gamma \times t_m / q_a}, \quad (3.5)$$

Эксплуатационная производительность погрузчика (т/смену) работающего в качестве погрузочно-транспортного оборудования определяется с учетом качества подготовки разрыхленной горной массы, расстояния транспортирования $L_{тр}$ (как правило, $L_{тр} = L_{пор}$) и скоростей движения груженого $v_{гр}$ и порожнего погрузчика $v_{пор}$:

$$Q_{э.птр} = \frac{3600 \times T_{см} \times k_{ис} \times E_{н.т} \times k_n \times \gamma}{\left[t_ч + 3,6 \times \left(\frac{L_{гр}}{v_{гр}} + \frac{L_{пор}}{v_{пор}} \right) + t_p \right] \times k_{р.к.}}, \quad (3.6)$$

где $E_{н.т}$ – геометрическая вместимость ковша для транспортных работ, m^3 ; $L_{тр}$ – расстояние движения груженого погрузчика от забоя к месту разгрузки, м; $L_{пор}$ – расстояние движения порожнего погрузчика к месту загрузки, м.

Согласно данным зарубежной практики, при годовых объемах до одного млн. т руды, грузоподъемность погрузчиков, работающих в режиме погрузочно-транспортных машин в 1,76 – 1,9 превышают грузоподъемность погрузчиков, работающих в погрузочном режиме, а превышение средней вместимости ковшей при этих же объемах составляет 1,76 – 2,17 раза.

Исходными данными в выборе погрузчика для формирования техногенных месторождений сложенных отходами переработки флюсов принимаются: производительность обогатительной фабрики по отходам переработки флюсов (1,0 млн. т в год), диапазон расстояний транспортирования (от 0,1 до 0,5 км), покрытие автомобильных дорог – щебеночное.

Для решения этой проблемы воспользуемся экспресс - методом на основе расчетно-статистических зависимостей в виде корреляционной связи [80, 91]. Она представляет взаимосвязь между главным технико-эксплуатационным параметром погрузчика (номинальной грузоподъемностью), который наиболее полно характеризует технологические возможности конкретной модели, с одной стороны, и годовыми объемами погрузочных и погрузочно-транспортных работ, расстоянием транспортирования по дорогам с определенным покрытием, характеризующими грузооборот участка, с другой стороны.

При решении задачи учитывались усредненные горнотехнические условия: плотность отходов – 1.8 – 1.9 т/м³; коэффициент разрыхления – 1.45 – 1.55.

Исследованиями [80, 81] установлено, что решающее значение на выбор главного параметра погрузчика – номинальной грузоподъемности при использовании его в качестве погрузочного, а так же погрузочно-транспортного оборудования при расстоянии транспортирования до 0,5 – 0,7 км оказывает годовой объем погрузочных и погрузочно-транспортных работ, выполненный им.

Для выбора номинальной грузоподъемности (т) карьерного погрузчика воспользуемся соотношениями (3.7, 3.8) Н.В. Мельникова, К. Н. Трубецкого, Е. Р. Леонова [79].

При использовании погрузчика в качестве погрузочного оборудования (коэффициент корреляции $r = 0,9$) номинальная грузоподъемность (т) его определяется формулой (3.7):

$$q_{\Pi} = 3,58Q_{\Pi} + 4,71 \quad (3.7)$$

где Q_{Π} – годовой объем погрузочных работ погрузчика, млн. т.

Выражение (3.7) справедливо при $q_a/q_n = 2 \div 4$, годовом объеме погрузочных работ $Q_{п} = 0,1 \div 5$ млн. т, расстоянии транспортирования горной породы автосамосвалами $L_{TP} = 0,1 \div 2$ км и оптимальном режиме работы погрузчика во времени.

При использовании карьерного погрузчика в качестве погрузочно-транспортного оборудования, при расстоянии транспортирования по карьерным дорогам со щебеночным покрытием до 0,5 км, номинальная грузоподъемность (т) его устанавливается по формуле (коэффициент корреляции $r = 0,806$):

$$q_{п.т} = 4,96Q_{п.т} + 10,86 , \quad (3.8)$$

где $Q_{п.т}$ – годовой объем погрузочно-транспортных работ погрузчика, млн. т.

Выражение (3.8) справедливо при годовом объеме работ $Q_{п.т} = 0,3 \div 5$ млн. т, и оптимальном режиме работы погрузчика во времени.

При расстоянии транспортирования погрузчика от 0,5 до 2 км номинальная грузоподъемность карьерного погрузчика (т), используемого в качестве погрузочно-транспортного оборудования устанавливается по следующему выражению:

$$q_{п.т} = \frac{2,89}{k_{дор}} (14,33Q_{п.т} + 3,39k_o \lg L + 1) , \quad (3.9)$$

где $k_{дор}$ – коэффициент, учитывающий тип покрытия дороги (для временных грунтовых дорог (для временных грунтовых дорог $k_{дор} = 1$; для дорог со щебеночным покрытием $k_{дор} = 1,65$); k_o - коэффициент, учитывающий влияние объема погрузочно-транспортных работ $Q_{п.т}$ на грузоподъемность погрузчика (табл. 3.1); L – расстояние транспортирования, км.

Таблица 3.1

Влияние объема работ $Q_{п.т}$ на k_o для погрузчика

$Q_{п.т}$ (млн. м ³)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
k_o	1	1,45	1,83	2,14	2,4	2,65	2,87	3,08

Выражение (3.9) справедливо при годовом объеме работ $Q_{п.т} = 0,1 \div 1$ млн. т, расстоянии транспортирования $L = 0,1 \div 2$ км и оптимальном режиме работы погрузчика во времени.

Установленная по выражениям (3.7) – (3.9) величина номинальной грузоподъемности погрузчика является главным параметром для выбора соответствующей этой величине ближайшей модели погрузчика. Таким образом, оптимально реализовать возможности в обоих режимах сможет погрузчик, который использует ковш емкостью от $E_{\text{п}} = 3,7$ до 7.2 м^3 .

Применение погрузчика Volvo L120F работающего в комплексе с автосамосвалами БелАЗ-7548 (в качестве забойного оборудования) позволит оптимально сочетать имеющийся на флюсовых предприятиях автопарк, с одной стороны, а с другой – достигать максимальную сменную производительность ($Q_{\text{э.п.}} = 2130 \text{ м}^3/\text{смену}$) для горных пород, слагающих массив техногенного месторождения.

3.5. Влияние сегрегационных проявлений в сыпучих породах на прочностные свойства массива техногенного образования

Размещаемые во внутренние и внешние отвалы флюсовых карьеров скальные вскрышные породы имеют чрезвычайно широкий спектр по гранулометрическому составу. Это объясняется тем, что некондиционные известняки и скальная вскрыша приурочены к участкам контакта покрывающих суглинков и выветренных известняков, к зонам внешнего и внутреннего карста и к областям, примыкающим к непродуктивным зонам, которые сложены молодыми некондиционными породами верхневизейского возраста (горизонты C1ve, C1vf).

Для изучения гранулометрической характеристики (табл. 3.2) скальной вскрыши нами было выбрано три характерных участка на карьере «Центральный» ЧАО «ДФДК»:

- участок - 1, разрабатываемый экскаватором № 31 (скальные породы на контакте с суглинком, после взрывной подготовки);
- участок - 2, разрабатываемый экскаватором № 43 (участок со значительными проявлениями карста, применение БВР);
- участок - 3, разрабатываемый экскаватором № 46 (некондиционные породы после взрывной подготовки).

Гранулометрический состав массива взорванных пород на участках определялся фотопланиметрическим методом по всей поверхности массива, с использованием шаблона для подсчёта содержания кусков различной крупности. При этом забой фотографировался с расстояния 20 м через шаблон размером 1000 × 1000 мм с нанесенной масштабной сеткой 10 × 10 мм. С помощью этой сетки определялся средний размер отдельности и их число N на 1 м² массива по формуле (3.10) МГИ:

$$N = \frac{n \cdot \sqrt{n}}{S \cdot \sqrt{S}} \quad (3.10)$$

где n – число отдельностей заданной крупности на измеряемой площади S (м²), шт.

С целью повышения точности, данные фотопланиметрических измерений, сопоставлялись с натурными измерениями и результатами исследований по экспериментальным взрывным работам [46] на карьерах ОАО «ДФДК» в 2004 – 2005 г., что позволило обеспечить измерения с погрешностью не более 3 – 5%.

Таблица 3.2

Гранулометрический состав (усредненный) взорванной горной массы

Участок	Крепость пород	Процентное содержание фракции			
		0-200	201-300	301-400	401- более
Эк-р № 31 (участок-1)	6	33.4	25.8	27.6	13.2
Эк-р № 43 (участок-2)	7	28.1	19.2	25.6	27.1
Эк-р № 46 (участок-3)	8	29,9	22,8	24,5	22,8

Произведённое сравнение частных характеристик по участкам (рис. 3.13) свидетельствует о том, что на участке № 1 существенно преобладают более мелкие фракции 0 – 200 мм по отношению к фракциям максимальной крупности. На участках № 2 и № 3 резкого доминирования отдельных классов крупности не наблюдается, наибольший выход крупной фракции на 2-м участке.

Физико-механические свойства пород скальной вскрыши на карьерах по разработке металлургических флюсов подобны физико-механическим свойствам полезного ископаемого [55, 83, 92, 94, 95]. На основании проектные данных и отчете-

тов по исследованию физико-геологических условий устойчивости отвалов «Докучаевского флюсо-доломитного комбината» [31, 46,], установлено что породы, слагающие отвалы – малосжимаемые, вследствие чего при изменении вертикальной нагрузки от 1 до 12 кг/см² объемный вес образца породы изменяется незначительно. Это объясняется механическим составом пород, влияющим на их сжимаемость

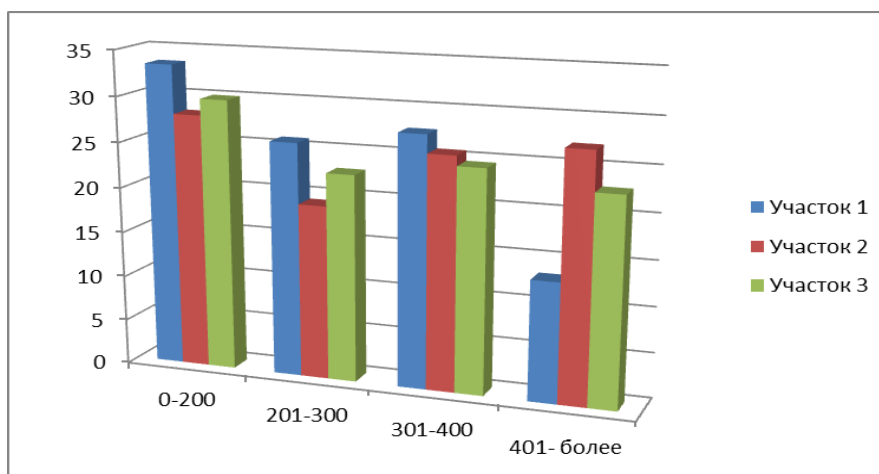


Рис. 3.13. Соотношение различных классов крупности по участкам

Физико-механические свойства пород карстового происхождения (вскрышные породы), представленные песчано-глинистыми образованиями с дресвой и щебнем известняков, характеризуются невыдержанным фракционным составом (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Физико-механические свойства песчано-глинистых отложений кайнозоя

Наименование породы	Плотность $\times 10^3$, кг/м ³	Пористость, %	Коэффициент пористости, доля единицы	Влажность, %	Угол внутреннего трения, градус	Удельное сцепление, $\times 10^{-2}$ МПа
Суглинки	1,77-2,0	39-45	0,64-0,84	18-22	<u>22-30</u> -	<u>2,25-4,0</u> -
Песчано-глинистые породы	1,89	39,56	0,66	17	<u>31</u> 25	<u>8,80</u> 4,70

* В числителе приведены значения показателей при естественной влажности, в знаменателе – при водонасыщении.

Прочностные свойства нарушенных карбонатных пород более высокие (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Физико-механические свойства пород карбонатной толщи нижнего карбона

Наименование пород	Плотность сложения, $\times 10^3$, кг/м ³	Угол внутреннего трения, градус	Удельное сцепление, $\times 10^{-2}$ МПа
Известняк монолитный	2,60	27,0	9,60
Известняк трещиноватый	2,50	24,0	5,40
Известняк закарстованный	2,38	17,0	4,7
Глинистые сланцы ненарушенной структуры	2,25	12,0	6,78
Глинистые сланцы по поверхности ослабления	2,25	7,0	2,40
Брекчия карбонатных пород и глинистого сланца (C1ta1)	2,30	12,0	6,78

Определим высоту отвала H с прямолинейным откосом при $\beta_0 = 34^\circ$ следующим образом [59]:

- по графику для расчета прямолинейных откосов (см. Приложение В) при угле внутреннего трения $\varphi = 25,4^\circ$ и $\beta_0 = 34^\circ$ определяется предельная высота в безразмерных координатах $H' = 20,2$;

- с учетом коэффициента сцепления $k = 1.97$ т/м² и значения объемного веса $\gamma = 2,5$ т/м³ . получим:

$$H = H' \frac{k}{\gamma} = 20.2 \cdot \frac{1.97}{2.5} = 15.9 \text{ м.}$$

На карьерах принимается высота 15 м, что является вполне допустимым по условию исключения самопроизвольного оползания откосов [64].

Характерной особенностью откоса является наличие в нижней части выполаживающей призмы, состоящей из крупных фракций. Параметры призмы тем больше, чем выше процентный состав крупной фракции в исходном материале. Материал моделирующий грансостав участка №1 формировал призму высотой равной 1/4 части штабеля, участка №3 1/3, а участка №2 – более 1/3 высоты штабеля (0,38 H_0).

Рассмотрим криволинейный откос при концентрации в нижней части крупнокусковых пород. Естественное выполаживание на примыкании откоса к основанию отвала приводит к появлению призмы, которая служит естественным контрфорсом для откоса.

Контрфорс — насыпное сооружение из пород скальной вскрыши, применяется для укрепления откосов уступов нерабочих бортов, капитальных траншей, отвалов пород и других техногенных образований. Этот способ является наиболее простым, эффективным, технологичным, мобильным и дешевым по сравнению с другими противооползневыми сооружениями, применяемыми на карьерах. Пригрузка откоса скальными породами служит подпорной стеной и дренажной призмой, предотвращает набухание и оплывины глинистых пород, защищает поверхность откоса от эрозионного разрушения, а поверхность фильтрующего откоса — от промерзания, образования наледей, обеспечивает нормальные условия для работы дренажных устройств.

Недостатки этого способа укрепления: большая масса насыпного сооружения и занимаемая им площадь. В нашем случае образование контрфорса происходит попутно, что не требует дополнительных затрат.

Важнейшее требование укрепления откосов с помощью контрфорсов на предельном контуре откоса отвала — недопущение задержки при сооружении пригрузки после выгрузке и укладке пород в отвальном тупике, что тоже естественным образом выполняется на рабочем отвальном тупике.

Контрфорсы отсыпают на подготовленное скальное или полускальное основание, взрыхленное на глубину 1... 1,5 м буровзрывным способом. Это повышает сопротивление сдвигу контрфорса в основании. При наличии в основании слабых пород, поддающихся экскавации, производят выемку на такую же глубину, с тем чтобы основание контрфорса не совпало с поверхностью скольжения. При внутреннем отвалообразовании необходимость проведения выемки отсутствует.

Параметры контрфорсов определяют для предотвращения поверхностных и глубинных деформаций откосов. Для предотвращения поверхностных деформаций откосов, связанных с воздействием поверхностных вод и колебанием темпе-

ратуры (агенты выветривания), сооружают контрфорс с минимально допустимой шириной основания и крутизной его откоса, равной углу естественного откоса скальных пород ($32...40^\circ$). В нашем случае (рис. 3.14) угол естественного откоса крупной фракции равен 32° , определяющим углом прямолинейного откоса является β_0 ($38...41^\circ$). Среднюю толщину слоя контрфорса по вертикали h_{\min} (м) в выбранной точке поверхности откоса с углом β_k определяем исходя из параметров подпорной призмы – контрфорса и необходимой величины нормального давления σ_{\min} (МПа), препятствующего развитию давления набухания глинистых пород и обеспечивающего удерживание силы частиц контрфорса на наклонной поверхности. Приближенное значение h_{\min} определяют по формуле $h_{\min} = 1/2 \cdot H_1 \approx 1/2 \cdot 0,38H_0 = 2,8\text{ м}$ а с другой стороны

$$h_{\min} = \sigma_{\min} / \gamma_k \cos \beta, \quad (3.11)$$

где: σ_{\min} — минимальное нормальное давление (напряжение), МПа; γ_k — удельный вес материала контрфорса, кН/м^3 ; β — угол наклона откоса отвала, град.

Ширина контрфорса поверху равна 0 м, а ширина понизу B (м) определяется по формуле:

$$B = 0,38H_0 (\text{tg} \beta_k + \text{tg} \beta_0) = 2,1\text{ м} \quad (3.12)$$

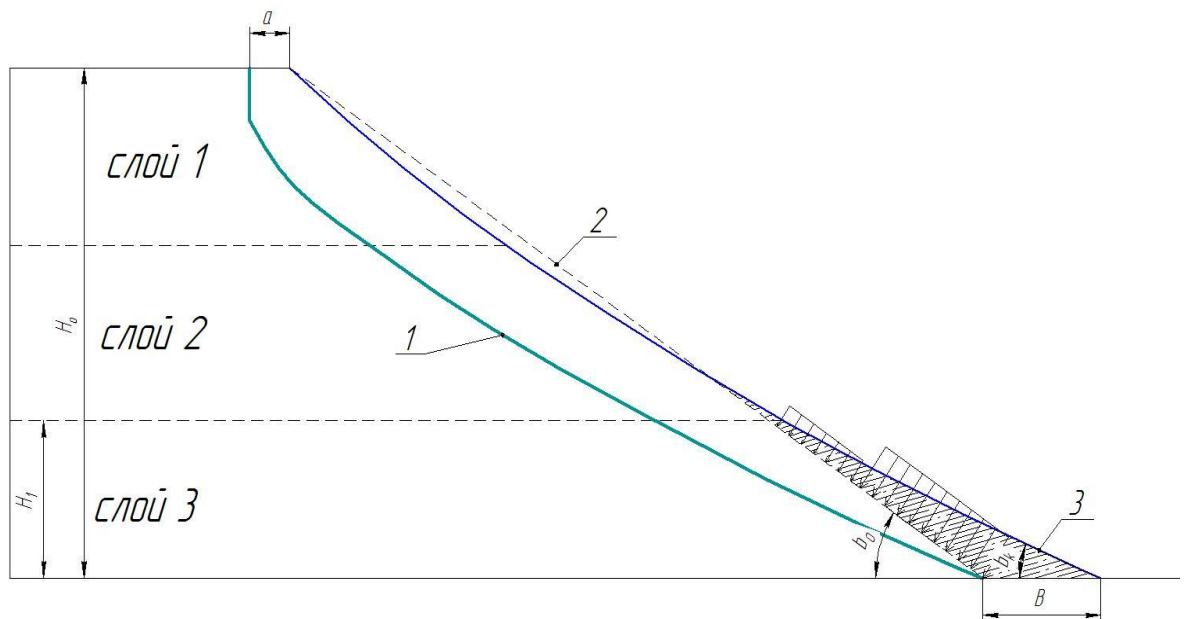


Рис. 3.14. Схема расчет параметров для естественного контрфорса для предотвращения поверхностных и фильтрационных деформаций: 1 – поверхность скольжения, 2 – прямолинейный откос: 3 – фактическая линия откоса

Путем построения углов естественного откоса для основного массива (проектного значения) скальных пород нижнего слоя с учетом значения B , определим σ_{\min} из выражения (3.11), которое является сдерживающим деформацию.

$$\sigma_{\min} = h_{\min} \gamma_k \cos \beta = 4 \times 2,8 \times 0,75 = 8,4 \text{ МПа} \quad (3.13)$$

При переменной объемной массе пород каждого слоя (по высоте отвала) в качестве первого приближения для инженерных расчетов можно принять средневзвешенное значение объемного веса - γ , для нашего случая вычисляемое по формуле:

$$\gamma = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_{n_c} h_{n_c}}{\sum h_{n_c}} = \frac{1,7 \cdot 5 + 1,8 \cdot 5 + 2,4 \cdot 5}{5 + 5 + 5} = 1,97 \text{ т/м}^3 \quad (3.14)$$

Расчет устойчивости подобных неоднородных откосов отвалов осуществляем способом суммирования сил на поверхности разрушения.

Коэффициент запаса устойчивости определяется по формуле:

$$F' = \frac{\sum \tau_{y\delta}}{\sum \tau_{c\delta}}, \quad (3.15)$$

где: $\tau_{y\delta}$ и $\tau_{c\delta}$ - соответственно удерживающие и сдвигающие напряжения, действующие на поверхности разрушения.

Значения $\tau_{y\delta}$ и $\tau_{c\delta}$ определяются по паспорту прочности породы и по данным моделирования или по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{y\delta} &= \gamma h_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot \text{tg} \rho + k; \\ \tau_{c\delta} &= 0,5 \gamma h_i \cdot \sin 2\alpha_i, \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

где: h_i - средняя высота элементарного блока, на который разбивается призма сползания (рис. 3.15); α_i - угол наклона поверхности разрушения к горизонту в пределах блока.

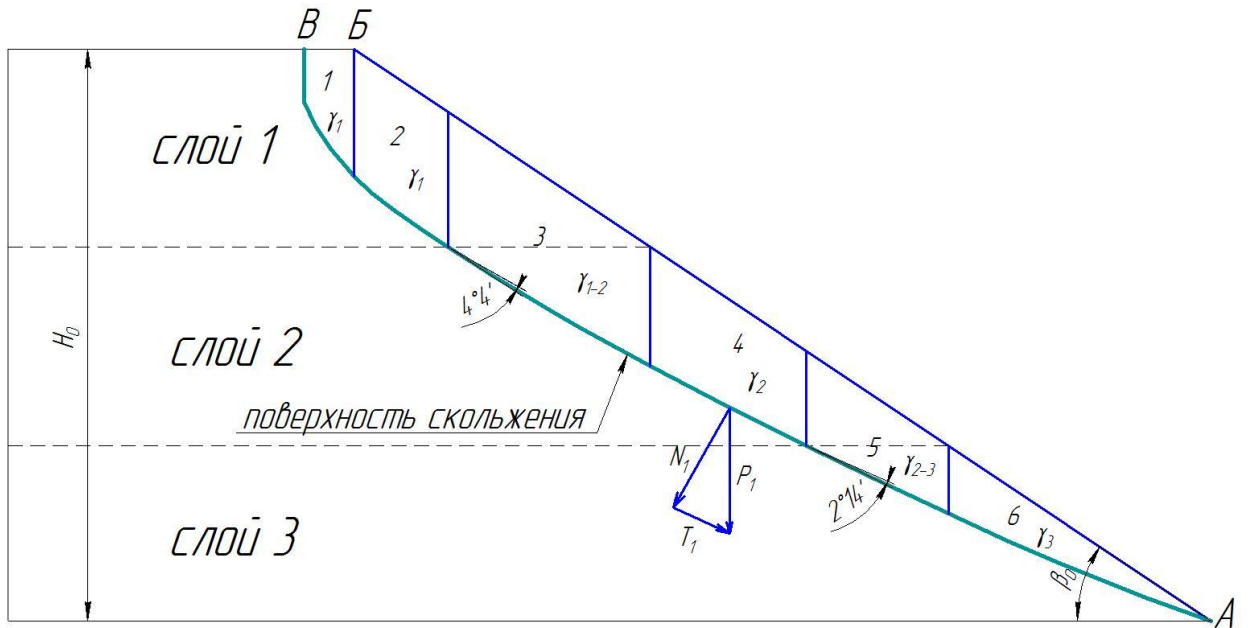


Рис. 3.15. Схема сил на наиболее слабой поверхности в откосе сложенном однородной породой (по Петерсону-Фелениусу)

На основании данных определенных по формулам 3.3 и 3.6 и таблицы 3.5, определим устойчивость откоса отвала F .

Таблица 3.5

Результаты расчетов

№ блока	Площадь, м ²	Масса P, т	δ , град	Объемная масса, γ	$\cos \delta$	$\sin \delta$	$P \cdot \cos \delta$	$P \cdot \sin \delta$	Длина плоскости скольжения, м
1	32,8	55,8	62	1,7	0,883	0,470	49	26	25,5
2	85,7	145,7	60	1,7	0,866	0,500	126	73	
3	181,4	317,5	56	1,75	0,829	0,559	263	178	
4	116,6	209,9	51	1,8	0,777	0,629	163	132	
5	80,6	177,3	49	2,2	0,755	0,656	134	116	
6	67,7	162,5	39	2,4	0,777	0,629	126	102	
Итого							862	627	25,5

$$F = \frac{862 \cdot 0,869 + 1,97 \cdot 25,5}{627} = 1,27$$

Следовательно, проектный расчет высоты отвала в 15 м соответствует устойчивому равновесию при прямолинейном откосе.

При учете наличия естественного контрфорса необходимо в выражении для F учитывать нормальное давление σ_{\min} (3.2, 3.3)

$$F_{\kappa} = \frac{\sum \tau_{y\partial} + \sigma_{\min} \times l_{\partial}}{\sum \tau_{c\partial}} \quad (3.17)$$

где: l_{∂} – длина откоса, на которую действует нагрузка контрфорса, м.

Для участка 1 $l_{\partial} = 8,2$ м.

$$F_{\kappa 1} = \frac{862 \cdot 0,869 + 1,97 \cdot 25,5 + 8,4 \cdot 8,2}{627} = 1,38$$

- участок 2 - $l_{\partial} = 10,2$ м

$$F_{\kappa 2} = \frac{862 \cdot 0,869 + 1,97 \cdot 25,5 + 8,4 \cdot 10,2}{627} = 1,41$$

- участок 3 - $l_{\partial} = 9,5$ м

$$F_{\kappa 3} = \frac{862 \cdot 0,869 + 1,97 \cdot 25,5 + 8,4 \cdot 9,5}{627} = 1,40$$

Таким образом, с учетом естественной кривизны откоса и при наличии в нижней части призмы из скальной породы наибольшей фракции, которая выполняет роль контрфорса, на 10% - 12%. Это может служить основанием безопасного повышения высоты ярусов внешних и внутренних отвалов скальной вскрыши на 1,5м для пород с участка №1 и на 2 м с участков № 2 и 3.

Зависимость коэффициента запаса устойчивости от размера среднего куска $d_{\text{ср}}$ скальной вскрыши и высоты яруса отвала H_0 графически изображено на рис. 3.16.

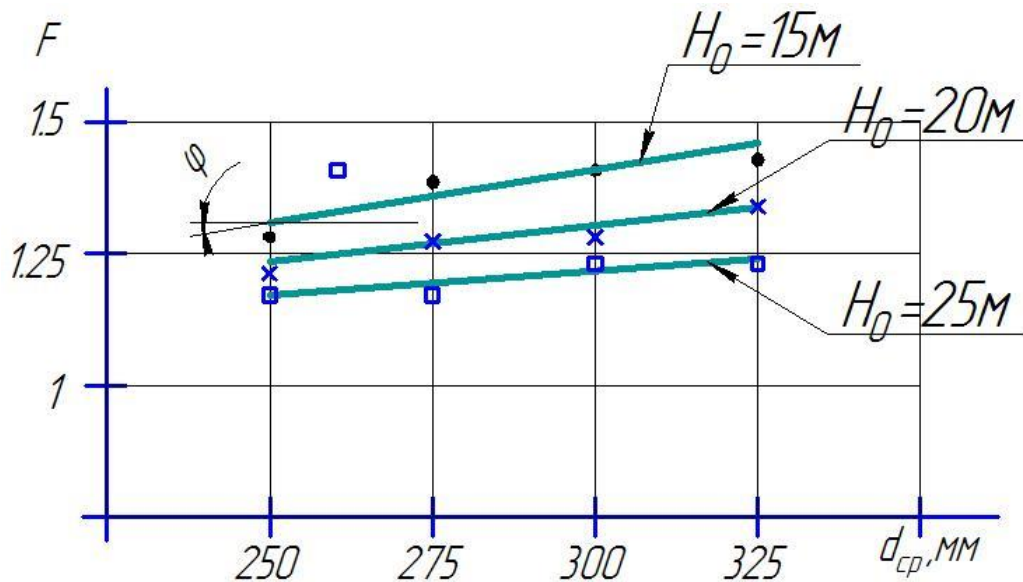


Рис. 3.16. Зависимость коэффициента запаса устойчивости от гранулометрического состава вскрышных пород отвала высотой H (естественной влажности)

Таким образом, зависимость коэффициента устойчивости от среднего куска в скальной вскрыше при условии формирования яруса высотой 15 м примет вид:

$$F_{к15} = 1,25 + 0,1514 \cdot d_{cp}$$

для $H=20$ м

$$F_{к20} = 1,18 + 0,1495 \cdot d_{cp}$$

для $H=25$ м

$$F_{к25} = 1,14 + 0,1424 \cdot d_{cp}$$

Параметры противодиффузионного контрфорса — дренажной призмы, препятствующей выносу частиц из массива и развитию языка оплывания. После определения параметров противодиффузионного контрфорса выполняется контрольный расчет его устойчивости с коэффициентом запаса 1,2...1,3 на контакте между песчано-гравийным слоем и поверхностью откоса отвала.

Прочность контрфорса повышают путем его укладки слоями с последующей укаткой. При этом создаются условия для увеличения угла зацепления кусков породы, и исключается неблагоприятная слоистость в сторону выемки. Кроме этого, используя песок для заполнения пустот между кусками, улучшают их зацепление, что повышает сопротивление сдвигу материала контрфорса.

В качестве материала контрфорса используют неклассифицированные кусковатые скальные породы в объеме до 80 % с крупностью 10...50 см и добавкой более мелкой фракции из разнозернистых песков или отходов обогатительных фабрик. На участках с интенсивным высачиванием подземных вод сначала укладывают обратный фильтр, состоящий из слоев песка, гравия и щебня, а затем пригрузку.

Контрфорс возводят с нижней бермы откоса отвала на высоту не менее одной трети его высоты, затем допускается укладка с верхней бермы.

Технологические схемы сооружения контрфорса выбирают и разрабатывают в зависимости от горнотехнических условий и имеющегося в наличии на предприятии горнотранспортного оборудования.

Известен опыт применения контрфорсов на предельном контуре карьера №1 Новокриворожского ГОКа (Кривбасс) объемом 450×10^3 м³ и длиной по простиранию 920 м для укрепления части борта высотой 20...30 м, сложенного рыхлыми водонасыщенными отложениями.

Оценка технико-экономических показателей при реализации принятых решений в условиях карьера «Центральный» ЧАО «ДФДК»

Исходя из приведенных выше расчетов, с учетом скорректированного коэффициента устойчивости отвалов, появляется возможность размещения дополнительно 10% объемов скальных вскрышных пород в пределах занятых под отвалы площадей.

Положительный экономический эффект ожидается получить за счет следующих факторов:

1. Сокращение площади, занимаемое отвалом скальной вскрыши на 7% за счет увеличения высоты отвала (рис 3.17). Уменьшение платы за землю (7%).

Существующая площадь земли, занимаемая внешним отвалом вскрышных пород карьера «Центральный» составляет 138 Га. С учетом скорректированного коэффициента устойчивости, его площадь могла бы составить 128 Га.

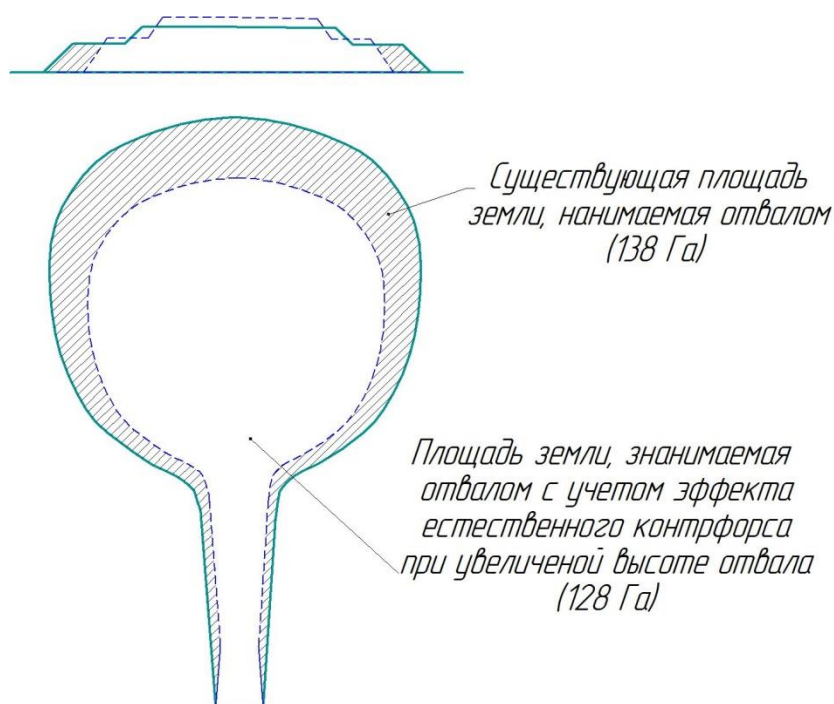


Рис. 3.17. Схема площади отвала с учетом разработанных решений

С учетом времени его эксплуатации и платы за землю [55, 82] возможная экономия могла составить:

$$\mathcal{E} = \Delta S \times \mathcal{C} \times T, \text{ гр-н} \quad (3.18)$$

где: ΔS – разница площадей двух вариантов отвалов (10 Га), Га; \mathcal{C} – цена арендной платы за землю (2112 гр-н/Га), гр-н/Га; T – Время эксплуатации - 50 лет.

$$\mathcal{E} = 10 \times 2112 \times 50 = 1\,056\,000 \text{ гр-н.}$$

2. Отказ от сооружения дополнительных отвалов. Отказ от затрат на разработку дополнительного проекта отвала.

3. Уменьшение общего расстояния транспортирования.

С учетом нормы расхода по ДФДК (0,63 л/м³) и факту транспортировки вскрышных пород по карьере «Центральный» за 2011 год (1,2 млн. м³) экономия дизельного топлива составит:

$$\mathcal{E}_{\text{дт}} = N_{\text{расхода}} \times V_{\text{п/п}} \times \mathcal{C}_{\text{дт}} \times 5\%, \text{ гр-н/год} \quad (3.19)$$

где: $N_{\text{расхода}}$ – плановая норма расхода дизельного топлива по ЧАО «ДФДК» за 2012 год, л/м³; $V_{\text{п/п}}$ - Фактический объем перевезенной вскрыши по карьере «Центральный» за 2011 год, м³; $C_{\text{дт}}$ – цена дизельного топлива (7,5), грн-л

$$\mathcal{E}_{\text{дт}} = 0,63 \times 1\,200\,000 \times 7,5 \times 5\% = 283\,500 \text{ грн/год}$$

Экономия дизельного топлива (5%).

Обслуживание и ремонт автосамосвалов (5%).

Строительство и поддержание автодорог (7%).

4. Из-за сокращения суммарной площади отвалов происходит экономия средств на рекультивацию поверхности отвалов (7%)

Практика рекультивации показывает, что средняя цена рекультивации 26,9 грн-н/м² (табл. 3.6)

$$\mathcal{E}_{\text{pp}} = \Delta S \times C_{\text{p}}, \text{ грн-н}, \quad (3.20)$$

где C_{p} – цена рекультивации 1 м²

$$\mathcal{E}_{\text{pp}} = 10 \times 10000 \times 26,9 = 2\,690\,000 \text{ грн-н}$$

Таблица 3.6

Расчетный экономический эффект от реализации проекта

Объект экономии денежных средств	Сумма, тыс. грн-н/год
Уменьшение платы за землю (7%)	21
Экономия дизельного топлива (5%)	284
экономия средств на рекультивацию поверхности отвалов (7%)	54
Итого	359

Отрицательными сторонами является:

- Необходимость отгрузки породы с кузова автосамосвала на откос отвала, что повышает требования к безопасному ведению работ;

- Постоянный контроль соблюдения норм безопасного ведения отвальных работ (параметры предохранительного вала, схема разгрузки)
- Постоянное задействование колесного погрузчика или бульдозера

Выводы:

- угол естественного откоса зависит от класса крупности и влажности материала (параметр влажности существенен для мелких фракций);

- форма откоса (кривизна) зависит от влажности и гран состава исходного материала (пород). Реальная поверхность откоса при отвалообразовании скальной вскрыши имеет вогнутую форму. Угол откоса яруса в его верхней части – $38 - 42^{\circ}$, а в нижней – $30-32^{\circ}$. Между углом и крупность получена аналитическая зависимость;

- выведены формулы и составлен график зависимости коэффициента устойчивости от среднего куска в скальной вскрыше;

- за счет «пригрузки» основания откоса естественным "контрфорсом", повышается коэффициент запаса устойчивости на 10%. Это может служить основанием к проектному решению - увеличения высоты отвала;

- изменение геометрических параметров отвала ведет к уменьшению площади отчуждаемых земель, а следовательно к снижению платы за землю на 7%, экономии дизельного топлива за счет уменьшения расстояния транспортировки на 5%, снижению затрат на рекультивацию поверхности отвала на 7%;

- для карьера «Центральный» ЧАО «ДФДК», при реализации проектных изменений для отвального участка, минимальный годовой экономический эффект может составить только с учетом экономии дизельного топлива 284 тыс. гр-н/год. С учетом экономии средств на рекультивацию и платы за землю общая недисконтированная сумма по ценам 2013 года за пятьдесят лет эксплуатации участка могла составить 18 млн. гр-н.

Выводы по разделу 3

1. Эффективность сегрегации в процессе формирования из сыпучих горных пород техногенного образования, то есть максимально возможное для данных условий разделения по крупности исходного материала, возрастает:

- в нижней части откоса в случае сталкивания бульдозером всего объема привозимой горной массы;
- при разгрузке с конвейера с минимальным вылетом отвальной консоли относительно верхней бровки техногенного образования;
- при бульдозерном отвалообразовании с периферийной разгрузкой транспортных средств, в том числе и погрузчиков.

2. Формирование техногенного образования тонкими слоями путем площадной разгрузки автосамосвалов или скреперов не приводит к разделению сыпучих горных пород по крупности.

3. Эффективное сегрегационное разделение скальных вскрышных пород с гранулометрическим составом характерным для флюсовых предприятий Украины наблюдается в зависимости от схемы разгрузки автомобильного транспорта, начиная с высоты отвального яруса в 10 м для пород с влажностью не более естественной и 15 м для пород с влажностью превышающую на 15 – 20% естественную влажность. Для отходов переработки флюсов эти значения равны соответственно 5 и 10 м.

4. Формирование техногенного образования из сыпучих горных пород, которые в результате сегрегации могут изменять свои качественные характеристики или свойства массива в целом, следует осуществлять с применением технологий, которые создают условия для эффективной сегрегации и позволяют управлять качественными и структурными характеристиками образования.

5. Формирование техногенных образований, для которых перераспределение исходного материала по крупности нежелательно (ухудшение прочностных, фильтрационных и других свойств массива), желательно производить послойно с минимальным проявлением сегрегации.

РАЗДЕЛ 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

4.1. Обоснование параметров технологического комплекса для разработки техногенных месторождений на предприятиях по добыче металлургических флюсов

В связи с тем, что комплексы горнотранспортного оборудования, которые можно применить для разработки техногенных месторождений, образованных породами ранее подвергшимся процессу экскавации или отходами переработки обогатительных фабрик, весьма разнообразны, возникает необходимость в рассмотрении различных вариантов применительно к условиям флюсовых месторождений. При этом учитывались следующие факторы.

1. На разработку нового оборудования, его внедрение потребуется значительное количество средств и времени. Более рациональным является обоснованный выбор оборудования уже существующего и применяемого на действующих горных предприятиях.

2. Поскольку объектом применения нового оборудования являются отвалы пустых пород, склады товарной продукции и некондиционного сырья, а так же отходы переработки полезного ископаемого (хвостохранилища дробильно-сортировочных и обогатительных фабрик), то при выборе механизации и самой технологии отработки техногенного месторождения следует учитывать тот факт, что предварительной взрывной подготовкой горных пород не требуется.

3. Практика ведения открытых горных работ показывает, что для разработки месторождений с пологим и горизонтальным залеганием пластов скальных и полускальных пород большой мощности распространено использование одноковшовых экскаваторов. Товарная продукция на напольных складах обогатительных фабрик, отходы переработки или обогащения полезных ископаемых на ДОФ, равно как и значительные объемы вскрышных пород укладываемых в отвал на предприятиях горнодобывающего комплекса, представлены в достаточной степени

хорошо измельченными или мягкими породами. В данной работе, наряду с оценкой эффективности применения одноковшовых экскаваторов, проведена оценка возможности использования многоковшовых роторных экскаваторов.

4. Характерной особенностью большинства техногенных месторождений и образований, рассматриваемых в работе, является компактность формы объекта в плане, наличие в непосредственной близости от подобного техногенного объекта подъездных путей, в том числе и железнодорожных станций. Это позволяет при проектировании и выборе схемы комплексной механизации минимизировать расстояния транспортирования. В этом плане представляет интерес применения самоходных фронтальных колесных погрузчиков в качестве выемочно-транспортного оборудования.

На основании природных, технологических, организационных и экономических факторов рассмотрена возможность применения следующих видов комплексной механизации для разработки техногенных месторождений в общем технологическом комплексе флюсодобывающих предприятий (см. Приложение Г).

1. Выемка горной массы с использованием одноковшовых экскаваторов. Транспортирование полезного ископаемого до перерабатывающего завода (приемного бункера) осуществляется автомобильным транспортом.

2. Выемка горной массы с использованием роторных экскаваторов. Транспортирование полезного ископаемого до перерабатывающего завода (приемного бункера) осуществляется автомобильным, железнодорожным и (или) конвейерным транспортом.

3. Выемка горной массы с использованием одноковшовых фронтальных колесных погрузчиков. Транспортирование полезного ископаемого до перерабатывающего завода (приемного бункера) осуществляется непосредственно погрузчиком или автомобильным транспортом в зависимости от расстояния транспортирования.

Каждый вид комплексной механизации имеет определенные достоинства, преимущества и недостатки, которые детально рассматриваются в работе применительно к горнотехническим условиям техногенных месторождений, образова-

ных в результате деятельности горных предприятий рудной и нерудной промышленности.

Рациональное формирование экскаваторно-автомобильных комплексов позволяет повысить производительность погрузочно-транспортных работ на 10 – 14% и снизить затраты на добычу полезного ископаемого [83, 91].

В связи с тем, что погрузочное оборудование и средства транспорта являются ведущими машинами в общем комплекте основных и вспомогательных машин технологического цикла, то выбору их типа и модели следует уделить особое внимание. Таким образом, определение рационального типа и модели экскаватора представляет собой основную часть работы по выбору целесообразной структуры комплексной механизации для заданных горнотехнических условий.

На выбор вместимости ковша и рабочих размеров погрузочно-разгрузочных машин влияют уровень механизации сопутствующих процессов, масштаб и характер работы. Основные размеры, например, экскаватора не могут выбираться только по показателям объемов работ. Они устанавливаются с учетом требуемой ширины и высоты забоя, максимальной высоты погрузки, типа и вместимости транспортного сосуда, действительной протяженности фронта горных работ и скорости его подвигания. Значительное влияние на выбор типа и модели погрузочно-разгрузочной машины оказывает необходимость ведения раздельной выемки полезного ископаемого или разгрузки техногенного образования, например, напольного склада готовой продукции.

Выбор рационального типа и модели выемочно-погрузочного оборудования должен производиться с учетом:

а) установления объемов и зон распределения горной массы, полезного ископаемого и сырья в техногенных образованиях с различными качественными характеристиками и физико-механическими свойствами, как по глубине, так и в плане техногенного образования;

б) прогнозирования ожидаемых удельных сопротивлений копания различных пород, как в массиве, так и при разной степени их подготовки к выемке;

в) принятие во внимание имеющихся рациональных сочетаний работы данного типа и модели выемочно-погрузочного оборудования со смежным (транспортным, дробильным, грохотильным и т. п.) оборудованием в зависимости от технологической схемы работы;

г) установления степени приспособленности и снижения технической производительности выемочно-погрузочного оборудования (и работающего с ним комплекса) при разработке забоев с включением негабаритов, мерзлого слоя и т. п., в том числе при различных колебаниях объемов работ и расположения последних;

д) выявления возможностей выемочно-погрузочного оборудования для раздельной выемки сложноструктурных образований потенциально-полезного ископаемого, в том числе совместно с другими типами выемочно-погрузочного оборудования (экскаватор – погрузчиками и т. п.);

е) рассмотрения возможности использования данной модели выемочно-погрузочного оборудования для устройства съездов, на вспомогательных работах;

ж) установления годового режима работы выемочно-погрузочного оборудования и его годовой производительности с учетом влияния основных факторов (климатических условий, срока службы и т. п.).

Компактность техногенных месторождений и наличие ж. д. пути создают предпосылки для максимально эффективного использования выемочно-погрузочного и транспортного оборудования.

Поскольку конечным пунктом транспортирования горной массы является приемный аккумулирующий бункер перерабатывающего комплекса, требуется решить задачу выбора рационального расположения приемного пункта, обеспечивающее минимум транспортных затрат на период эксплуатации месторождения – до 25 лет, выбрать рациональное сочетание параметров выемочно-погрузочного оборудования и забойного транспортного оборудования с обоснованием параметров системы разработки.

В результате разработки и переработки металлургических флюсов свойства горных пород претерпевают определенные изменения. В работах проф. д.т.н. Ключко И.И. [92] было установлено, что происходят изменения прочностных

свойств горные породы в результате воздействия взрывов зарядов взрывчатых веществ. Следовательно, зерновой состав сыпучего материала в процессе переработки испытывает значительные колебания, что может привести к отклонению качественных показателей от нормативных требований по процентному содержанию определенных крупностей. Так, например, при переработке известняка обычного на циклично-поточной технологической линии ЧАО «ДФДК» результаты ситового анализа свидетельствуют, что для крупности 40 – 80 мм наличие более мелких фракций составляет более 15.34% (нормативное требование – не более 10%), а для крупности 5 – 20 мм наблюдается превышение допустимого значения более крупных фракций на 5.5%.

С целью уменьшения значительных материальных и финансовых потерь требуется направлять значительные объемы конечного продукта на повторную переработку – грохочение. По результатам работы участка ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» в 2013 г. на повторную переработку было отправлено 96 тыс. м³ горной массы крупностью 40 – 80 мм.

На флюсовых предприятиях наиболее характерными складами полезного ископаемого являются эстакадные склады, открытые склады – конусные и штабельные. Отличительной особенностью складов является то, что при формировании яруса треугольного сечения для полезного ископаемого происходит сегрегационное перераспределения сыпучего кускового материала по типу насыпного конуса. В подошве и к краям штабеля откладываются более крупные фракции, а в средних зонах располагаются более мелкие. Для большинства рудных и нерудных горных предприятий это явление негативно сказывается на эффективности усреднения.

Уменьшить или полностью исключить объемы сыпучих пород, которые требуют повторного грохочения, возможно за счет селективной отгрузки материала из штабеля с учетом структуры последнего, которая, в свою очередь, определяется технологией формирования и особенностями сегрегации сыпучих породах в процессе складирования [60, 98].

Рассмотрим три варианта формирования склада: первый вариант – склад представляет отдельные насыпи в форме конуса (рис. 4.1); второй вариант – на складе отсыпается хребтовый штабель треугольного сечения; третий вариант – отсыпается склад штабельного (слоевого) типа.

Характер перераспределения материала по крупности в первом случае аналогичен распределению материала по крупности в идеальном насыпном конусе, и определяется гранулометрической характеристикой исходного материала через закон изменения величины среднего размера куска – параметра d_{cp} .

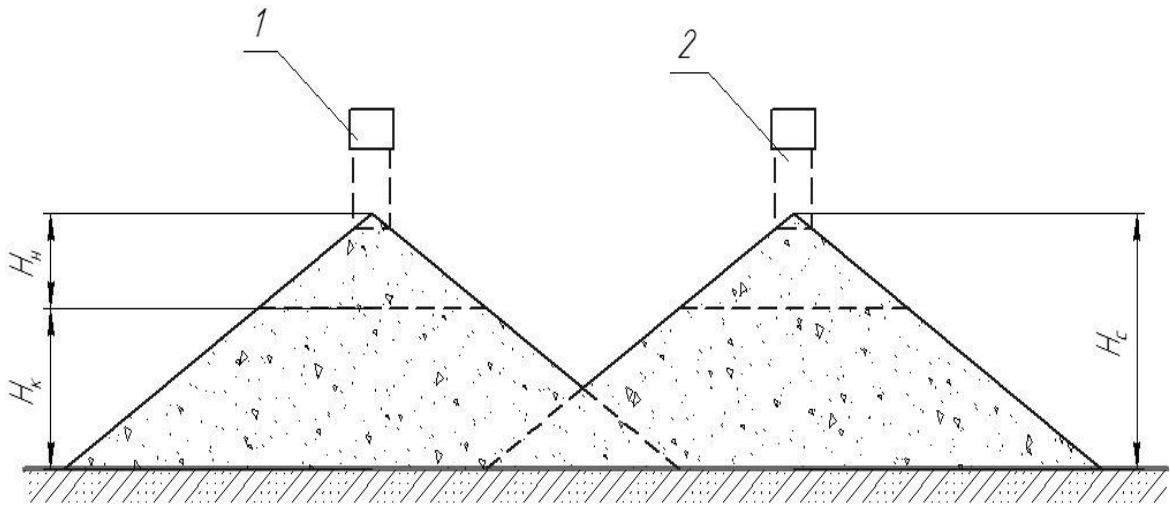


Рис. 4.1. Схема склада конусного типа: 1 – начальное положение ленточного конвейера; 2 – конечное положение ленточного конвейера.

Определим структуру техногенного образования (напольного склада) в виде насыпного конуса для фракции 40 – 80 мм известняка обычного, с превышением допустимого предела по классу -40 мм более 5%, в следующей последовательности:

- на основании ситового анализа данной крупности (рис. 4.2) определяем согласно (2.29) средний размер куска исходного материала - d_{cp1} :

$$d_{cp1} = \frac{\sum \frac{w}{d}}{\sum \frac{w}{d}} = \frac{29,83}{0,531} = 56,2 \text{ мм.} \quad (4.1)$$

- в соответствии с существующими ТИ 14.1-0019 1856-02-2004 на данный вид продукции, для крупности 40-80 мм (см. Приложение А) определим средний размер куска кондиционного материала - d_{cp2} , с учетом допустимых значений по крупности +80 мм не более 20%, а по крупности – 40 мм не более 10%

$$d_{cp2} = \frac{\sum \frac{w}{d}}{\sum \frac{w}{d}} = \frac{29,83}{0,517} = 57,7 \text{ мм.}$$

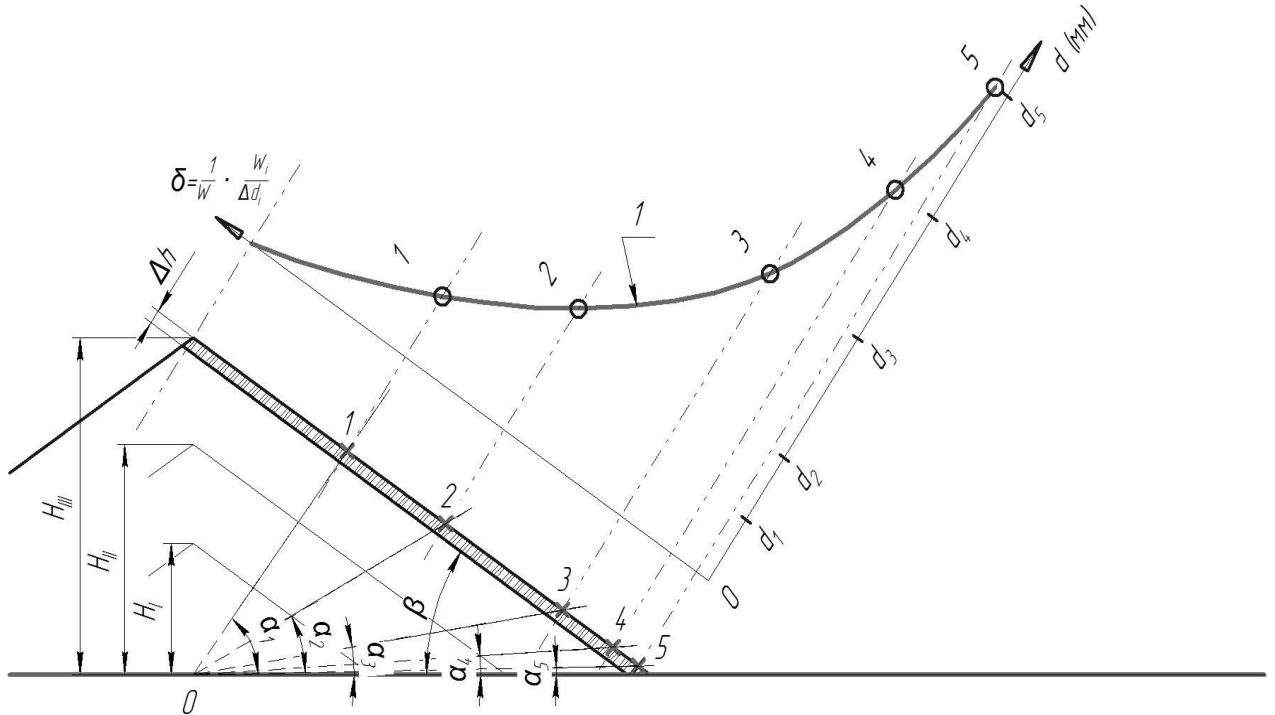


Рис. 4.2. Схема к определению распределения сыпучего скального материала по крупности в тонком слое Δh откоса насыпного образования на основе кривой – 1 распределения частностей весовых выходов $\delta = f(d)$: H_1, H_2, H_3 – этапы образования насыпи; β – угол откоса; $\alpha_1 \dots \alpha_5$ – углы определяющие границы (пределы) для соответствующей крупности

- определяем соответствующие значения параметров $H_{1,2}$ в соответствии с (2.12) для цилиндрических координат при $r=0$, то есть положение граничного слоя относительно основания штабеля для d_{cp1} и d_{cp2} (рис. 4.3). Выражение (2.12) выразим с учетом перехода от R_{cp} к $d_{cp}/2$

$$H_{1,2} = H - (H d_{cp1,2}/2) \times (d_{max} - d_{cp1,2}/2 \times \exp(-r^2/H^2 \text{ctg}^2 \alpha))^{-0.5}, \quad (4.2)$$

Следовательно, для исходного материала при d_{cp1} получим $H_1 = 9,2$ м, а для кондиционного сырья d_{cp2} получим $H_2 = 8,4$ м. Высота определена относительно оси техногенного образования.

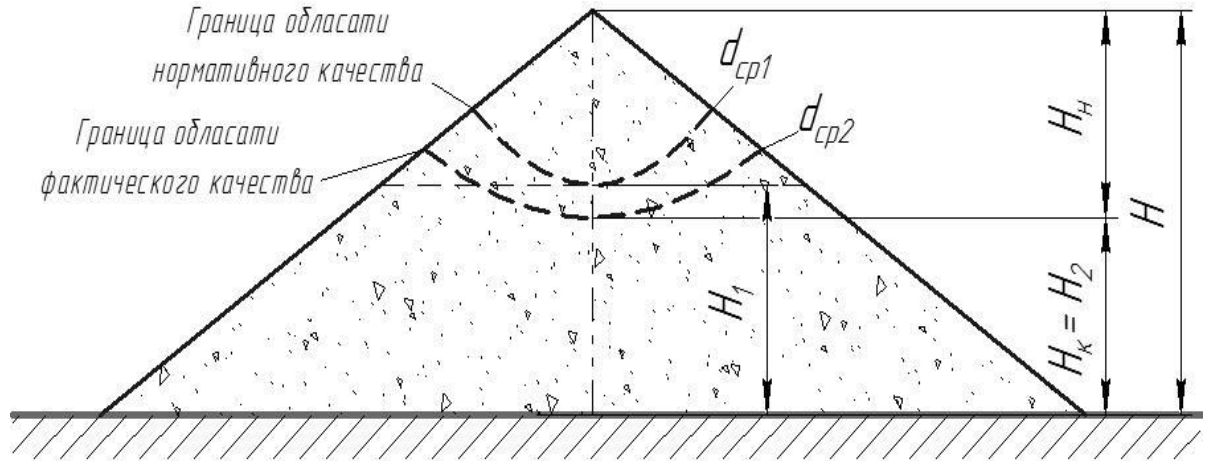


Рис. 4.3. Распределение объема штабеля готовой продукции на области фактического и нормативного качества сырья определенных по значениям d_{cp} (обозначены пунктирными линиями).

Поверхность постоянного значения размера куска имеет экспоненциальный прогиб, величина которого в первом приближении соответствует поверхности перевернутого конуса, таким образом, положение кондиционного слоя ограничивается значением $H'к = 8,8$ м на поверхности откоса.

Порядок отработки двухфазного штабеля состоит из двух этапов: первоначально производится снятие некондиционного верхнего горизонтального слоя мощностью $H_n = 7,6$ м (верхняя часть конуса) с транспортированием извлеченной горной массы на повторное просеивание, а затем – выемка кондиционного слоя мощностью $H_k = 8,4$ м с отгрузкой потребителю в средства железнодорожного транспорта.

Объем склада V_c при высоте конуса H_c определяется по формуле:

$$V_c = \frac{\pi \times H_c^3 \times (\cot \beta)^2}{3}, \text{ м}^3 \quad (4.3)$$

Объем некондиционной верхней части склада V_H при мощности (высоте конуса) $H_H = 7,6$ м

$$V_H = \frac{\pi \cdot H_H \cot^2 \beta}{3}, \text{ м}^3 \quad (4.4)$$

Объем кондиционного материала V_K в теле конус:

$$V_K = V_C - V_H, \text{ м}^3 \quad (4.5)$$

В таблице 4.1 приведены результаты для склада готовой продукции ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» для известняка обычного фракции 40 – 80 мм.

Таблица 4.1

Характеристика склада известняка обычного (фракция 40 – 80 мм)

Высота склада $H_C, \text{ м}$	Мощность кондиц. слоя $H_K, \text{ м}$	Мощность некондиц. слоя $H_H, \text{ м}$	Объем склада $V_C, \text{ м}^3 / V_C, \%$	Объем кондиц. продукции $V_K, \text{ м}^3 / V_K, \%$	Объем неконд. продукции $V_H, \text{ м}^3 / V_H, \%$
16	8,4	7,6	9500/100	8400/88	1100/12

Следовательно, при условии отдельной отгрузки фракции 40 – 80 мм, со склада известняка обычного требуется возвращать на пересевание 12% горной массы. Для параметров складов рассматриваемой фракции ПК ООО «Видис» и ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» это составит 11500 м³.

Разгрузка продукции из объема конуса или штабеля горизонтальными слоями позволяет эффективно применять на складах традиционное выемочно-погрузочное оборудование – карьерные мехлопаты, роторные экскаваторы, погрузчики. При этом реализуются схемы отдельной отработки массива [104, 107, 109].

Однако полное извлечение некондиционных объемов из массива техногенного образования с минимальным разубоживанием возможно при технологиях поз-

воляющих производить выемку обелисковой (центральной) части конуса, где и располагается наиболее мелкие фракции. Применение для условий ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» грейферной разгрузки штабеля позволяет уменьшить потери кондиционного материала до 4%. Внедрение предложений (см. Приложение Д) для условий ПК ООО «Видис» и ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» (см. п. 4.5) позволит получить годовой экономический эффект в 1 977 тыс. грн. Грейферная разгрузка дополнительно сэкономит до 150 тыс. грн.

На безэстакадных складах складирование полезного ископаемого происходит путем укладки его консольными отвалообразователями в ряд хребтовых штабелей. Процесс сегрегации, а, следовательно, и характер распределения полезного ископаемого по крупности, аналогичен сегрегации на конусных складах.

Техногенные образования подобного типа представлены одним или несколькими хребтовыми штабелями. Укладка слоев производится тонкими наклонными слоями равной толщины или равного объема, которые располагаются вдоль оси штабеля. Разгрузка штабелей этого склада осуществляется вразрез отсыпаемым слоям выемочно-погрузочным оборудованием (рис. 4.4)

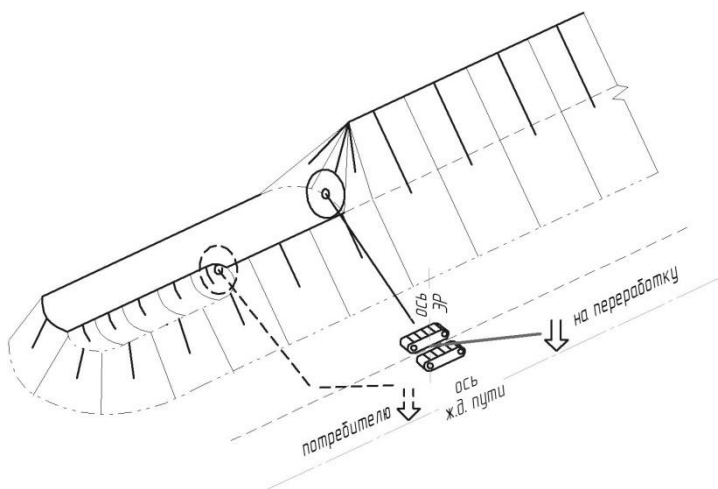


Рис. 4.4. Схема раздельной разгрузки штабеля хребтового роторным экскаватором

Характер перераспределения материала по крупности в массиве хребтового штабеля соответствует характеру распределения материала по крупности в насыпном конусе, и определяется гранулометрической характеристикой исходного материала. Основным отличием является симметричное расположение изоповерхностей распределения материала по крупности относительно вертикальной плоскости симметрии штабеля.

Технологические схемы раздельной разгрузки штабеля техногенного образования для различного выемочно-погрузочного оборудования приведены на рис. 4.5.

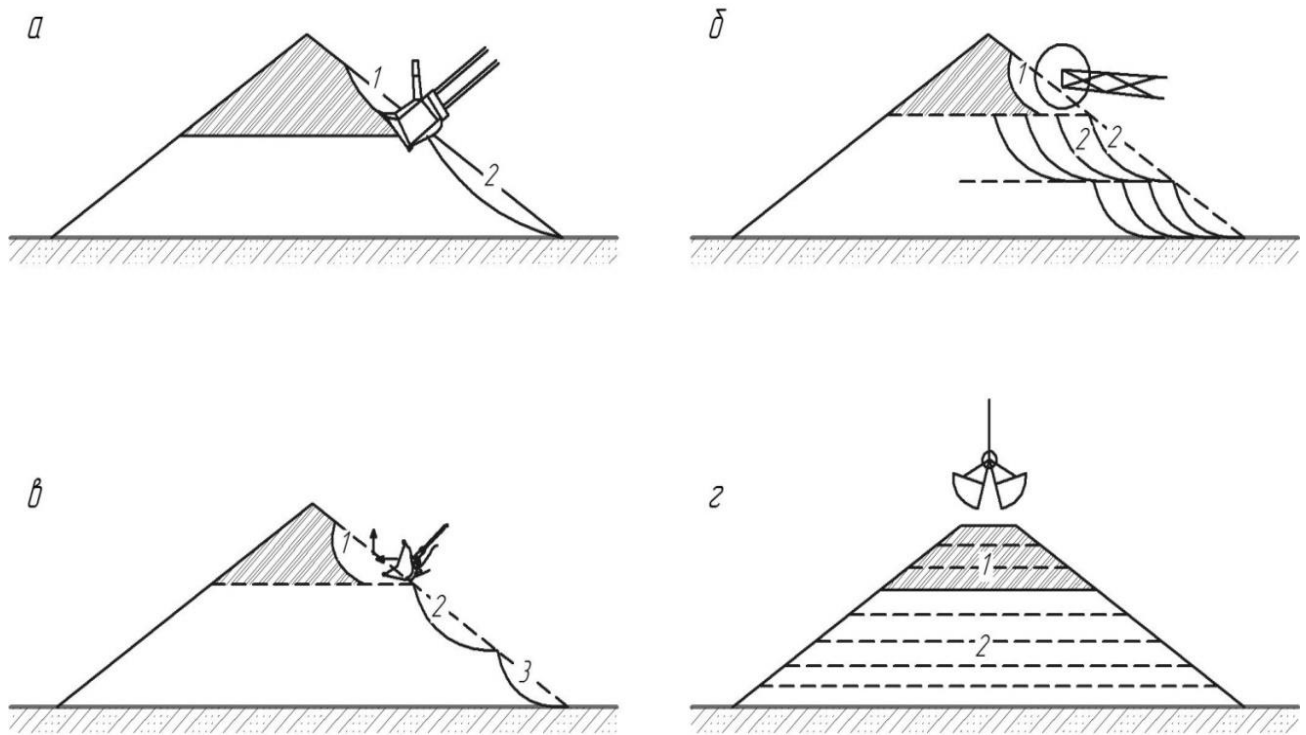


Рис. 4.5. Последовательность раздельной разгрузки штабеля техногенного образования различным выемочно-погрузочным оборудованием: *а* – с применением карьерной мехлопаты; *б* – с применением роторного экскаватора; *в* – с применением колесного карьерного погрузчика; *г* – с применением грейфера

Формирование штабельных техногенных образований (складов) слоевой формы производится путем отсыпки их ленточными, консольно-поворотными конвейерами, автомобильным или железнодорожным транспортом, с применением специального оборудования.

Как отмечалось выше, при формировании плоскопараллельного штабеля, изоповерхности распределения по крупности представляют собой горизонтальные плоскости, что позволяет применять при разгрузке штабеля основные типы выемочно-погрузочного оборудования с минимальным разубоживанием пород различной крупности.

4.2. Технология разработки техногенных месторождений различным горнотранспортным оборудованием

4.2.1. Разработка техногенных месторождений экскаваторами типа прямая лопата

Вместимость ковша экскаватора ограничивается, с одной стороны, величиной удельного сопротивления копания K_F , а с другой, величиной плотности породы в ковше ($\gamma_p = \gamma/K_{pk}$), которая является основной расчетной величиной во время поворота экскаватора на разгрузку [82, 88]. В связи с этим применение ковшей увеличенной емкости на тяжелых рудах ($\gamma = 3,2-4,5\text{т/м}^3$) не рекомендуется и, наоборот, на породах, имеющих относительно небольшую плотность ($\gamma=1-1,5\text{т/м}^3$), применение ковшей увеличенной вместимости может быть разрешено.

Таким образом, для условий флюсовых месторождений стандартная (средняя) вместимость ковша экскаватора является наиболее приемлемой.

Работы, которые были проведены М.В. Васильевым, П.И. Томаковым и др. [99 - 101] позволили установить, что при погрузке горных пород карьерными мехлопатами в автотранспорт рациональное соотношение вместимости автосамосвала V_a и емкости ковша E ($n = V_a/E$) зависит от совокупности множества технических, горнотехнических, горно-геологических и организационных факторов.

Результаты проведенных исследований [85 - 88, 103] показали, что при использовании карьерных мехлопат в сочетании с автотранспортом и расстоянии транспортирования $L_{тр}$ до 5км рациональное соотношение $n = V_a/E$ изменяется от 3 до 6 в зависимости от $L_{тр}$ и физико-механических свойств горной массы.

Выбор модели автосамосвала грузоподъемностью σ_T по условию рационального сочетания его с моделью экскаватора (E) и расстояния транспортирования L_T , производится по формуле (4.6) проф. Г. Д. Пчелкина [42]:

$$\sigma_T = (4,5 \cdot E + a) \sqrt[3]{L_T}, \quad \text{т} \quad (4.6)$$

где E – вместимость ковша экскаватора, м^3 ; a – коэффициент, зависящий от вместимости ковша экскаватора ($a = 3$ при $E \geq 4 \text{ м}^3$ и $a = 2$ при $E \leq 4 \text{ м}^3$); L_T – расстояние транспортирования, км.

Рекомендуются следующие сочетания: при ЭКГ-5А автосамосвалы БелАЗ-540 (27т) и БелАЗ-548 (40т); при ЭКГ-8И ($E = 8$ и 6.3 м^3) – БелАЗ-548 и БелАЗ-549 (75 т); при ЭКГ-12,5 ($E=12,5$ и 10 м^3) – БелАЗ-549 и БелАЗ-7565 (110 т).

Применительно к флюсодобывающим горным предприятиям Донбасса (ЧАО «Докучаевский ФДК», «Новотроицкое РУ» и «Комсомольское РУ»), следует отметить, что многолетний опыт работы служит хорошим подтверждением результатов исследований. Экскаваторный парк представлен (в забоях по скальной вскрыше и полезному ископаемому, на перегрузочных площадках и на складах) в основном мехлопатами ЭКГ-5А. При этом экскаваторы ЭКГ-5А обслуживаются автосамосвалами грузоподъемностью 37-45т (БелАЗ, BELL, Volvo).

С учетом вышесказанного, для разработки техногенных флюсовых месторождений, целесообразно принять экскаватор ЭКГ-5А.

Как отмечалось в работах [57-59], характеристика отходов переработки металлургических известняков и доломитов и особенности их складирования позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать перераспределение фракций в пределах поперечного сечения насыпного объекта. В зависимости от технологии формирования яруса отвала формируется и условная граница между слоями с преимущественным содержанием определенного класса крупности.

Апробация полученных результатов была произведена на базе ПК ООО «Видис» и ЧАО «ДФДК» (см. Приложение Д и Ж). За время работы ЧАО «Докучаевский ФДК» было накоплено более 100 млн. м^3 отходов обогащения известняков и доломитов, которые в силу малого гранулометрического состава долгое время не являлись востребованными в качестве товарной продукции (см. Приложение А).

Для условий складирования щебня фракции 5 – 15 мм с естественной влажностью и с 20% содержанием некондиционных компонентов, оптимальной высотой конуса можно считать высоту 20м, что обеспечивает требуемое качество щебня в основании конуса, и оптимальные параметры забоя для отгрузки продук-

ции экскаватором ЭКГ - 5А (рис. 4.6). В случае отсыпки исходного материала с повышенной влажностью высоту отсыпки следует увеличить до 25 м. Это позволит, улучшить очистку крупных кусков от прилипших пылеватых частиц за счет увеличения времени встряхивания при движении частиц по откосу.

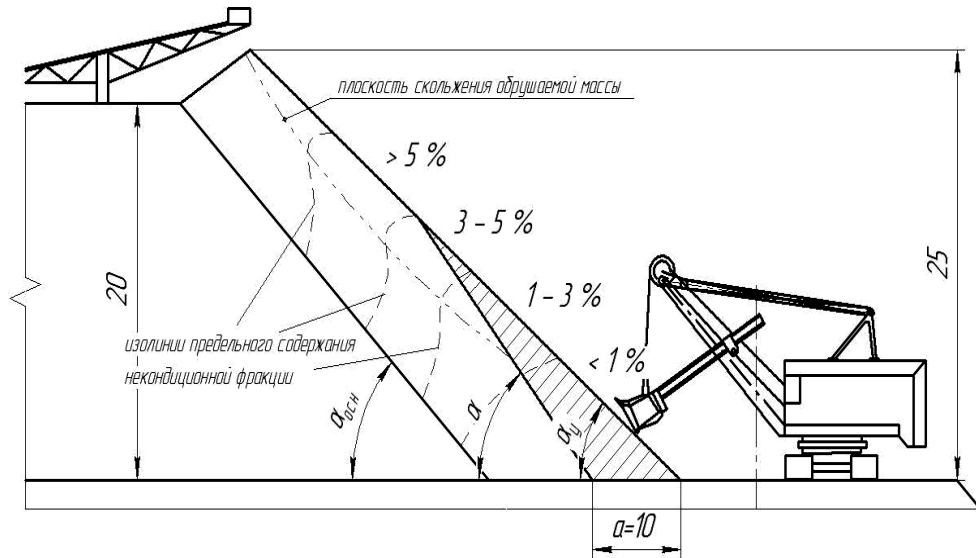


Рис. 4.6. Схема обработки кондиционной области (фракция 5-15 мм) с поверхности конуса отвала.

Относительно соотношения максимальной высоты уступа H_y и максимальной высоты копания $h_{\text{коп. max}}$ экскаватора следует сказать, что согласно [85, 86-88] при разработке взорванных пород мехлопатами высота уступа H_y не должна превышать полуторную максимальную высоту копания экскаватора $h_{\text{коп. max}}$. Лишь при ведении взрывных работ на добыче угля допускается высота уступов 30 м, а в отдельных случаях, с разрешения органов Госгортехнадзора, до 40 м.

Характер обрушения породы определяет степень безопасности ведения экскаваторных работ и возможную расстановку оборудования в забое.

Рекомендованные значения отношения максимальной высоты уступа (развала) H_{max} к максимальной высоте копания экскаватора $h_{\text{коп. max}}$ являются некоторыми усредненными величинами и не охватывают фактического большого разнообразия горнотехнических условий месторождений, в результате чего в одних случаях высота развала может быть завышенной, а в других — заниженной.

Практика открытых горных работ имеет примеры успешной и безопасной работы экскаваторов ЭКГ-4 при высоте забоя до 25м ($H=2,5 h_{\text{коп. max}}$) не только на угле, но и на хорошо дробленной взрывом скальной массе.

Проведенные Беляковым Ю.И. и Владимировым В.М. исследования процесса обрушения взорванных пород [87, 103-105] показали, что максимальная высота экскаваторного забоя определяется следующими основными факторами: 1) свойствами взорванной массы (коэффициентом разрыхления k_p , кусковатостью $d_{\text{ср}}$, наличие глинистых включений); 2) характером и параметрами процесса обрушения пород при подработке забоя (объем, частота и длительность обрушения, глубина развала пород по подошве уступа); 3) рабочими размерами экскаватора ($R_{\text{коп. max}}$, $h_{\text{коп. max}}$). Это позволило вести выемку хорошо дробленной породы ($d_{\text{ср}} \leq 20\text{см}$) склонной к обрушению ($K_p=1,35 - 1,5$) при отсутствии отдельных слабо разрыхленных участков и глинистых включений (по объему свыше 5 – 6%) с максимальной высотой забоя равной 2,2 – 2,7 максимальной высоте копания экскаватора.

В отходах переработки ДОФ №1, №2 и №3 ЧАО «Докучаевский ФДК», обогатительных фабрик ЧАО «Новотроицкое рудоуправление» и ЧАО «Комсомольское рудоуправление» и других флюсодобывающих предприятий практически отсутствуют крупные слабо разрыхленные образования, глинистые включения во фракции 5 – 15 мм составляют не более 5%, средний размер куска $d_{\text{ср}} \leq 20$ мм. При среднем коэффициенте разрыхления $k_p \geq 1,3$ горная масса соответствует по своим свойствам сыпучей среде. Следовательно, согласно междуведомственной классификации горных пород по степени связности разрушенных пород [44, 49], данная горная масса относится к 1-й категории, т.е. склонна к осыпанию и обрушению. При незначительной подработке забоя, как показывает опыт работ и исследование авторов [94, 95], обрушения происходят очень часто мелкими порциями (течение).

При выборе допустимой высоты забоя (рис. 4.7) при сыпучих и связно-сыпучих (примерно равномерной связности) породах основным исходным параметром является максимальная глубина развала обрушившихся пород по подошве

уступа L_0 (в метрах), которая ограничивается радиусом копания экскаватора на горизонте установки $R_{\text{коп.у}}$.

$$L_0 \leq R_{\text{коп.у}} - 0,5l_x - l_\delta - l_{\text{П}}, \quad (4.7)$$

где: l_x - длина хода экскаватора, м; l_δ - полоса безопасности (расстояние между кромкой развала обрушенной породы и гусеницей экскаватора), м; $l_{\text{П}}$ - длина пологого участка траектории движения ковша экскаватора, м.

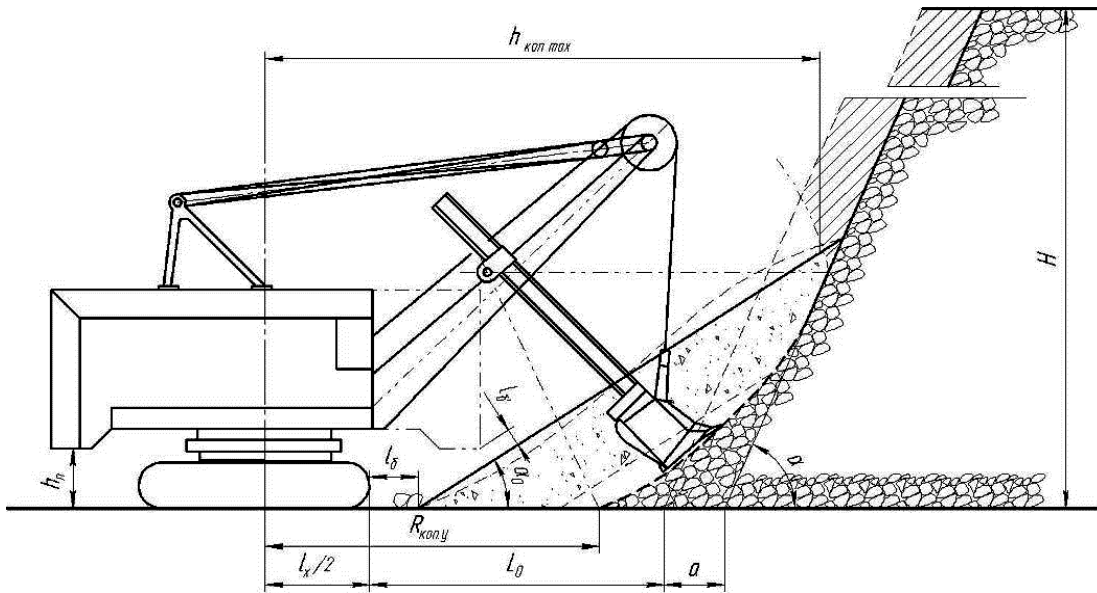


Рис. 4.7. Схема к определению взаимосвязи параметров одноковшового экскаватора и забоя.

Величина $L_{0 \text{ макс}}$, определенная по выражению (4.7) для карьерных экскаваторов ЭКГ-5А, ЭКГ-8И и ЭКГ-12,5, представлена в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Величина $L_{0 \text{ макс}}$ для карьерных экскаваторов

Экскаватор	$h_{\text{коп.макс}}$, м	$R_{\text{коп.у}}$, м	l_x , м	$l_{\text{П}}$, м	$L_{0 \text{ макс}}$ (м) при кусковатости		
					мелкой ($d_{\text{ср}}=10-20$ см)	средней ($d_{\text{ср}}=20-40$ см)	крупной ($d_{\text{ср}}=40-60$ см)
ЭКГ-5А	11,2	5,6	6,0	3,0	7,6	6,6	5,6
ЭКГ-8И	12,5	11,3	7,8	4,0	10,4	9,4	8,4
ЭКГ-12,5	15,2	14,3	9,6	5,0	13,5	12,5	11,5

Размер полосы безопасности l_6 должен увязываться с кусковатостью горной массы d_{cp} и величиной необходимого просвета между поворотной частью экскаватора и развалом l_6' в момент поворота на разгрузку. Для пород мелкой, средней и крупной кусковатостью величина l_6 может быть принята соответственно 1, 2 и 3 м [85].

По мере отгрузки фракции 5 – 15мм на $L_{0\max} = 7,5\text{м}$ осаживается «шапка» конуса произвольно или принудительно с помощью навесного оборудования (скребка), которая содержит 73% и более фракцию 0 – 5мм. После отгрузки этого объема горной массы, как продукции для производства закладочных работ, вновь обнажается поверхность откоса для сегрегации щебня.

Как отмечается рядом авторов [104, 105], особый интерес представляет использование на участке сегрегационного разделения сыпучих пород прямых гидравлических экскаваторов типа ЭГ. В работе подобного оборудования, возможно, реализовать схему с эффективным верхним черпанием ковшом экскаватора (рис. 4.8). Это позволяет производить выемку первоначально пород мелких фракций в верхней части откоса, а затем пород крупных фракций в нижней, с минимальным разубоживанием полезного ископаемого.

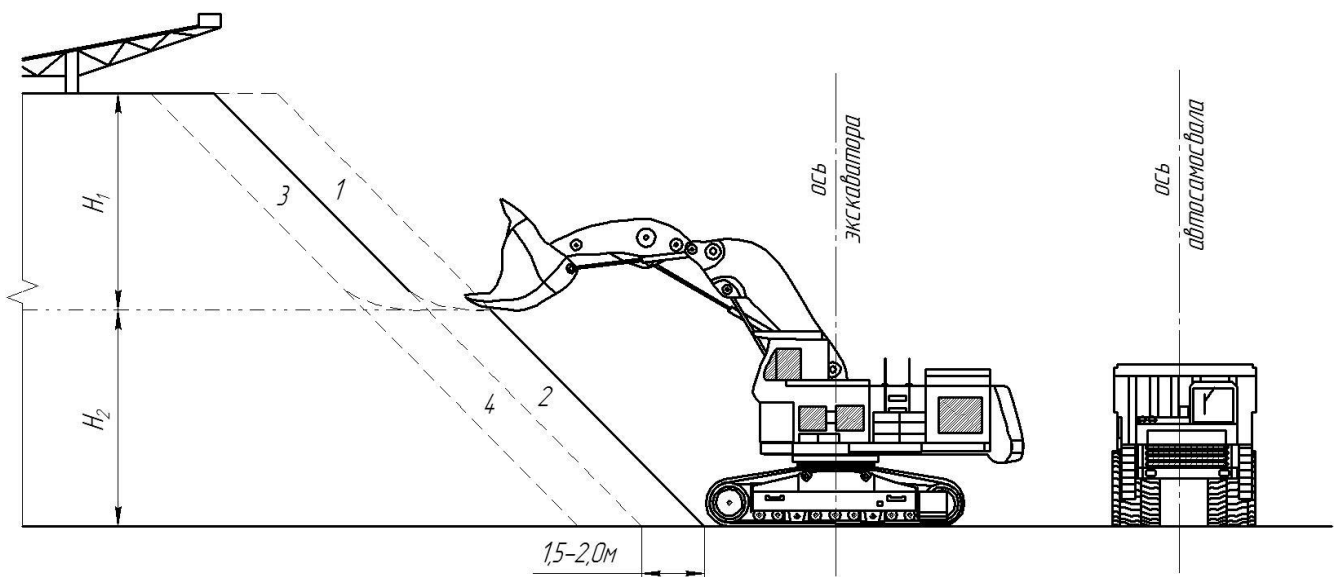


Рис. 4.8. Схема последовательной отработки горных пород после сегрегационного разделения на откосе: 1, 3 – мелкая фракция; 2, 4 – крупная фракция

Характеристики [107, стр. 492] экскаватора ЭГ-6 ($E=6 \text{ м}^3$) для отдельной разгрузки склада товарной продукции представленного на рис. 4.6, по предлагаемой схеме, позволит исключить оползания мелких фракций горной массы по откосу, а следовательно, замельчение крупных фракций у основания штабеля.

Использование обратных гидравлических лопат при разработке техногенных месторождений позволяет вести выемку с учетом сложной слоистой структуры массива (рис. 4.9). Технические характеристики [107] экскаватора ЭГ0-4 ($E = 4 \text{ м}^3$) позволяют эффективно обрабатывать гребенчатую форму слоя до 9 м.

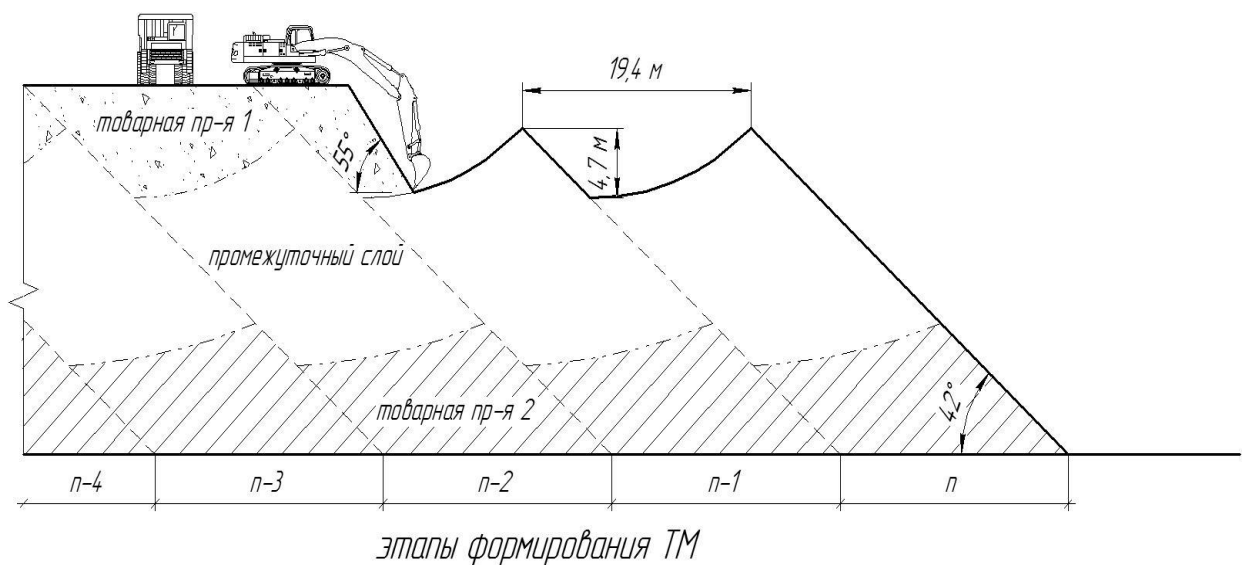


Рис. 4.9. Раздельная разработка обратной гидравлической лопатой техногенного месторождения (ТМ), сформированного последовательной разгрузкой консольного отвалообразователя с максимальным вылетом отвальной консоли

4.2.2. Применение роторных экскаваторов для разработки техногенных месторождений и образований

Выбор рационального типа и модели роторного экскаватора в зависимости от заданных горнотехнических условий и физико-механических свойств и показателей пород представляет собой многофакторную задачу. Особенно сложно решается этот вопрос применительно к многоковшовым экскаваторам, поскольку они меньше приспособлены для выемки липких и мерзлых грунтов, а также мяг-

ких и плотных пород со скальными включениями. В общем случае эффективность работы роторных экскаваторов [106 - 108, 111] зависит в первую очередь от физико-механических свойств пород, глубины их промерзания, параметров и вида срезаемой стружки, конструкции ротора и ковшей.

Выбор модели и определение производительности роторных экскаваторов в общем случае начинается с прогноза удельных сопротивлений копания. На современном этапе пока единственным надежным методом оценки сопротивления пород копания является установление коэффициентов перехода между показателями сопротивляемости K_F и теми структурно-прочностными показателями пород, которые в общем балансе сопротивления пород копания играют основную роль. Практика работы некоторых угольных (Экибастузский и др.) и рудных (КМА) карьеров показала, что роторные экскаваторы могут быть эффективно использованы на выемке как мягких, так и предварительно разрыхленных углей и других связанных пород. В этом случае значения K_F могут быть, как правило, снижены до 0,6 – 1,4 МПа.

Степень приспособленности конструкции роторного экскаватора для выемки связанных и связно-сыпучих пород определяется в основном величиной реализуемого усилия копания K_F , устойчивостью работы машины и отсутствием больших динамических колебаний нагрузок, что в значительной степени зависит от числа одновременно режущих ковшей (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Потребное количество режущих ковшей в зависимости от числа C

Показатели	Плотность породы – C (число ударов плотномером ДорНИИ)			
	8	20	40	60 – 70
Количество режущих ковшей	1,25 – 1,5	1,5 – 2,0	2,0 – 3,0	2,5 – 3,5
Количество ковшей на роторе	5 - 6	6 - 8	8 - 11	10 - 14
Примечание: первое значение – для экскаваторов типа СР – 60, СР – 100; второе – для экскаваторов ЭР – 320				

На основании экспериментальных исследований [108 - 110] было установлено, что характерным для всех разновидностей пород является резкое увеличение

K_F с уменьшением коэффициента разрыхления массы (рис. 4.10). График изменения функции $K_F = \varphi(K_P)$ показывает большой диапазон изменения удельного сопротивления копания, от 0,5 – 1 кгс/см² при $K_P = 1,4 – 1,5$ до 7 – 9 кгс /см² при $K_P = 1,05$.

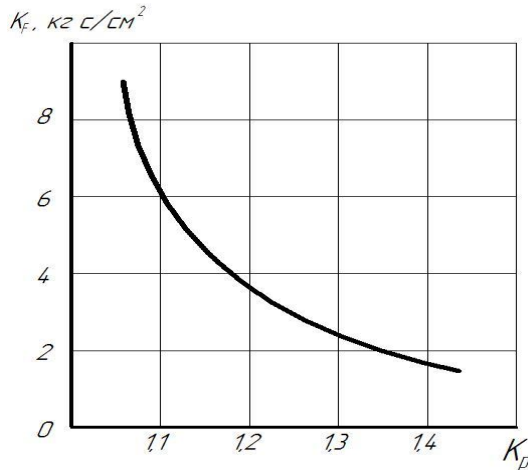


Рис. 4.10. Влияние коэффициента разрыхления флюсовых известняков на удельное сопротивление копания.

На удельное сопротивление копания влияет и глубины внедрения ковша - h . В условиях полигона УкрНИИПроекта, для связно-сыпучей смеси (углецементная смесь), которая по своим характеристикам подобна отходам обогащения флюсовых предприятий, установлена зависимость величины K_F от площади среза F (а) и соотношения h/b – толщины к ширине стружки (рис. 4.11).

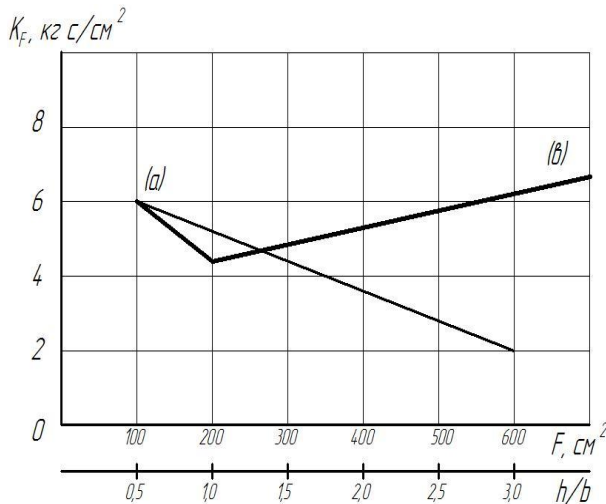


Рис. 4.11. Средние величины K_F : (а) – в зависимости от площади среза F ; (б) – в зависимости от соотношения h/b – толщины к ширине

Характеристика пород массива техногенного месторождения флюсового предприятия, заявленная производственная мощность участка, а так же результаты исследований, проведенных научно-исследовательскими институтами (УкрНИИпроект, ИГД им. А.А. Скочинского, ЦНИИС, вузами ДонНТУ, НГУ, МГГУ и др.), позволяют сделать вывод о целесообразности использования для разработки

подобных техногенных месторождений компактных роторных экскаваторов с удельным усилием копания не менее 3-3,5 кгс/см².

Обоснование силовых параметров рабочего органа и производительности экскаватора прогнозируется по методике, изложенной в работе [109], что позволяет установить пределы для удельного усилия копания от 0,5 до 7,0 кгс/см² при производительности не менее 150 м³/час.

Массу многоковшовых экскаваторов и установленную мощность двигателей определяется по зависимостям, предложенным проф. В.П. Аксеновым [111]. Экскаваторы с массой 30 – 140 т при установленной мощности двигателей от 50 до 180 кВт предпочтительны для разработки рассматриваемых техногенных месторождений.

С учетом предполагаемого режима работы участка, особенностей приемных пунктов и требований потребителей продукции для транспортирования полезного ископаемого целесообразно использовать автомобильный транспорт. Выбор модели автосамосвала определяется теми же условиями, что и в случае применения мехлопаты или погрузчика.

Роторные экскаваторы обычно работают торцовыми забоями при всех видах транспорта. Наиболее распространенная схема работы – разработка уступа роторным экскаватором верхним копанием широким торцевым забоем (рис. 4.12).

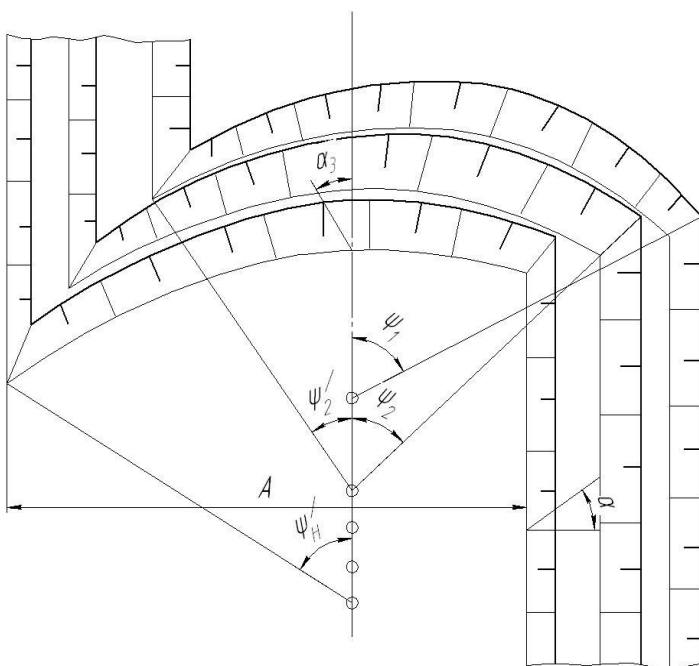


Рис. 4.12. Схема к определению ширины заходки роторного экскаватора

В зависимости от вида стружек и последовательности их снятия различают способы обработки забоя: вертикальными и горизонтальными стружками, а также комбинированный способ. Последние позволяют вести отдельную выемку полезного ископаемого при разработке переходных зон между слоями с различным грансоставом.

Значение высоты слоя при вертикальных стружках принимаем в пределах $0,5 - 0,7$ диаметра ротора. Максимальная высота уступа, обрабатываемого роторным экскаватором, ограничивается его высотой копания ($H = h_{\text{коп. max}}$). Ширина заходки роторного экскаватора (A) определяется его параметрами, высотой уступа и углом его откоса, а также углами поворота стрелы в сторону уступа при верхнем (ψ_1) и в сторону погрузки при нижнем (ψ_H) положении ротора. Угол поворота стрелы в сторону погрузки ψ_H зависит в основном от свойств разрабатываемых пород. В нашем случае породы, слагающие техногенное месторождение (отвалы отходов переработки флюсов), близки по свойствам породам бурогоугольных месторождений, а, следовательно, ψ_H не должен превышать $40 - 50^\circ$. Угол ψ_1 принимается, как правило, равным 80° .

Максимальное значение ширины (в м) определяется для экскаватора с не выдвинутой стрелой

$$\dot{A} = (a + L_p \times \cos \varphi_1) \times \sin \psi_1 + (L_p \times \cos \varphi_H + a) \times \sin \psi_H - (H - h_1) \times \text{ctg} \alpha, \quad (4.8)$$

где: a – расстояние от опорного шарнира роторной стрелы до оси вращения экскаватора, м.

В соответствии с (4.7) определяются следующие параметры забоя роторного экскаватора ЭР-320 высота забоя $H = h_{\text{коп. max}} = 8$ м, ширина забоя $A = 15$ м, угол откоса 60° .

Эксплуатационная производительность ЭР-200 определяется согласно [108],

$$Q_9 = \frac{60 E n k_n T k_n}{1000 k_p} k_i k_z, \text{ м}^3 / \text{смену}, \quad (4.9)$$

где: E – геометрическая емкость ковша, $E = 100$ л; n – число ковшей, разгружающихся в минуту, $n = 58$; k_u – коэффициент использования рабочего времени, $k_u =$

0,75; k_n – коэффициент наполнения ковша, $k_n = 1,0$; k_p – коэффициент разрыхления, $k_p = 1,3$; k_t – коэффициент трудности разработки, $k_t = 0,9$; k_z – коэффициент загрузки экскаватора, $k_z = 0,8$.

При $T = 8$ ч производительность составит $1566 \text{ м}^3/\text{смену}$. Принимая во внимание сезонность работ на участке по переработке отходов ДОФ №1 ЧАО «ДФДК» (с апреля по ноябрь месяц), при продолжительности сезона 4400 часов, годовая производительность экскаватора составит – $861\,300 \text{ м}^3/\text{год}$ или 1,8 млн. т/год. Следовательно, для обеспечения заданной производительности участка в 1,2 млн. т/год достаточно одного экскаватора ЭР-320.

4.2.3. Использование мобильного оборудования (погрузчиков) для разработки техногенных месторождений

Особенностью большинства отвалов ДОФ по переработке флюсов является овальность формы в плане, постоянная высота яруса (60 – 63м), и фракционный состав сыпучей горной массы в пределах 0 – 15(20)мм, редко до 40мм (см. Приложение Е). Это позволяет организовать безвзрывную выемку горной массы с применением наиболее современных технологических комплексов, как непрерывного действия, так и циклического действия.

Существующий опыт показывает, что спрос на продукцию переработки флюсов подвержен значительным колебаниям. Мобильность и многофункциональность применяемого оборудования, в этом случае, предпочтительнее. В этом плане представляет особый интерес применение при разработке техногенных месторождений одноковшовых колесных погрузчиков как в качестве забойного погрузочного, так и в качестве погрузочно-транспортного оборудования.

Современные карьерные погрузчики успешно конкурируют с карьерными экскаваторами с ковшом вместимостью до 12 м^3 . Это обусловлено следующими основными преимуществами колесных погрузчиков: сравнительно небольшими капитальными затратами на их приобретение (в 1,5 – 2 раза меньшими, чем для экскаваторов с сопоставимой вместимостью ковша) и значительно меньшими

эксплуатационными расходами (на 30 – 70%); высокой скоростью передвижения, что дает возможность одному погрузчику обслуживать несколько забоев (горизонтов) одного или нескольких карьеров, расположенных недалеко друг от друга; небольшими габаритами и высокой маневренностью, позволяющими использовать погрузчики в стесненных условиях; незначительной зависимостью производительности погрузчика от высоты забоя; универсальностью применения благодаря использованию комплектов сменного оборудования. Особого внимания заслуживает использование погрузчика в качестве погрузочно-транспортного оборудования.

Возможность погрузчиков работать в качестве выемочно-погрузочного оборудования и в качестве погрузочно-транспортного оборудования и осуществлять поочередную разработку нескольких горизонтов позволяет вести одновременную отработку различных по кондиции слоев техногенного месторождения.

Выбор погрузчика применительно к условиям ЧАО «Докучаевский ФДК» (имеющего определенный парк транспортных и погрузочных средств) производим согласно, предложенной проф. К.Н. Трубецким [80], методике выбора рациональных моделей карьерных погрузчиков, используемых в качестве погрузочного и погрузочно-транспортного оборудования. При этом определяем не только целесообразную грузоподъемность погрузчика, но и увязываем основные параметры выбранного по грузоподъемности погрузочной и транспортных машин: ширину ковша погрузчика и длину кузова транспортного средства, вылет и наибольшую высоту разгрузки ковша погрузчика и погрузочную высоту кузова транспортного средства [81].

Исходными данными при выборе погрузчика для разработки техногенных месторождений сложенных отходами переработки флюсов являются: производительность участка 1,0 млн. тон в год, диапазон расстояний транспортирования от 0,1 до 0,5 км, покрытие автомобильных дорог – щебеночное.

В результате определения минимумов целевых функций для заданных горнотехнических условий и различных режимов использования оборудования уста-

новлен рациональный интервал грузоподъемности погрузчиков от 11,5 до 15,0 тонн, что обеспечивается вместимостью ковшей от 3,5 до 9,3 м³.

Схема работы забойного колесного погрузчика в комплексе с автосамосвалом представлена на рис. 4.13.

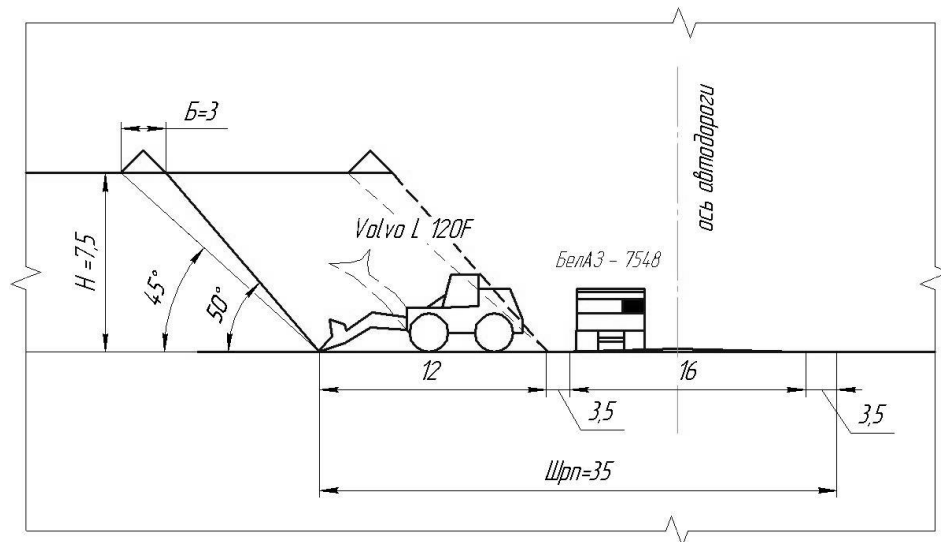


Рис. 4.13. Схема применения погрузчика Volvo L120F в качестве забойного погрузочного оборудования с погрузкой в автосамосвалы БелАЗ-7548 (42т.)

На ЧАО «Докучаевский флюсо-долмитный комбинат» имеется значительный опыт применения погрузчика Volvo L120F (12,5т) в комплексе с автосамосвалами БелАЗ-7548. Сочетание с автосамосвалами БелАЗ-7548 (42т) позволяет обеспечить сменную производительность оборудования $Q_{э.п.} = 2130 \text{ м}^3/\text{смену}$ для сыпучих горных пород, слагающих массив техногенного месторождения.

Послойная отработка массива техногенного месторождения по схеме работы погрузчика на двух уступах представлена на рис. 4.14. Достаточно мощные слои кондиционных пород мощностью до 15 м отрабатываются одним погрузчиком, который обслуживает 2 уступа. Переходный верхний слой мощностью 3 м и переходный нижний слой в 5 м отрабатываются одним уступом отдельно.

Смежные по фронту работ уступы, которые сложены одинаковыми или разными по качеству горными породами, высотой $H_{п.у}$ отрабатываются колесным погрузчиком в следующем порядке. Если транспортные коммуникации расположены на нижнем горизонте, погрузчик производит выемку разрыхленной породы

в стесненных условиях на верхнем уступе, работая в режиме погрузочно-транспортного оборудования. Наполнив ковш (см. рис. 4.14), погрузчик – 1 по съезду спускается на рабочую площадку нижнего уступа, где производит разгрузку породы в автосамосвал – 2, установленный около съезда. После отработки развала длиной по фронту работ $L_{п.с}$ на верхнем уступе погрузчик спускается по съезду и продолжает работы на нижнем уступе в режиме выемочно-погрузочного оборудования. Отработав заходку нижнего уступа на ту же длину $L_{п.с}$, погрузчик сооружает новый съезд на верхний уступ из пород соседнего блока, и весь цикл повторяется.

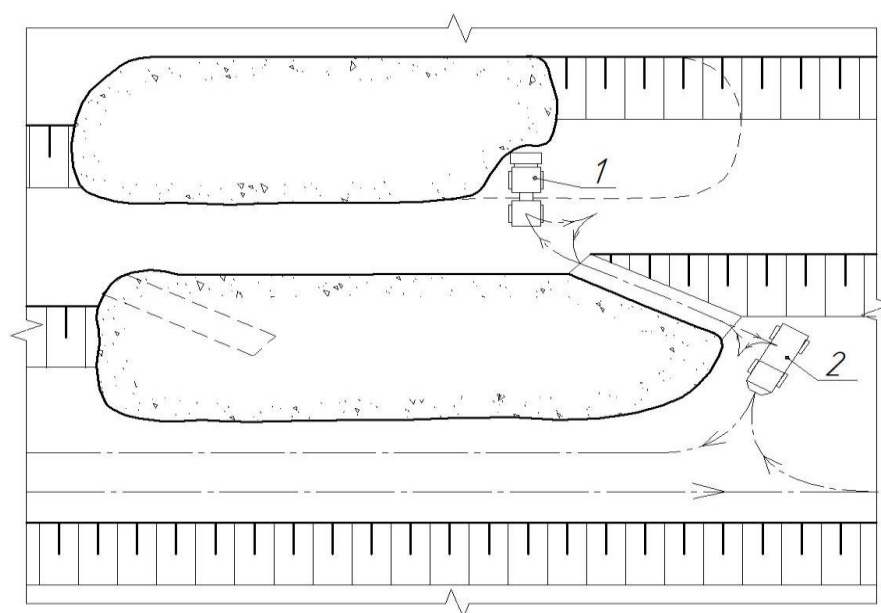


Рис. 4.14. Схема поочередной работы погрузчика на двух уступах

По рабочим горизонтам и съездам дороги не устраиваются. Для проезда автотранспорта производится планировка проезжей части бульдозером. По поверхности техногенного месторождения также производится планировка проезжей части дорог бульдозером. Ширина всех дорог и проезжей части принята равной 10м. из расчета двух полосного движения транспорта. Радиус закругления - не менее 30м.

Для обеспечения безопасного движения транспортных средств на уступах и съездах предусмотрено производить с нагорной стороны породного вала шириной понизу 1,5м и высотой 0,7м. На дорогах устанавливаются соответствующие до-

рожные знаки и указатели. Расстановка их выполняется в соответствии с СНиП П-Д, 5-76.

Параметры технологических автомобильных дорог приняты в соответствии с требованиями СНиП 2.05.07-91 «Промышленный транспорт» и «Правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом» (ГНАОТ 12.11-1-01-94);

- с целью предотвращения обрушения горных пород при движении автотранспорта и погрузчиков на горизонтах и съездах учитывается призма обрушения;

- для предотвращения скатывания автомобилей под откос устраивается ограждающий вал из разрабатываемых пород для автосамосвалов грузоподъемностью 40 т не менее 1,0 м согласно правил безопасности;

Рациональный шаг переноса съезда при поочередной работе погрузчика на нескольких горизонтах (подступах) может быть выявлен на основе минимума приведенных затрат на выемку, погрузку и транспортировку (рис. 4.15).

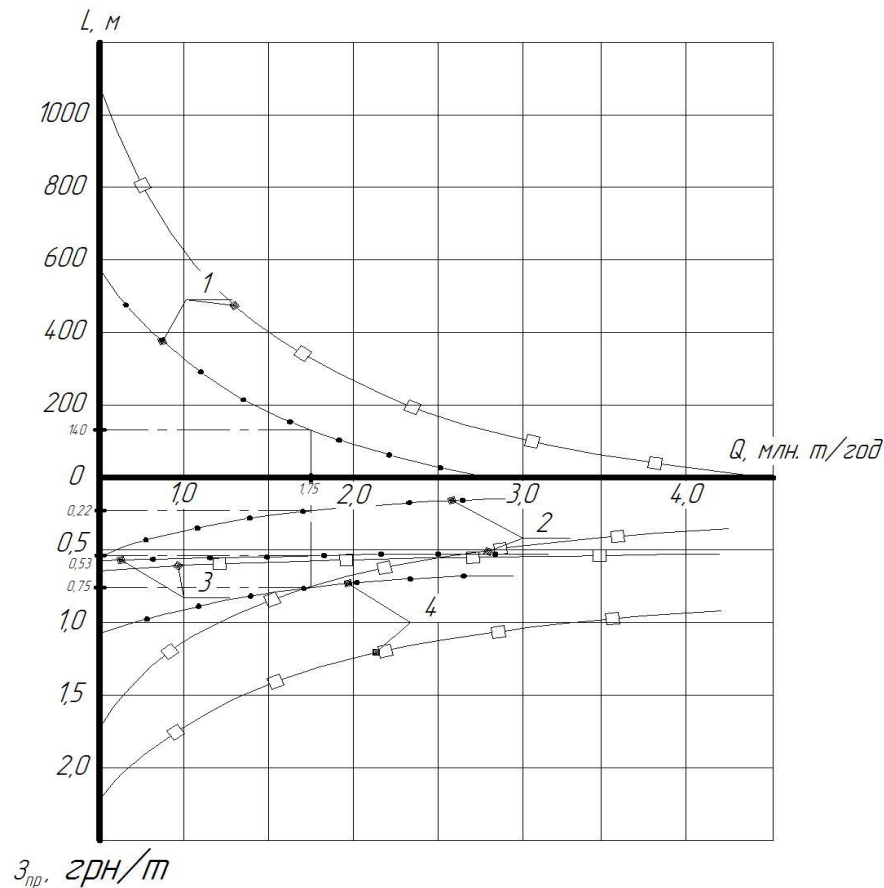


Рис. 4.15. Номограмма для определения шага переноса съезда L и соответствующий ему приведенных затрат Z при работе погрузчика на двух подступах.

На рисунке 4.15 обозначено: 1 – зависимость шага переноса съезда от годовой производительности погрузчика Q ; 2, 3, 4 – зависимость приведенных затрат соответственно на выемочно-погрузочные работы, транспортирование и суммарных затрат от годовой производительности погрузчиков с ковшами 3.7м^3 и 9.5м^3 соответственно. Точка пересечения графиков $L = f(Q)$ с осью абсцисс ($L = 0$) соответствует максимальной для данного погрузчика (в рассматриваемых условиях) эксплуатационной производительности при работе в режиме выемочно-погрузочного оборудования. Наибольшая производительность достигается погрузчиком Volvo L120F в 1.75 млн. т, а погрузчиком ПК-15 в 2.5 млн. т. в год.

Наличие транспортных коммуникаций, расположенных вблизи техногенного месторождения, дает возможность рассмотреть схемы непосредственной отгрузки сырья погрузчиками из забоя в транспорт заказчика, что позволит сократить капитальные затраты как на начальном этапе организации переработки отходов, так и в процессе развития горных работ.

На основании этого, следует что эксплуатация техногенного месторождения эффективна при применении сплошной транспортной системы разработки с использованием колесных автопогрузчиков и поочередной параллельной работой одного погрузчика на двух смежных уступах с формированием съезда с одного уступа на другой через рациональный шаг, определяемый по кривой отрицательной степенной функции при минимуме приведенных затрат и максимуме производительности единицы выемочно-погрузочного оборудования.

Схема работы погрузчика на двух уступах рекомендуется, в том числе и для селективной разработки сложноструктурных техногенных месторождений. При работе по этой схеме транспортные коммуникации расположены только на одной рабочей площадке, что позволяет уменьшить затраты на сооружение и поддержание забойных дорог и улучшить условия эксплуатации автотранспорта.

Проведенные исследования [57, 58, 60, 78] в области эффективного регулируемого формирования техногенных месторождений и образований, а также схем их дальнейшей разработки позволили разработать «Технологические схемы разработки техногенных месторождений в зависимости от требуемого качества

структурных элементов техногенного образования и формирующих технологических комплексов оборудования» (см. Приложение Г).

4.3. Экономическая оценка целесообразности внедрения результатов исследований на флюсовых комбинатах

Эффективность результатов проведенных исследований проверена в условиях предприятий по добыче и переработке металлургических флюсов для доменного и сталеплавильного производства – ЧАО «Докучаевский флюсо-доломитный комбинат» и ПК ООО «Видис». Выполнен расчет экономического эффекта, который может быть получен при внедрении предложений автора (см. Приложение Д). Увеличение емкости действующих отвалов вскрышных пород на карьерах Докучаевского ФДК путем увеличения высоты отвальных ярусов, по предложению автора, не требует строительства дополнительных отвалов, а значит, позволяет сократить затраты комбината, связанные с этим строительством. Их внедрение предложено на карьере «Центральный» в пределах горного отвода циклично-поточной технологической линии.

В результате исследований предложено формировать откос отвала скальных вскрышных пород в виде изогнутой поверхности в нижней части, которой создается «контрфорс» из наиболее крупных фракций породы. Благодаря этому повышается коэффициент устойчивости отвала: рациональный гранулометрический состав исходного материала и технология его отсыпки обеспечивают высокую степень сегрегации скальной горной массы на откосе. Такое решение позволяет увеличить высоту отвала, а значит, увеличить его вместимость (на 7...10%) в пределах занятой под отвал площади земель (см. Приложение К).

По природным факторам, степени выдержанности мощности и качества полезного ископаемого участок месторождения, разрабатываемый карьером Центральный, в соответствии с инструкцией ГКЗ по классификации запасов твердых полезных ископаемых, отнесен ко 2-ой группе сложности.

Для разработки основного полезного ископаемого необходимо извлечь 48,4 млн. м³ вскрышных пород, в том числе, скальных – 21,4 млн. м³, рыхлых – 27,0 млн. м³. К мягкой вскрыше отнесены осадочные породы, покрывающие залежь полезного ископаемого, а также породы внутреннего и внешнего карста. Скальной вскрышей являются некондиционные карбонатные породы.

Уступ мягкой вскрыши высотой 10 м разрабатывается экскаваторами ЭКГ-5А. Для её доставки во внешний отвал используют автосамосвалы БелАЗ-7548, КрАЗ-256 и другие модификации. Расстояние транспортирования 1,3 ... 2,3 км.

Скальные вскрышные породы после предварительного рыхления буровзрывным способом разрабатывают также экскаваторами ЭКГ-5А с погрузкой в автосамосвалы БелАЗ-548 (40 т.) и БелАЗ-7548 (42 т.). Взрывные скважины диаметром 250 мм бурят станками СБШ-250МНА-32. В настоящее время скальную вскрышу и породы внутреннего карста складировуют во внешнем отвале №3 и временном внутреннем отвале, расположенном в центральной части карьера. Высота отвального яруса - 15 м, угол откоса отвала $\beta_0 = 34^\circ$. Отвалообразование осуществляется бульдозерами.

Вскрышные породы и отвалы доставляются автосамосвалами, отвалообразование – бульдозерное.

Объёмы вскрышных пород в проектных контурах карьера и необходимая для них отвальная емкость с учетом существующего внутреннего отвала по состоянию на 01.01.2014 г. представлены в табл. 4.4.

Исходя из этих объемов установлено сокращение площади земель, занимаемой отвалом №3 скальной вскрыши за счет увеличения высоты отвала. Существующая площадь земель отведенных под внешний отвал на карьере Центральный составляет 138 Га, с учетом скорректированного коэффициента устойчивости отвала его площадь составит 128 Га (сокращение на 7%).

Денежная оценка высвобожденных земельных ресурсов $D_{з.р.}$ произведена согласно [96]. Эта оценка для земель сельскохозяйственного назначения устанавливается по формуле:

$$D_{з.р.} = S_{з.о.} \times (Y_{з.к.} \times C_з - Z_y - P) \times K_k \text{ грн,} \quad (4.10)$$

где $S_{з.о.}$ – площадь земельного ресурса (горного отвода), га; $Y_{з.к.}$ – урожайность зерновых культур (средняя по данному региону в зависимости от сельскохозяйственного назначения земли), ц/га; $C_з$ – цена 1 ц зерна, грн; Z_y – затраты на выращивание урожая, грн/г; P – рентный доход (из расчета 1,6 ц/га), грн; K_k – срок капитализации, который составляет 33 года.

Таблица 4.4

Объемы отвалообразования вскрышных пород карьера Центральный

Наименование вскрышных пород	Объем пород, млн.м ³	Остаточный коэффициент разрыхления	Необходимая емкость отвала, млн.м ³	В том числе	
				Внешние отвалы, млн.м ³	Внутренние отвалы, млн.м ³
Растительно- плодородный слой	0,08	1,07	13,9	13,9	-
Потенциально- плодородный грунт	0,8				
Осадочные породы и породы внешнего карста	12,1				
Скальные вскрышные породы	21,4	1,2	25,7	11,2	14,5
Внутренний карст	7,9	1,12	8,9	1,4	7,5
Внутренний временный отвал	6,1	1,12	6,8	-	6,8
Итого	48,4	4,51	55,3	26,5	28,8

Для Донецкой области по формуле (4.13) стоимость 1 Га пахотных земель составляет $C_1=12\ 324$ грн, пастбища – $C_2= 4\ 065$ грн. Соотношение этих земель по их назначению в районе строительства отвалов: пахотные земли – 73%, пастбища – 27%. В таком случае возможное сокращение денежных средств флюсодоломитного комбината на отвод земель для размещения отвала скальной вскрыши, площадь основания которого уменьшается на 10 Га, составит:

$$\mathcal{E}_{om} = 0,73 \times 10 \times 12324 + 0,27 \times 10 \times 4065 = 100\ 950 \text{ грн.}$$

Применение предлагаемой технологии формирования отвалов при автомобильном транспорте приводит к сокращению расстояния доставки вскрыши на отвал (п. 3.2), благодаря чему может быть уменьшенный парк автосамосвалов, а значит, уменьшены затраты на дизельное топливо (на 5%), обслуживание и ремонт самосвалов (на 5%), строительство и поддержание автодорог (на 7%). За счет снижения расхода топлива экономия денежных средств комбината может составить:

$$\mathcal{E}_{\text{дт}} = N_{\text{пнр}} \times V_{\text{п/п}} \times C_{\text{дт}} \times 5\% \text{ грн/год}, \quad (4.11)$$

где $N_{\text{пнр}}$ – плановая норма расхода дизельного топлива л/м³ по ЧАО «ДФДК» (в 2013 году $N_{\text{пнр}}=0,63$ л/м³); $V_{\text{п/п}}$ – плановый объем перевозки вскрыши по карьере Центральный (1,2 млн. м³/год); $C_{\text{дт}}$ – цена дизельного топлива, грн/л (принята 12,30 грн/л).

Согласно выражению (4.14) для карьера Центральный

$$\mathcal{E}_{\text{дт}} = 0,63 \times 1\,200\,000 \times 12,3 \times 0,05 = 464\,940 \text{ грн/год}.$$

Поскольку природные земли дополнительно (в объеме 7%) под отвал вскрышных пород не отводятся, то рекультивация этих земель отсутствует. Экономия средств на рекультивацию поверхности отвалов определяется по выражению:

$$\mathcal{E}_p = \Delta S \times C_p \text{ грн}, \quad (4.12)$$

где ΔS – сокращаемая площадь земель для размещения отвала, Га (10 Га); C_p – средняя цена рекультивации, грн/Га (для карьеров ЧАО «ДФДК» - 26 тыс. грн/Га).

На основе выражения (4.3)

$$\mathcal{E}_p = 260\,000 \text{ грн}.$$

Результаты расчета суммарного экономического эффекта от реализации проектных решений по увеличению высоты отвала №3 на карьере Центральный представлены в табл. 4.5.

Для создания изогнутого откоса отвала и контрфорса в его нижней части необходимо предусмотреть следующее:

- отгрузка породы из кузова автосамосвала выполняется под откос отвала с обеспечением безопасности отвальных работ;
- постоянный контроль соблюдения проектных параметров схемы отвалообразования (параметры предохранительного вала, схема разгрузки);
- применение вспомогательного оборудования (колесного погрузчика или бульдозера).

Таблица 4.5

Ожидаемый экономический эффект от реализации проекта по увеличению высоты отвала

Статья экономии денежных средств	Сумма, тыс. грн/год
Сокращение затрат на отвод земель под карьер	101
Экономия дизельного топлива на перевозку вскрыши	284
Сокращение объема работ на рекультивацию	27
Итого	412

При транспортировке известняка обычного с помощью циклично-поточной технологической линии (ЦПТЛ) карьера Центральный зерновой состав претерпевает значительные колебания, что на конечной стадии выхода приводит к замельчению или укрупнению конечной продукции по сравнению с заданной крупностью. По технологическим и другим причинам горная масса крупностью 40 ... 80 мм переизмельчается при допустимом уровне 10% фактически 15.34%, а крупностью 5 ... 20 мм допустимое значение по фракции +20 мм превышает на 5.5%.

Технические условия для каждой крупности предусматривают допустимые отклонения грансостава как в большую, так и в меньшую стороны. В соответствии с договорами на поставку продукции, в случае превышения допустимых значений для предельных классов крупности снижается договорная цена сырья на 8 ... 20%, или же сырье возвращается с учетом транспортных и других издержек.

С целью уменьшения материальных и финансовых потерь значительные объемы конечного продукта направляются на повторное просеивание. Для склада готовой продукции (фракция 40 ... 80 мм известняка обычного) на складе ЦПТЛ

проходит повторное грохочение до 12% всего объема горной массы, что составляет 11500 м³. Оценим ожидаемый экономический эффект от использования предложенного решения. По результатам работы ДОФ № 1, ДОФ №2 и ЦПТЛ Докучаевского ФДК в 2013 году себестоимость конечной продукции составила 92,5 грн./м³. В структуре себестоимости доля переработки на ДОФ равна 25,3% (23,4 грн./м³). При сохранении в 2014 году планового объема производства (96 000 м³ известняка) следует ожидать экономический эффект $\mathcal{E}_{скл}$ в размере:

$$\mathcal{E}_{скл} = 96000 \times 0,88 \times 23,4 = 1,977 \text{ млн. грн.}$$

Как показывают исследования (п. 4.1), наиболее полное извлечение некондиционного сырья из массива техногенного образования, которое имеет минимальное разубоживание, возможно при использовании технологии, позволяющей производить выемку обелисковой (центральной) части конуса, где сконцентрированы более мелкие фракции. Предложенная (см. Приложение Г) для условий ПК ООО «Видис», ДОФ №1 ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» раздельная разгрузки штабеля к годовой экономии 40 ... 80 тыс. грн. Применение грейферной разгрузки уменьшает потери кондиционного материала на 2 ... 4 %, что приводит к дополнительной экономии

Дробильно-обогащительная фабрика №1 Докучаевского ФДК перерабатывает обычные известняки, доломиты, некондиционный известняк. Отвал ДОФ №1 имеет площадь около 54 га и объем 28,4 млн. м³ отходов в виде щебеночно-песчаной смеси. Смесь в большей степени (82 ... 85%) представлена фракциями 0 ... 15 мм, оставшаяся часть – это фракции 10 ... 20 мм и крупнее. По химическому составу отдельные фракции отходов соответствуют требованиям ГОСТов к товарной продукции флюсовых предприятий и поэтому указанные отходы могут образовать техногенное месторождение.

Затраты на его формирование определены применительно к комплексам оборудования на флюсовых предприятиях Украины (Докучаевский ФДК, Новотроицкое РУ, Комсомольское РУ, ПК ООО «Видис») и технологическим схемам, которые обеспечивают высокую степень сегрегации горной массы (табл. 4.6). С этой целью рассмотрены схемы, которые предусматривают транспортирование горной массы автосамосвалами и разгрузку её под откос (схема 1.1), а также кон-

вейерную доставку и укладку горной массы тонкими слоями, при минимальной длине отвальной консоли (схема 1.3).

Таблица 4.6

Калькуляция затрат на формирование техногенного месторождения металлургических флюсов в условиях ДОФ №1, грн/м³

Назначение затрат	Схема 1.1	Схема 1.3
Переработка на ДОФ	23,40	23,40
Транспортирование	9,25	9,55
Затраты на укладку в ТМ	0,43	0,29
Отвод земли	0,02	0,02
Итого	33,10	33,26

Для условий ДОФ №1 затраты на формирование ТМ объемом 28,4 млн. м³ составят (табл. 4.4):

- рекомендуемая схема: $Z_1 = 33,10 \times 28\,400\,000 = 940,0$ млн. грн.;
- существующая схема: $Z_2 = 33,26 \times 28\,400\,000 = 944,6$ млн. грн.

Оценена эффективность применения рекомендуемой технологической схемы разработки техногенного месторождения по сравнению с существующей на предприятии (табл. 4.7). Предложена схема с применением одноковшового погрузчика Volvo L120F, который отгружает горную массу в автосамосвалы БелАЗ-7548 (грузоподъемностью 42т.), а на предприятии сегодня применяют экскаватор ЭКГ-5А с погрузкой флюсов в автосамосвалы БелАЗ-548 (грузоподъемностью 40т.). Транспортирование производится до станции ДОФ №1.

Таблица 4.7

Калькуляция затрат на разработку техногенного месторождения металлургических флюсов в условиях ДОФ №1 Докучаевского ФДК, грн/м³

Назначение затрат	Рекомендуемая схема	Существующая схема
Выемочно-погрузочные работы	5,20	9,85
Транспортирование	10,75	10,55
Повторная сортировка (30%)	- /16,38	- /20,83
Итого	15,95 / 32,33	20,40 / 41,23

Принимая во внимание, что в 2013 г. себестоимость конечной продукции на ДОФ №1 составила 92,5 грн./м³, определена себестоимость 1 м³ металлургических флюсов, отгружаемых из ТМ, с учетом дополнительной переработки (не менее 30% извлекаемых объемов) и произведен расчет ожидаемого экономического эффекта разработки техногенного месторождения при внедрении рекомендаций автора (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения предложений автора

Показатели	Вариант 1		Вариант 2	
	схема 1.1	схема 1.3	схема 1.1	схема 1.3
Себестоимость флюсов без дополнительной сортировки, грн. /м ³	33,10+15,95 = 49,05	33,26+15,95 = 49,21	33,10+20,40 = 53,50	33,26+20,40 = 53,66
Себестоимость флюсов с учетом сортировки, грн. /м ³	60,23	60,39	64,68	64,84
Ожидаемый экономический эффект, тыс. грн.	1 139	1 135	1 013	1 008

Общая экономическая оценка целесообразности внедрения результатов исследований, полученных автором, показана в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Расчет общего экономического эффекта от внедрения предложенных технологических решений на Докучаевском ФДК

Предложенное решение	Экономический эффект, т. грн.
1. Формирование выпуклого откоса отвала и пригрузка основания откоса естественным контрфорсом за счет изменения геометрических параметров отвала:	
- снижение платы за землю	101
- экономия дизельного топлива	284
- снижение затрат на рекультивацию поверхности отвала	27
2. Селективная разгрузка склада готовой продукции	
3. Формирование и последующая разработка ТМ металлургических флюсов	260
Итого	4 600
	5 272

Выводы по разделу 4

1. В процессе переработки известняков и доломитов зерновой состав претерпевает значительные колебания, что на конечной стадии выхода товарной продукции может привести к выходу за нормативные допустимые значения по замелчанию или по укрупнению определенного класса крупности. Для уменьшения материальных и финансовых потерь требуется направлять от 10 % до 25 % конечного продукта на повторное пересевивание. Снизить затраты на повторное грохочение, можно за счет селективной отгрузки из штабеля с учетом структуры последнего, которая, в свою очередь, определяется технологией формирования и особенностями сегрегации сыпучих породах в процессе складирования.

2. При формировании насыпных напольных складов в форме конусов или хребтовой формы конвейерным способом происходит перераспределение исходного материала по крупности с образованием областей продукции с гарантированным качеством и некондиционной области с сырьем, которое требует дополнительной переработать. Распределение горной массы по качеству в массиве определяется величиной среднего размера куска – параметра d_{cp} . Для конусообразной насыпи, область с мелкой фракцией подобна обелиску и в первом приближении область по форме подобна опрокинутому конусу. В образованиях хребтовой формы, форма центральной сердцевины насыпи в поперечном сечении подобна форме обелиска насыпного конуса.

3. Раздельная разгрузка техногенных образований с применением выемочно-разгрузочного оборудования различных типов позволяет уменьшить объем продукции, которая требует дополнительного пересевивания, с минимальным разубоживанием пород различной крупности. Разгрузка слоев штабеля торцевыми забоями обеспечивает оптимальную организацию работ с максимальной производительностью выемочно-погрузочного оборудования как циклического, так и поточного действия.

4. Особенностью большинства техногенных месторождений и образований, рассматриваемых в работе, является компактность формы объекта в плане, нали-

чие в непосредственной близости от подобного техногенного объекта подъездных путей, в том числе и железнодорожных станций. Это позволяет при проектировании и выборе схемы комплексной механизации разработки техногенных месторождений минимизировать расстояния транспортирования. Предложена схема сегрегационного обогащения отходов переработки флюсов на ДОФ №1 ЧАО «ДФДК» на откосе яруса овала отходов высотой 20 м и отдельной разгрузки фракций 0 – 5 мм и 5 – 15 мм экскаваторами ЭКГ - 5А, ЭГ-6, ЭГО-4, ЭР-320 и погрузчиком Volvo L120F.

5. Особенности техногенных месторождений и образований позволяют реализовать преимущество колесных карьерных погрузчиков, которое заключается в их способности работать как в качестве выемочно-погрузочного оборудования, так и в качестве погрузочно-транспортного оборудования. Это создает условия для поочередной разработки нескольких забоев или горизонтов, или вести одновременную отработку различных по кондиции слоев техногенного месторождения. Разработана схема поочередной работы погрузчика Volvo L120F на двух подступах. На нижнем подступе – работа погрузчика Volvo L120F в качестве забойного погрузочного оборудования с погрузкой в автосамосвалы БелАЗ-7548 (42т.). На верхнем подступе погрузчик работает как погрузочно-транспортное оборудование. Это позволяет сократить капитальные затраты на начальном этапе организации переработки отходов, и в процессе развития горных работ.

6. Впервые показано, что при формировании техногенных месторождений сыпучих горных пород по разработанной технологии естественная кривизна откоса и наличие в нижней части призмы из скальной породы наибольшей фракции, которая выполняет роль контрфорса, обеспечивает повышение устойчивости отвала F на 12% по сравнению с рассчитанной по Петерсону-Фелениусу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой получено решение актуальной научной задачи по обоснованию технологий формирования техногенных месторождений и образований с прогнозируемой структурой и качественными показателями на основании установленных закономерностей сегрегации, что позволяет эффективно решать проблему народного хозяйства по созданию дополнительной базы минерального сырья.

Основные научные и практические результаты состоят в следующем.

1. Разработана математическая модель процесса сегрегации сыпучих горных пород с целью определения основных характеристик и установления закономерностей распределительных процессов, влияющих на характеристики техногенного образования.

2. Разработаны технологические схемы отдельной разгрузки штабелей товарной продукции, представленных сыпучими горными породами с учетом их крупности и технологии образования насыпи. Это позволит, в случае отклонения по грансоставу на 10...20% товарной продукции от допустимых значений, уменьшить на 15% объем горной массы для повторного пересейвания;

3. Предложенная схема отдельной разгрузки штабелей в форме конуса, плоского слоя или в форме хребта. Предложенный в работе технологический комплекс оборудования и рекомендации по практическому использованию внедрены для условий производственно-коммерческого ООО «Видис» в Донецкой области;

4. Разработана методика управления качественными характеристиками техногенных образований на основании установленных закономерностей сегрегационного распределения сыпучих горных пород.

5. Научные результаты диссертационной работы используются при подготовке специалистов специальности 21.05.04 – «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Схема развития металлургического комплекса Украины до 2010 г. Флюсодобывающие предприятия. Т 13, 57, 86, 60 / Укргипроруда; рук. А.И. Ясыркин. – № ГР 99–НИР–4217–ПЗ.3. – Харьков, 1994. – 80 с.
2. Кривобородов, Р.Т. Техничко-экономические проблемы рекультивации карьеров промышленности строительных материалов / Р.Т. Кривобородов, А.Л. Кунницын // Научно-технические проблемы рекультивации земель нарушенных при добыче полезных ископаемых в СССР: Сб. докладов. – М.: АН СССР, 1978. – С. 49–57.
3. Лягутко, А.С. Технология гравитационного формирования высоких отвалов / А.С. Лягутко, Н.В. Несвитайло // Сб. науч. тр. НГА Украины. – Днепропетровск: РИК НГА Украины. – 1998. – № 7, Том 3. – С. 55–58.
4. Дриженко, А.Ю. Формирование землесберегающих технологий комплексов действующих железорудных карьеров [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / А.Ю. Дриженко. – Д., 1988. – 424 с.
5. Барсуков, И.М. Обоснование технологии горно-подготовительных работ с минимальным нарушением земель при открытой разработке горизонтальных месторождений: дис. к. т. н.: 05.15.03 / И.М. Барсуков – Д., 1988. – 115 с.
6. Ржевский, В.В. Проблема создания экологически чистых и ресурсосберегающих технологий при открытой разработке нагорных месторождений / В.В. Ржевский, С.А. Ильин // Горный журнал. – 1991. – № 1. – С. 11–13.
7. Параметры комплексной разработки месторождений / А.Д. Черных [и др.] // – Днепропетровск: Січ, 1993. – 318 с.
8. Беляев, В.Н. Проблемы освоения техногенных образований / В.Н. Беляев // Изв. ВУЗов. Горный журнал. 1998. №7-8. С. 202-213.
9. Вострокнутов, Г.А. Временное руководство на проведение геохимических исследований при геоэкологических работах / Г.А. Вострокнутов. – Екатеринбург, 1991. – 137 с.

10. Макаров, А.Б. Техногенно-минеральные месторождения Урала (особенности состава и методологии исследования) / А.Б. Макаров, А.Г. Талалай.А.Г. // Техногенез и экология: Информационно-тематический сборник. – Екатеринбург: УГГА, 1999. – С. 4-41.
11. Трубецкой, К.Н. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия / К.Н. Трубецкой, В.Н. Уманец, М.Б. Никитин // Горный журнал. – 1989. – № 12. С. 57-59
12. Шегай, Г.И. Перспективы разработки силикатных никелевых месторождений Казахстана / Г.И. Шегай [и др.] // Промышленность Казахстана. - 2005. - №3(30). С.54-56.
13. Шегай, Г.И. Техногенные месторождения / Г.И. Шегай // Изв. АН Каз. ССР, серия геологическая. — 1990. — № 3. С. 81–86.
14. Наркелюн, Л.Ф. Комплексное использование минерального сырья и горно-технологических отходов / Л.Ф. Наркелюн – Чита: ЧитГТУ, 1996. – 139 с.
15. Едильбаев, А.И. Разработка классификации твердых техногенных металлсодержащих минеральных образований горно-металлургического комплекса /А.И. Едильбаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 1. С. 87-89
16. Секисов, Г.В. Природно-техногенные минеральные объекты / Г.В. Секисов, А.А. Таскаев, А.Г. Секисов // Изв. АН Кирг. ССР. Физ.-техн. и матем. науки. — 1987. — № 4. С. 49–56.
17. Четверик, М.С. Формирование техногенной геологической среды и ее взаимосвязь с природной / М.С. Четверик, Е.А. Бубнова // Зб. наук. праць. Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг. Вип. 25, 2010. – С. 83-87
18. Бубнова, Е.А. Классификация нарушенной и техногенной геологических сред / Е.А. Бубнова // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. – Днепропетровск: – 2010. – №89. – С. 19-28
19. Гуменик, И.Л. концепция переориентации минерально-сырьевой базы Украины на попутные полезные ископаемые [Текст] / И.Л. Гуменик // Уголь Украины. – 1994. – №4. – С. 23 – 25.

20. Бортникова, С.Б. Геохимия и минералогия техногенных месторождений Салаирского ГОКа / С.В. Бортникова [и др.] // Геохимия. – 1996. – № 2. С. 171–185.
21. Додин, Д.А. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения Норильского района – главный объект платинодобывающей отрасли России второй половины XX и первой четверти XXI в / Д.А. Додин, Т.С. Додина // Сб. научн. трудов. Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в. – т. III. кн. 1 и 2. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – С. 124–139.
22. Кузнецов, А.П. Золото в железных рудах и пути его извлечения / А.П. Кузнецов, А.Н. Шелехов // Обз. инф. сер. обогащения руд. ЦНИИ инф. и техн.-экон. исслед. черн. металлургии. – 1990. – № 1. С. 1–35.
23. Леонов, С.Б. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций / С.Б. Леонов, К.В. Федотов, А.Е. Сенченко // Горный журнал. – 1998. – № 5. С. 67–68.
24. Макаров, В.А. Условия формирования техногенных золотосодержащих объектов и особенности методики их геолого-технологической оценки: дис. ...док. геолого-минерал. наук / В.А. Макаров. – Красноярск.: КГАЦМИЗ, 2011. – 33 с.
25. Черных, С.И. К повышению извлечения благородных металлов на вольфрам-молибденовых фабриках / И.С. Черных // Цветные металлы – 1980. – № 1. С. 102–104.
26. Брагин, Ю.Н. Техногенные россыпи Fe-Mn минералов в Украине / Ю.Н. Брагин // Техногенные россыпи. Проблемы. Решения. Труды Первой международной научно-практической конференции. – Симферополь, 2000. – С. 132–136.
27. Вовк, Н.Е. Доизвлечение железа из отвальных хвостов ЦГОКа [Текст] / Н.Е. Вовк, П.А. Гонтаренко, А.А. Коваленко // Горный журнал. - 1998. – № 5. С. 24–29.

28. Пат. 2017964 СССР, МПК E21C41/26 Способ складирования и хранения хвостов [Текст] / А.Е. Воробьев, Т.В. Чекушина, А.С. Воробьев; заявл.19.02.90; опубл. 12.08.94, Бюл. № 15.
29. Пат. 2186902 Российская Федерация, МПК E02B7/06, E21C41/00 Способ возведения намывной техногенной залежи [Текст] / С.А. Дементьев (RU); заявл. 09.12.00; опубл. 10.08.02, Бюл. № 22
30. Патент на корисну модель 61522 Україна, МПК E 21C41/26 Спосіб заповнення шламосховища з формуванням техногенного родовища [Текст] / М.С. Четверик, Е.А. Бубнова, М.О. Синенко (UA).; заявл. 09.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. №14.
31. Прокопенко, Е.В. Разработка геоинформационной системы формирования породных отвалов / Е.В. Прокопенко, А.В. Живогляд // Сучасні технології маркшейдерського забезпечення раціонального і безпечного ведення гірничих робіт. Збірник наукових праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2002.
32. Борщевский, С.В. Разработка алгоритма для нахождения максимального компонента в составе пород на отвале / С.В. Борщевский, Е.В. Прокопенко // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов ТулГУ, Тула, 2011. – 117с.
33. Борщевский, С.В. Прогноз и управление рациональным размещением пород в отвале / С.В.Борщевский, Е.В.Прокопенко // Прогрессивные технологии строительства, реконструкции, реструктуризации и безопасности в капитальном строительстве предприятий угольной промышленности: Вестник. –Донецк: Норд-Пресс, 2009. – Вып. 10 – С. 57-61.
34. Панов, Б.С. Новые виды минерального сырья Донбасса / Б.С. Панов, Ю.А. Проскурня // Матеріали науково-практичної конференції, Донбасс-2020: наука і техніка-виробництво ”:Донецк: ДонНТУ.-2002. – С.74-77.
35. Петенко, И.В. Экономико-математическая модель прогнозной оценки параметров зон отрицательного влияния породных отвалов / И.В. Петенко. – <http://www.ecologylife.ru/utilizatsiya-2001>

36. Пивняк, Г.Г. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений [Текст]: монография / Г.Г. Пивняк [и др.]. – Д.: НГУ, 2011. – 568 с.
37. Гуменик, И.Л. Классификация техногенных формирований при открытых горных работах [Текст] / И.Л. Гуменик, А.С. Матвеев, А.И. Панасенко // Горный журнал. – 1988. – №12. – С.53-54.
38. Четверик, М.С. Технологии и технологические схемы разработки действующих техногенных месторождений / М.С. Четверик, Е.А. Бубнова, А.П. Семенов // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. – Д.: – 2009. – №82. – С. 122-130.
39. Дриженко, Ю.А. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров [Текст] / А.Ю. Дриженко [и др.]. – М.: Недра, 1994. – 288 с.
40. Дриженко, Ю.А. Открытая разработка железных руд Украины состояние и пути совершенствования [Текст]: монография / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус. – Д.: НГУ, 2009. – 452 с
41. Новожилов, М.Г. Теория и практика бестранспортной системы разработки месторождений / М.Г. Новожилов, В.С. Эскин, Г.Я. Корсунский. – К.: Вища школа, 1973. – 208 с.
42. Новожилов, М.Г. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2 / Новожилов М.Г. [и др.]. – М.: Недра, 1971. – 552 с.
43. Новожилов, М.Г. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 1 / Новожилов М. Г. [и др.]. – М.: Недра, 1971. – 512 с.
44. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Части 1 и 2 /В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985.
45. Мельников, Н.В. Теория и практика открытых разработок / Н. В. Мельников [и др.]. – М.: Недра, 1973. – 636 с.
46. Ворон, Е.А. Проблемы складирования шахтных пород на ш. «Алмазная» / Е.А. Ворон, Л.П. Иванчишина // Геотехническая механика. – 2005. – Вып. 55. – С. 243 -247.

47. Рыжков, Ю.А. Исследование угла естественного откоса пород, используемых в качестве закладочных материалов в Кузбассе / Ю.А. Рыжков // Вопросы горного давления. ИГДСО АН СССР. Вып. 6, Новосибирск, изд-во СО АН СССР, 1961. – 56с.
48. Барон, Л.И. Характеристика трения горных пород / Л.И. Барон. – М.: Недра, - 1967. – 120с.
49. Исследовать физико-геологические условия устойчивости отвалов ДОФ, отвалов вскрышных пород карьеров и разработать предпроектную документацию по предупреждению оползневых явлений: Отчет о НИР (заключительный) / Научно-исследовательский горнорудный институт Донецкий филиал (ДонНИГРИ); Рук. П. Н. Калмыков. – №01840026152. – Донецк, 1985. – 87 с.
50. Ishimov, A. Mathematical and experimental analysis of the sedimentary processes during hydraulic filling of tailings / A. Ishimov, C. Drebenstedt // In: 12th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (editors: Sklenicka, P. Singhal, R. Kasparova, I.) Publishing House of Lesnicka praca s.r.o., Prague, 2010, S. 208 – 213 (ISBN 978-80-213-2076-5, 978-80-87154-42-7)
51. Drebenstedt, C. Особенности формирования надводного и подводного потоков гидросмеси в хвостохранилищах / C. Drebenstedt, A. Ishimov // Gornui Westnik Usbekistana, No. 3, Samarkand, 2005, S. 62 -63
52. Ishimov, A. Bestimmung der Sedimentationslangt der Phosphataufbereitungsabgangen bei der hydraulischen Deponierung in Tailings / A. Ishimov, C. Drebenstedt // In: Innovations in Geoscience, Geoengineering and Metallurgy (Herausgeber: Drebenstedt, C.), Freiburger Forschungsheft, Reihe C 526, Freiberg, 2008, S. 96 – 101 (ISBN 978-3-86012-340-6)
53. Закономерности количественного распределения минералов в техногенных россыпях / Черней Э.И. [и др.] // Вестник РГТУ. Сб. науч. тр. – Ровно: РГТУ. – 2001. – Вып. №12. – С. 221-231
54. Кустов, В.В. О математическом моделировании процесса сегрегации сыпучих горных пород / В.В. Кустов, Г.Д. Пчёлкин // Тези V Міжн. наук. конфе-

- ренції студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнології», 19 – 22 березня 2008 року. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – С. 445-446.
55. Пчелкин, Г.Д. Управление устойчивостью отвалов посредством эффективности сегрегации скальной вскрыши на откосе / Г.Д. Пчелкин, В.В. Кустов, А.В. Кустов // Геотехническая механика. – Д., 2012. – №107. – С. 179 – 187.
56. Кустов, В.В. Использование сегрегации при разработке техногенных месторождений с целью повышения качества продукции / В.В. Кустов, Г.Д. Пчёлкин // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2009». – Д.: НГУ, 2009. – С. 171-175.
57. Кустов, В.В. О проблеме выбора технологий формирования и последующей разработки техногенного месторождения с учетом сегрегации горных пород / В.В. Кустов, Г.Д. Пчёлкин // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2011». – Д.: НГУ, 2011. – С. 99-104.
58. Кустов, В.В. Технологические схемы разработки отходов флюсодобывающих предприятий / В.В. Кустов, Г.Д. Пчёлкин // Metallургическая и горная промышленность. – Д., 2011. - №1. – С. 88-92.
59. Пчелкин, Г.Д. Экспериментальные исследования влияния свойств рыхлых пород на характеристику откоса насыпного техногенного образования / Г.Д. Пчелкин, В.В. Кустов, А.В. Кустов // Научно-технический сборник. Горный вестник. 95 выпуск. Криворожский национальный университет. – Кривой Рог. – 2012. – С. 219 – 223.
60. Кустов, В.В. Формирование и разработка техногенных месторождений на основе управления процессом сегрегации сыпучих пород. / Кустов В.В., Лабинский К.Н. // Проблемы горного давления: сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2016. - Вып. 1 (28).- с. 79-88.
61. Пчелкин, Г.Д. Влияние технологических процессов и свойств рыхлых пород на особенности структуры и характеристику откоса насыпного техногенного формирования / Г.Д. Пчелкин, В.В. Кустов, А.В. Кустов // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2012». – Д.: НГУ, 2012. – С. 89-95.

62. Кустов, В.В., Управление гранулометрической характеристикой металлургических флюсов на складах товарной продукции ЧАО «Докучаевский флюсо-доломитный комбинат» /В.В. Кустов// Геотехническая механика. – Д.,2014. – №118. – С. 149-156.
63. Вилкул, Ю.Г. Экспериментальные исследования гравитационной сегрегации скальной горной массы / Ю.Г. Вилкул, В.К. Слободянюк, А.С. Аралкин // Разработка рудных месторождений. – 2006. – вып. 1(90).
64. Вилкул, Ю.Г. Моделирование и исследование гравитационной сегрегации скальной горной массы в процессе отвалообразования с применением методов планирования экспериментов / Ю.Г. Вилкул, В.К. Слободянюк, А.С. Аралкин// Разработка рудных месторождений. – 2007. – вып. 91.
65. Кармазин, В.И. Обогащение руд черных металлов: Учеб. для вузов / В.И. Кармазин. – М.: Недра, 1982. – 216 с.
66. Берг, Р.О. Технология гравитационного обогащения: Пер. с англ./ Пер. Е.Д. Бачевой. – М.: Недра,1990. – 574 с.
67. Польшкин, С.И. Обогащение руд цветных металлов / С.И. Польшкин, Э.В. Адамов. – М.: Недра, 1975.
68. Колмогоров, А.Н. Введение в теорию вероятностей / А.Н. Колмогоров, И.Г. Журбенко, А.В. Прохоров. – М: Наука, 1982. – 160 с.
69. Вайсберг, Л.А. Массово-балансовая модель вибрационного грохочения / Л.А. Вайсберг, Д.Г. Рубисов // Обогащение руд. 1988. № 5. С.5-9.
70. Вайсберг, Л.А. К развитию массово-балансовой модели вибрационного грохочения / Л.А. Вайсберг, Д.Г. Рубисов // Обогащение руд. 1989. № 2. С.3-5.
71. Гальянов, А. В. Исследование эффекта сегрегации при отсыпке рудных перегрузочных складов [Текст] / А. В. Гальянов, Ю. В. Лаптев // Изв. УГГГА. Серия: Горное дело. – 1998. – Вып.7. – С. 62- 67.
72. Лаптев, Ю. В. Закономерности процесса сегрегации горной массы при формировании отвалов [Текст] / Ю. В. Лаптев // Уральский горнопромышленный форум: Горное дело. Оборудование. Технологии: сб. докл. / КОСК «Россия».

- Выставочный центр; ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – С.112 - 115.
73. Лапшин, Е.С. Математическое моделирование процесса вибрационного грохочения марковской цепью переменной структуры / Е.С. Лапшин // Разработка рудных месторождений: Научн.-техн. сб. – 2000. – № 73. – С.65-68.
74. Попов, И. И. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов / И.И. Попов, Р.П. Окатов, Ф.И. Низаметдинова. – Алма-Ата, Наука, 1986.
75. Rosin, P. The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal / P. Rosin, E. Rammler // Journal of the Institute of Fuel. 1933. Vol. 7, no. 31. P. 29-36.
76. Русский, И.И. Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах / И.И. Русский. – М.: Недра, 1979.
77. Кустов, В.В. Влияние особенностей технологического комплекса оборудования на свойства техногенных образований / В. В. Кустов, Г. Д. Пчёлкин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Д., 2014. – №2. – С. 60 – 64.
78. Кустов, В. В. Формирование техногенных месторождений на основе управления процессом сегрегации / В. В. Кустов, Г. Д. Пчелкин // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Національний гірничий університет, 2013 – №41 – С. 24 – 29.
79. Мельников, Н.В. Одноковшовые погрузчики на открытых горных разработках / Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, Е.П. Леонов. – М., Недра, 1971.
80. Трубецкой, К.Н. Научные основы проектирования и технологии применения карьерных погрузчиков на открытых горных работах. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. ИПКОН АН СССР, 1980.
81. Трубецкой, К.Н. Технология применения и параметры карьерных погрузчиков / К.Н. Трубецкой. – М.: Недра, 1985. – 264 с.
82. Дриженко, А.Ю. Восстановление земель при горных разработках / А.Ю. Дриженко. – М.: Недра, 1985.

83. Тихомиров, Е.А. Техническому перевооружению флюсодобывающих предприятий – комплексный подход / Е.А. Тихомиров // Горный журнал. – 1986. – № 12. – С. 8-11.
84. Буянов, Ю.Д. Циклично-поточная технология на карьерах по добыче нерудных строительных материалов / Ю.Д. Буянов.– М.: Стройиздат, 1973. – 152 с.
85. Беляков, Ю.И. Проектирование экскаваторных работ / Ю.И. Беляков. – М., «Недра», 1983. – 349 с.
86. Беляков, Ю. И. Исследование технологии выемки и погрузки горных пород в карьерах. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. МГИ, 1969.
87. Беляков, Ю.И. Совершенствование экскаваторных работ на карьерах / Ю.И. Беляков, В.М. Владимиров. – М., «Недра», 1974. – 304 с.
88. Беляков, Ю. И. Совершенствование технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах / Ю.И. Беляков. – М., «Недра», 1977. – 205 с.
89. Анистратов, Ю.И. Рациональная степень дробления горной массы на карьерах с автомобильным транспортом / Ю.И. Анистратов, Н.И. Жабин // Горный журнал. – 1969. – №1. – С.36-38.
90. Друкованный, М.Ф. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки / М.Ф. Друкованный [и др.]. – Киев, Наукова думка, 1974.
91. Ржевский, В.В. Научные основы проектирования карьеров / В. В. Ржевский [и др.]. – М., «Недра», 1971. – 600 с.
92. Клочко, И.И. Характер изменения прочностных свойств горных пород в результате воздействия на них взрывов зарядов взрывчатых веществ / И.И. Клочко, В.М. Комир, Я.С. Долударева, И.Є. Пеева // Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва Сб. Кременчуцького національного політехнічного університету ім.М.Остроградського, м. Кременчук – КДПУ, 2011, вип. №1/2011 (7) – С.16-21
93. Пономарев, А. В. Обоснование эффективности безвзрывной выемки известняков и доломитов экскаваторами непрерывного действия с режущими рабочими органами на флюсовых карьерах Украины / А. В. Пономарев, Г. Д.

- Пчелкин, В.В. Кустов // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – Д., 2008. – №1. – С. 118 – 121.
94. Пчелкин, Г. Д. Прогнозирование величины смещения оползня, подработанного массива горных пород / Г. Д. Пчелкин [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – Д., 2005. – №5. – С. 49 – 52.
95. Пчелкин, Г. Д. О влиянии природной и техногенной деятельности на проявления оползневых деформаций юго-восточного борта карьера «Доломит» ОАО Докучаевский ФДК / Г. Д. Пчелкин, В. В. Кустов, А. В. Пономарев // *Форум гірників 2006. Матеріали міжнародної конференції.* – Д., 2006. – С. 136 – 143.
96. Прокопенко, В. І. Технологія і економіка гірничого землекористування / В.І. Прокопенко, В.І. Фененко, О.О. Кириченко. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – 270 с.
97. Четверик, М.С. Методика создания техногенных залежей на базе отвалов и шламонакопителей горнодобывающих и горно-обогачительных предприятий / М.С. Четверик, И.Л. Гуменик, В.В. Кустов // *ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины.* – Днепропетровск, 2014. – 29 с.
98. Насонов, И.Д. Моделирование физических процессов в горном деле / И.Д. Насонов, В.И. Ресин. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1999. – 343 с.
99. Васильев, М.В. Транспортные процессы и оборудование на карьерах / М.В. Васильев. – М.: Недра, 1986. – 240с.
100. Васильев, М.В. Эксплуатация карьерного автотранспорта / М.В. Васильев, В.П. Смирнов, А.А. Кулешов. – М., Недра, 1979.
101. Томаков, П.И. Технология, механизация и организация открытых горных работ / П.И. Томаков, И.К. Наумов. – М.: Недра, 1991. – 401с.
102. Системы разработки и транспорт на карьерах (2-е изд. под ред. Н. В. Мельникова). М., Недра, 1974.
103. Новожилов, М. Г. Основы управляемого обрушения уступов на открытых разработках / М.Г. Новожилов, Б.Н. Тартаковский, В.Д. Кирилук, А.Г. Шапарь. – Киев, «Наукова думка», 1967.

104. Гаврилюк, И.И. Совершенствование технологии открытой разработки месторождений известняков Донбасса: дис. канд. техн. наук: 05.15.03 / И.И. Гаврилюк. – Харьков, ХИГМАВТ, 1965. – 20 с.
105. Перспективы развития минерально-сырьевой базы промышленности строительных материалов УССР: Под ред. акад. АН УССР Н.П. Семененко, к.т.н. Г.М. Бакланова. – К: Наук. думка, 1976.
106. Гилис, В.М. Статистическая модель прогнозирования производительности карьерного роторного экскаватора / В.М. Гилис, Р.С. Шмеркович, М.Н. Толстой // Горные, строительные и дорожные машины – Киев. «Техника», 1979, вып. 28.
107. Дриженко, А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы / А.Ю. Дриженко. – Д.: НГУ, 2011. – 542с.
108. Беляков, Ю.И. Применение роторных экскаваторов в зимнее время / Ю.И. Беляков. – М., Госгортехиздат, 1982. 94 с.
109. Матушенко, В.М. Определение удельного сопротивления копания одноковшовыми экскаваторами / В.М. Матушенко, С.А. Паляниченко // Горный журнал. – 1970, № 6, с. 84 – 88.
110. Аксенов, В. П. Исследование параметров и структур комплексной механизации карьеров с машинами непрерывного действия. Дис. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. МГИ, 1973.
111. Аксенов, В.П. Экономико-математическое моделирование карьеров с комплексами машин непрерывного действия / В.П. Аксенов, Н.А. Мельник // Технология открытых горных работ. – Киев. «Техника», 1966. – 158с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А



**Товарный портфель
ПК ООО «ВИДИС» (г. Докучаевск)**

Вид продукции	Крупность, мм	Цена с НДС
Известняк флюсовый рядовой и доломитизированный марки С и СД. для ферросплавного производства	0-3	20,04
Известняк флюсовый рядовой и доломитизированный марки Ч и С фракция 0-3 мм для агломерации, аглофлюса, железнорудных окатышей	0-3	20,04
Известняк флюсовый Ч и ЧД для доменного и сталеплавильного производства	10-20 10-30	70,02
Щебень известняковый для дорожного строительства (ТУ У В.2.7-14.1-30076990-003:2008)	10-20	70,02
Щебень известняковый строительный	5-10	80,00
Щебень известняковый строительный	10-30	70,02
Известняки для цементной промышленности	0-15, 0-20	20,04
Известняки флюса для стального плавильного производства марок С-1, М-1, Ф-1.	20-40, 40-80	80,00 112,0
Закладочный материал (известняк) для закладки выработанных пространств	0-10, 0-15, 0-20	20,40
Мука известняковая по ГОСТ 26826-86 (без отклонений) из отсева каменного известнякового для подкормки птицы и изготовления комбикормов;	0-1 0-3 0-5	40,40 20,40 20,40
Щебеночно-песчаная смесь из осадочных пород для изготовления оснований и покрытий для автомобильных дорог	0-20	20,40

Товарный портфель

ЧАО «Докучаеский флюсо-доломитный комбинат»

(холдинг UMG)

ИЗВЕСТНЯКИ ФЛЮСОВЫЕ

ТУ У 14.1-00191816-001-2003)OPEN OR CLOSE

Марки известняков флюсовых:

- **Ч-1, Ч-2** — для доменного производства;
- **С-1, С-2** — для сталеплавильного производства;
- **Ф-1, Ф-2** — для ферросплавного производства;
- **Т-1, Т-2** — для производства технологической извести в цементной и других отраслях;
- **ИС** — для производства извести в сахарной промышленности;
- **ЧДУ-1, ЧДУ-2** — для доменного производства;
- **КДУ-1, КДУ-2** — для конвертерного производства стали.
-

Гранулометрический состав известняков флюсовых

Марка известняка	Крупность куска известняка, мм	Допускаемое содержание кусков крупностью, % по массе не более	
		Ниже нижнего предела	Выше верхнего предела
Ч-1, Ч-2, ЧДУ-1, ЧДУ-2, Т-1, Т-2	0-5, 5-20, 5-25, 15-40, 15-50, 20-50, 40-80	15	20
С-1, С-2, КДУ-1, КДУ-2, Ф-1, Ф-2	15-40, 20-50, 40-80, 80-130	10	20
Т-1, Т-2	40-80, 80-130	10	20
ИС	40-80, 80-150	10	20

ДОЛОМИТ СЫРОЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ
(ГСТУ 322-14-006-97)OPEN OR CLOSE

Доломит сырой металлургический применяется для обжига на металлургический доломит и для заправки двухванных и мартеновских печей.

Гранулометрический состав доломита сырого металлургического

Наименование показателя	Норма для классов	
	1	2
Проход через сетку, %, не более:		
№ 5	8	–
№ 25	–	3
Остаток на сетке, %, не более:		
№ 25	10	–
№ 80	–	5

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ ИЗВЕСТЬ (ФРАКЦИЯ ОТ 0 ДО 40 ММ).

Поставки продукции осуществляются для металлургической, стекольной, цементной, сахарной, строительной, химической и других отраслей промышленности Украины.

ДОЛОМИТ ФЛЮСОВЫЙ

(ТУ У 14.1-00191856-008:2007) OPEN OR CLOSE

Доломит флюсовый предназначен для использования в черной металлургии в качестве флюса, а также для подсыпки порогов мартеновских и двухванных печей.

Гранулометрический состав доломита флюсового

Фракция доломита, мм	Допускаемое содержание кусков крупностью, не более	
	ниже нижнего предела	выше верхнего предела
10-40	15	20
20-40	10	20
20-50	10	20
40-80	10	20
0-5	–	20
0-4	–	20

ДОЛОМИТ МАЛОЖЕЛЕЗИСТЫЙ
(ТУ У 14.1-00191856-007:2005) OPEN OR CLOSE

Доломит маложелезистый предназначен для использования в металлургической и других отраслях промышленности.

Гранулометрический состав доломита флюсового

Фракция доломита, мм	Допускаемое содержание кусков крупностью, не более	
	ниже нижнего предела	выше верхнего предела
5-25	15	20
20-50	10	20

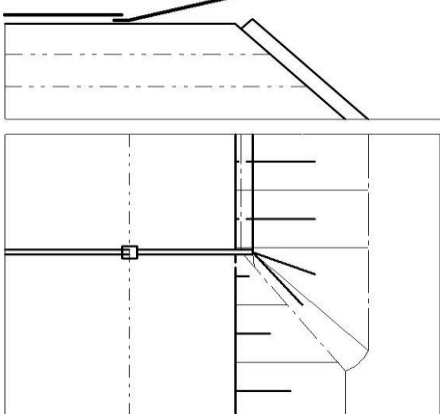
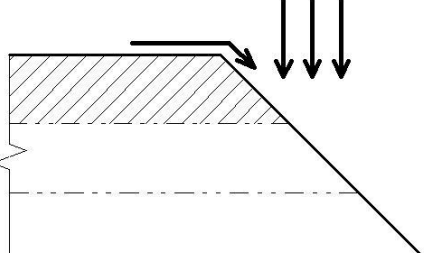
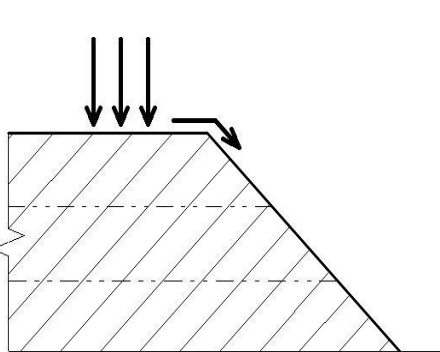
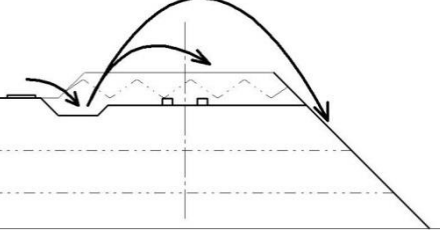
ЩЕБЕНЬ
(ДСТУ Б В.2.7-75-98) OPEN OR CLOSE

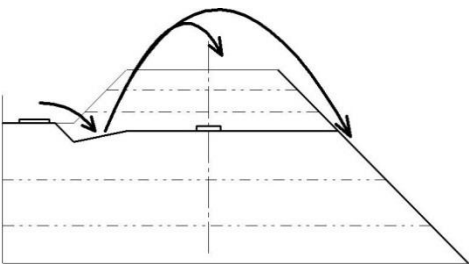
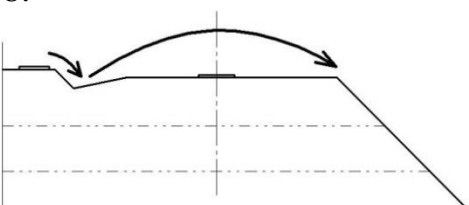
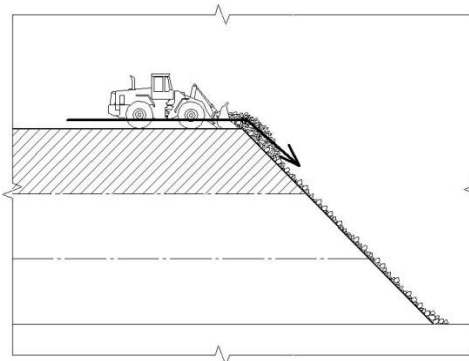
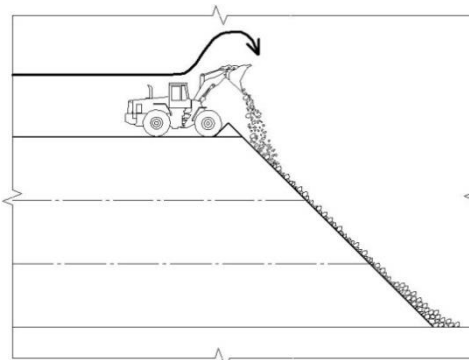
Щебень применяется в качестве крупных заполнителей для тяжелых бетонов, для дорожных и других видов строительных работ.

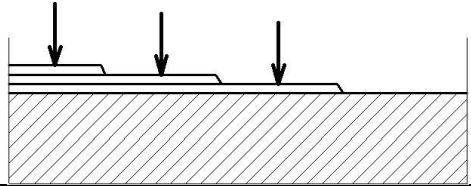
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Рациональные схемы применения отвального оборудования, обеспечивающие максимальную степень сегрегации сыпучих пород по параметру $R_{ср(отн)}$

Оборудование	Схема работы	Последовательность операций	Результат
1	2	3	4
Отвалообразователи, повороты – звеньевые конвейера	1. 	<p>1. Формирование насыпи в форме конуса до проектной высоты при максимальном вылете отвальной консоли относительно верхней бровки яруса отвала</p> <p>2. Поворот (перемещение) отвальной консоли на угол, обеспечивающий формирование следующего конуса в течении времени кратного продолжительности рабочей смены</p> <p>3. Планирование гребней отвала</p> <p>4. Подвигание фронта отвальных работ, повторение операций</p>	Высота откоса обеспечивает высокую степень сегрегации ($R_{ср(отн)} > 1,2$), изоповерхности по грансоставу имеют сложную форму
	2. 	<p>1. Формирование насыпи в форме конуса до проектной высоты при максимальном вылете отвальной консоли относительно верхней бровки яруса отвала</p> <p>2. Непрерывный поворот отвальной консоли или перемещение на угол 1 – 2 град., обеспечивающий формирование гребня проектной высоты</p> <p>3. Планирование гребней отвала</p> <p>4. Подвигание фронта отвальных работ, повторение операций</p>	Высота откоса обеспечивает высокую степень сегрегации ($R_{ср(отн)} > 1,2$), изоповерхности по грансоставу имеют волнообразную форму

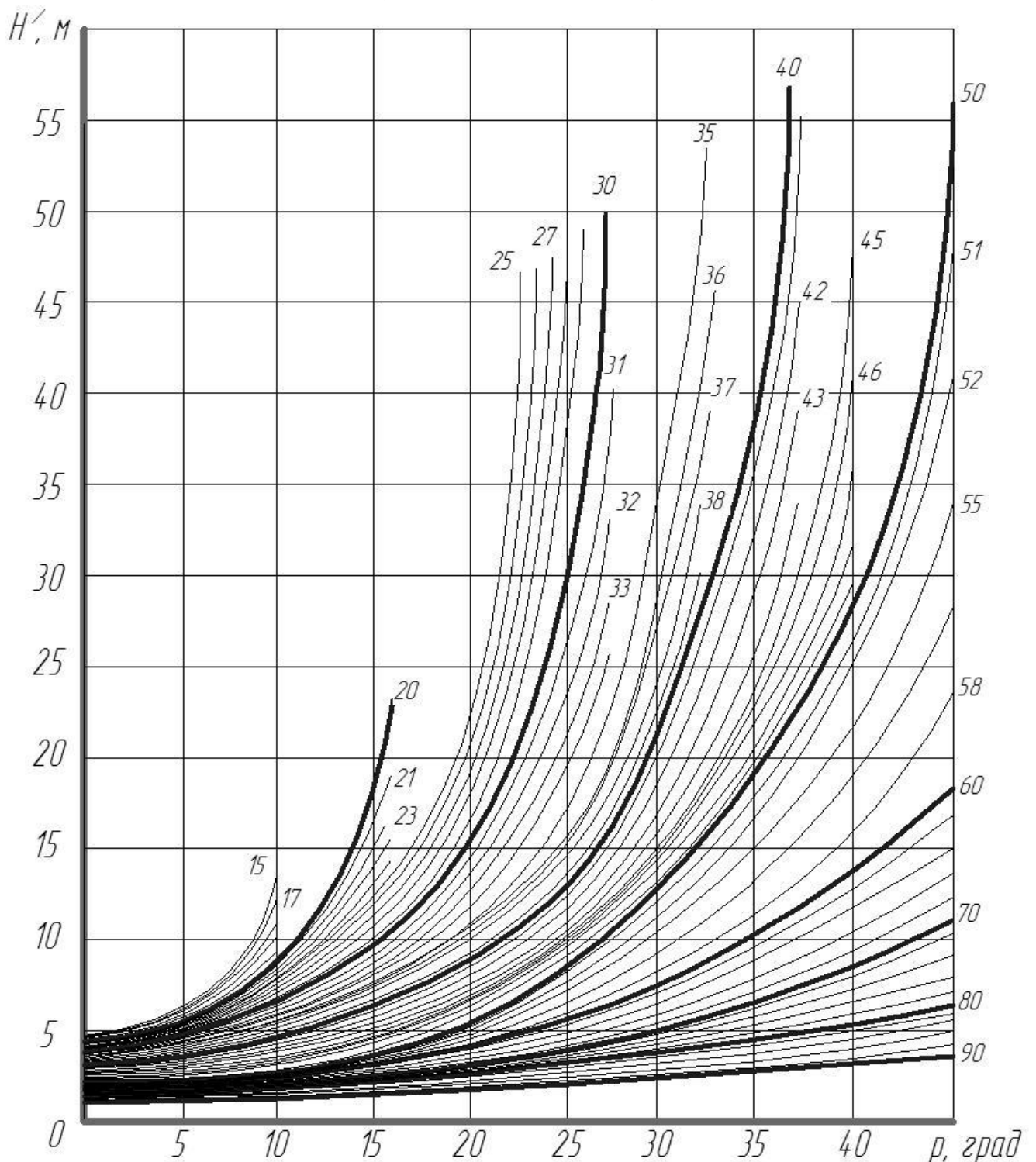
1	2	3	4
	<p>3.</p> 	<p>1. Отсыпка производится до проектной высоты при вылете отвальной консоли относительно верхней бровки яруса отвала 1 – 2 м 2. Непрерывный поворот отвальной консоли или перемещение на угол 1 – 2 град. при достижении гребнем проектной высоты 3. Повторение операций</p>	<p>Высота откоса обеспечивает высокую степень сегрегации ($R_{ср(отн)} > 1,2$), грансостав распределен послойно</p>
Автомобильный транспорт с бульдозером	<p>4.</p> 	<p>1. Периферийная разгрузка автосамосвалов (под откос) 2. Планировочные работы (основной объем пород бульдозером сталкивается под откос), формирование предохранительного вала</p>	<p>Необходима достаточная высота отвала Сегрегация достаточно выражена ($R_{ср(отн)} > 1,2$)</p>
	<p>5.</p> 	<p>1. Разгрузка автосамосвалов на поверхности отвального тупика (площадная разгрузка) 2. Планировочные работы (основной объем пород бульдозером планируется, часть сталкивается под откос), формирование предохранительного вала</p>	<p>Сегрегация не выражена, кроме той горной массы которая сталкивается под откос на завершающем этапе работ ($R_{ср(отн)} < 1,2$)</p>
Пряма механическая лопата	<p>6.</p> 	<p>1. Разгрузка горной массы из средств транспорта на приемную площадку 2. Горная масса перелопачивается экскаватором в нижний и в верхний подступы заходки на ширину блока $Ш_{\text{бл}}$</p>	<p>Высота нижнего подступа обеспечивает высокую степень сегрегации, а верхнего, в меньшей степени. Отвал имеет две области послойного распределения</p>

1	2	3	4
Драглайн	<p>7.</p> 	<p>1. Разгрузка горной массы из средств транспорта на приемную площадку 2. Горная масса перелопачивается драглайном в нижний и в верхний подступы заходки на ширину отвального блока $Ш_{\text{от}}$</p>	<p>Высота нижнего и верхнего подступов обеспечивает высокую степень сегрегации. Отвал имеет две области послойного распределения</p>
	<p>8.</p> 	<p>1. Разгрузка горной массы из средств транспорта на приемную площадку 2. Горная масса перелопачивается драглайном с нижней отсыпкой и на ширину отвального блока $Ш_{\text{от}}$</p>	<p>Высота яруса обеспечивает высокую степень сегрегации.</p>
Одноковшовый погрузчик	<p>9.</p> 	<p>1. Перемещение горной массы на отвальный тупик 2. Разгрузка на бровку с последующим сталкиванием горной массы под откос</p>	<p>При достаточной высоте отвала сегрегация достаточно выражена. Отвал имеет одну область послойного распределения</p>
	<p>10.</p> 	<p>1. Перемещение горной массы на отвальный тупик 2. Разгрузка горной массы под откос</p>	<p>То же, с более качественным результатом</p>

1	2	3	4
Скрепер	<p>11.</p> 	<ol style="list-style-type: none">1. Доставка горной массы на отвальную площадку2. Послойная укладка горной массы в отвал	Сегрегация не выражена ($R_{ср(отн)}=1$)

ПРИЛОЖЕНИЕ В

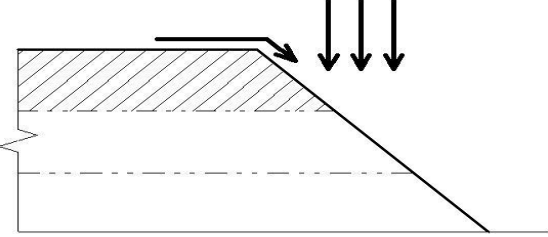
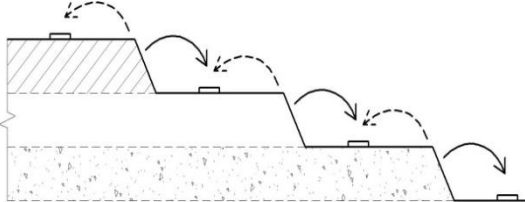
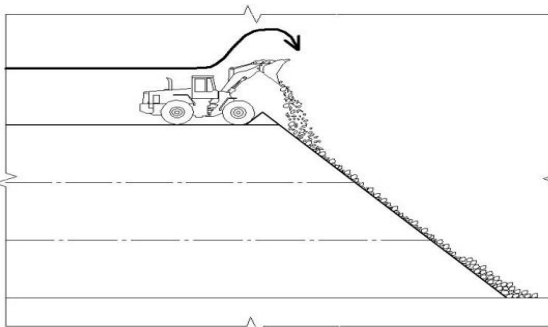
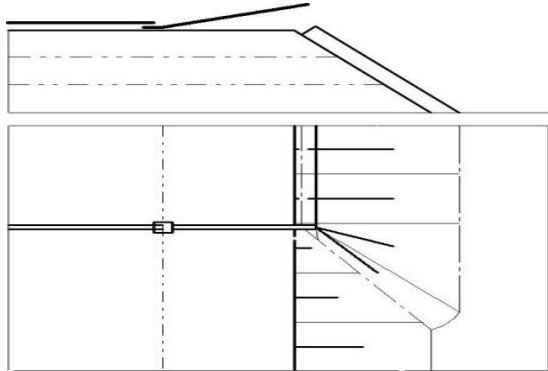
График для расчета прямолинейных откосов
(по Г. Л. Фисенко [59])

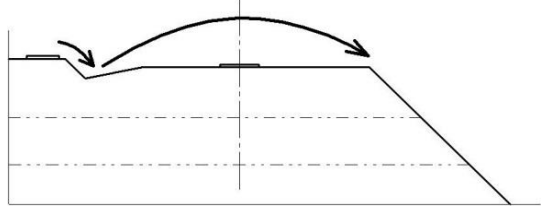
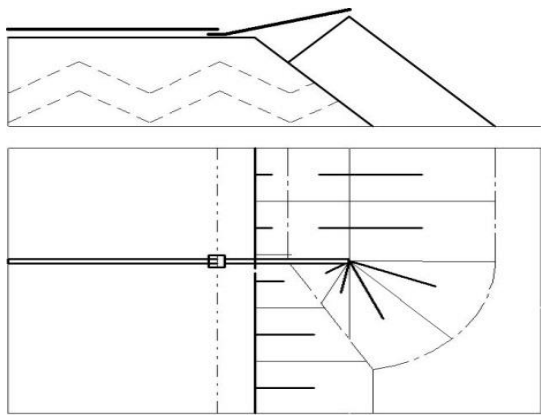
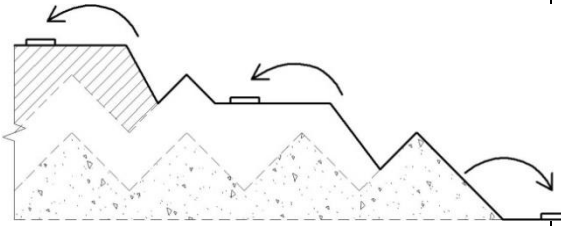
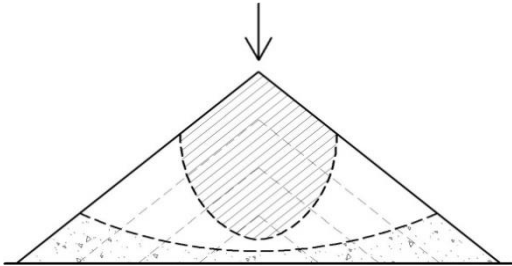
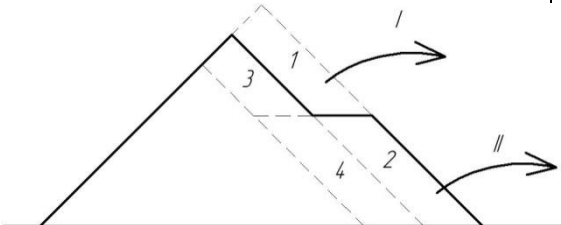


Примечание: для условий п. 3.3 – при угле внутреннего трения $\varphi = 25,4^{\circ}$, коэффициенте сцепления $k = 1,97 \text{ т/м}^2$ и среднем значении объемного веса горной породы $\gamma = 2,5 \text{ т/м}^3$ $\beta_0 = 32^{\circ}$ предельная высота в безразмерных координатах составит $H' = 25,2$, а высота отвала $H = (H' \times k) / \gamma = 20,4 \text{ м}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

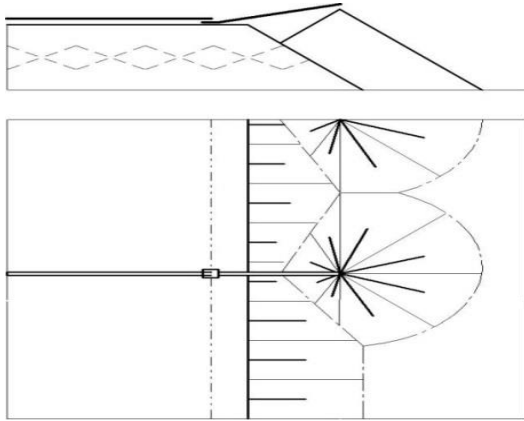
Схемы разработки техногенных месторождений в зависимости от формирующих технологических комплексов оборудования и эффективности разделительного процесса на откосе по параметру $R_{cp(отн)}$

Требуемая степень сегрегации	Технологический комплекс оборудования, который формирует техногенное образование	Рекомендуемые технологические схемы и оборудование для разработки техногенного месторождения
1 – Высокая ($R_{cp(отн)} > 1,2$)	<p>1.1</p>  <p>Разгрузка автосамосвалов на откос (основной объём сыпучих горных пород постоянно разгружается на откос),</p>	<p>а.</p> <p>Сплошная отработка отдельными горизонтальными слоями, параметры которых обеспечивают требуемые потребительские качества товарной продукции</p> 
	<p>1.5</p>  <p>Разгрузка горной массы одноковшовым погрузчиком на откос</p>	<p>Рекомендуемые схемы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - с применением экскаваторов типа ЭКГ, ЭГ, ЭР с верхним черпанием сыпучих горных пород и погрузкой в средства транспорта;
	<p>1.3</p>  <p>Отсыпка производится при минимальном вылете отвальной консоли (1 – 2 м) относительно верхней бровки яруса отвала</p>	<ul style="list-style-type: none"> - с применение одноковшовых колесных погрузчиков (ПК) в качестве выемочного или выемочно-транспортного оборудования; - с применением бульдозеров в комплексе с ПК; - с применением экскаваторов типа ЭШ, ЭГО с нижним черпанием и погрузкой в средства транспорта, установленного на горизонте установки экскаватора или на нижележащем горизонте; - с применением самоходных скреперов.

<p>1.4</p>	 <p>Сыпучие горные породы перелопачивается драглайном с нижней отсыпкой на ширину отвального тупика</p>	<p>То же.</p>
<p>1.2</p>	 <p>Формирование насыпи в форме хребтового штабеля при постоянной отсыпке максимальном вылете отвальной консоли относительно верхней бровки основного штабеля</p>	<p>б.</p> <p>Сплошная отработка отдельными слоями с хребтовой формой изоперфорированных поверхностей, которые разделяют массив техногенного месторождения на объемы различного потребительского качества</p>  <p>Эффективно применение экскаваторов типа ЭШ, ЭГО, одноковшовых колесных погрузчиков (ПК)</p>
<p>1.6</p>	 <p>Формирование насыпи в форме конуса или хребтового штабеля путем непрерывной подачи сыпучих горных пород (формирование в структуре образования «обелиска»)</p>	<p>в.</p>  <p>Селективная отработка отдельных массивов техногенного месторождения в последовательности, которая учитывает положение горной массы с соответствующими качественными показателями конечного продукта.</p>

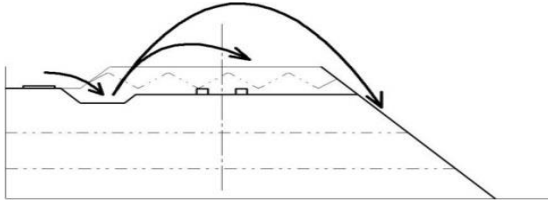
2 – Средняя (допускается выделение отдельной крупности или крайних классов, $R_{ср(отн)} = 1,05 \div 1,2$)

2.1



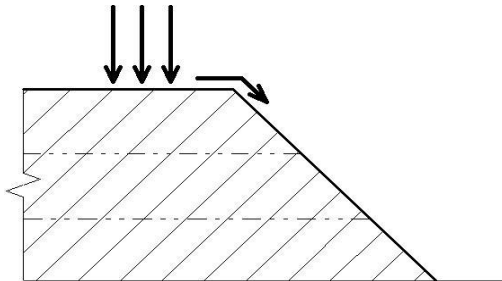
Формирование отдельных насыпей в форме конуса до проектной высоты при максимальном вылете отвальной консоли относительно верхней бровки яруса отвала с последующей планировкой

2.2



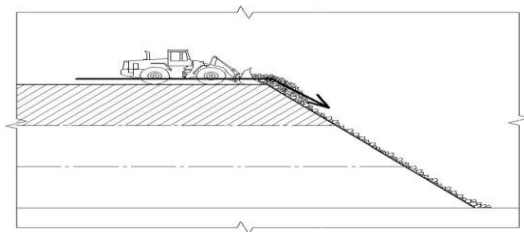
Горная масса перелопачивается экскаватором в нижний и в верхний подступы заходки на ширину отвального тупика

2.3



Разгрузка автосамосвалов на поверхность образования (площадная разгрузка). Планировочные работы (основной объем пород бульдозером сталкивается под откос)

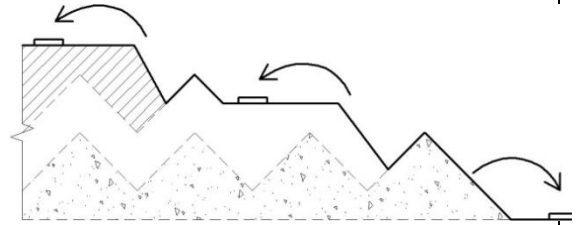
2.4



Разгрузка сыпучей горной породы погрузчиком на бровку с последующим сталкиванием горной массы под откос

г.

Отработка верхнего слоя с содержанием преимущественно мелких фракций и сложной формой основания – изоповерхности, которая отделяет его от слоя горных пород с невыраженным разделением по крупности.

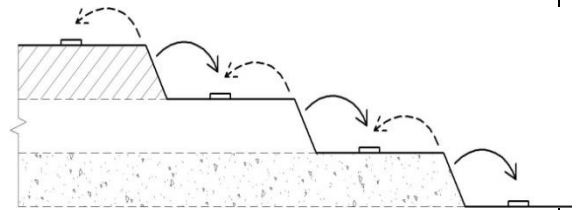


Эффективно применение экскаваторов типа ЭШ, ЭГО, одноковшовых колесных погрузчиков (ПК).

Отработку среднего и нижнего слоя рекомендуется производить по схеме а. Применение роторных экскаваторов и конвейерного транспорта может быть ограничено размером среднего куска горной породы $d_{ср}$, который характерен для данного слоя.

д.

Отработка верхнего слоя с содержанием преимущественно мелких фракций до основания, которое отделяет его от слоя горных пород с невыраженным разделением по крупности.

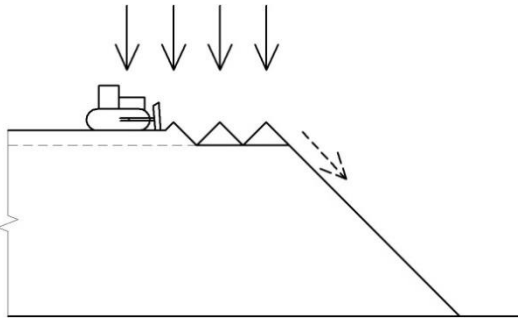


Эффективно применение экскаваторов типа ЭКГ, ЭШ, ЭГ, ЭГО, ЭР, самоходных скреперов, одноковшовых колесных погрузчиков (ПК) и бульдозеров в комплексе с ПК

Отработку среднего и нижнего слоя рекомендуется производить по схеме а. Применение роторных экскаваторов и конвейерного транспорта может быть ограничено размером среднего куска горной породы $d_{ср}$, который характерен для данного слоя.

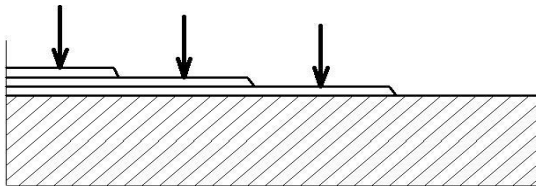
3 – Низкая (разделение по крупности нежелательно)

3.1



Разгрузка автосамосвалов на поверхность техногенного образования (площадная разгрузка). Планировочные работы (основной объём горных пород планируется бульдозером, малая часть сталкивается под откос),

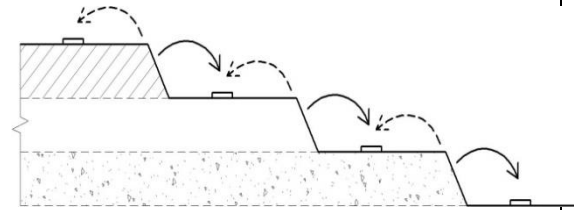
3.2



Формирование техногенного образования путем послойной укладки сыпучих горных пород

е.

Сплошная отработка отдельными горизонтальными слоями.



Эффективно применение экскаваторов и другого погрузочного и погрузочно-транспортного оборудования будет ограничено первоначальными свойствами складываемых пород.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д



АКТ

Внедрения результатов диссертационной работы Кустова Владимира Васильевича на тему: «Обоснование рациональных параметров технологии формирования и разработки техногенных месторождений сыпучих горных пород», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Этим актом подтверждается, что производственно-коммерческим обществом ограниченной ответственности «ВИДИС» внедрены следующие результаты диссертационной работы Кустова В.В. на тему: **«Обоснование рациональных параметров технологии формирования и разработки техногенных месторождений сыпучих горных пород»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)», а именно:

- способы формирования конусообразного и хребтового штабеля известняка обычного различных классов крупности на складах готовой продукции;
- методика определения зональной структуры штабеля по параметру среднего относительного размера куска – $R_{ср(отн)}$ и параметров зон соответствующего потребительского качества для различных классов крупности сыпучих пород;
- технология выемочно-погрузочных работ при разработке техногенных месторождений карбонатного сырья;
- технология раздельной разгрузки напольных складах готовой продукции конусообразной и хребтовой формы.

Использование перечисленных рекомендаций и технологических решений при корректировке проекта разработки техногенных месторождений (отходов переработки известняков и доломитов на ДОФ №1, №2 и №3 ЧАО «ДФДК») горного раздела и разделов переработки сырья и работ на складах готовой продукции позволило уменьшить нагрузку на цех грохочения на 15%. За счет уменьшения объемов повторного пересева на 12 %, снижена себестоимость конечного продукта на 8 – 10%. Прогнозируемый экономический эффект от внедрения предложенных технологических решений составит 10 544 тыс.руб.

Главный инженер

Главный бухгалтер



Диссертационный совет Д 01.008.01 при
Донецком национальном техническом
университете

СПРАВКА

О внедрении результатов исследований диссертационной работы
Кустова Владимира Васильевича на тему: «Обоснование рациональных
параметров технологии формирования и разработки техногенных
месторождений сыпучих горных пород», представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

В ПК ООО «ВИДИС» на основании «Методики создания техногенных
залежей на базе отвалов и шламонакопителей горнодобывающих и горно-
обогачительных предприятий» внедрены схемы формирования насыпных
напольных складов готовой продукции (известняки флюсовые марок Ч и ЧД
для доменного и марок С-1, М-1, Ф-1 для сталеплавильного производства)
конусообразной и хребтовой формы и схемы раздельной разгрузки складов, с
учетом зональной (по параметру «средней относительной крупности куска
материала») структуры штабеля. Ожидаемый экономический эффект от
внедрения предложенных технологических решений составит 10 544 тыс. руб.

Директор
ПК ООО «ВИДИС»



В.И. Сагалевиц

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

УТВЕРЖДАЮ
Председатель Правления
ЧАО «Докучаевский флюсо-
доломитный комбинат»



С.А.Онищенко
2014 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ПК ООО «Видис»




В.И. Сагалевиц
2014 г.

СОГЛАСОВАНО
Зам. директора ИГТМ им. Н.С. Полякова
НАН Украины
докт. техн. наук



А.П. Круковский
2014 г.

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной работе
ГВУЗ «НГУ»
член-корреспондент НАН Украины



А.С. Бешта
2014 г.

МЕТОДИКА
создания техногенных залежей на базе отвалов и
шламонакопителей горнодобывающих и горно-
обогачительных предприятий

Зав. отделом ИГТМ
им. Н.С. Полякова НАН Украины
докт. техн. наук, проф.



М.С. Четверик

Зав. кафедрой ГВУЗ «НГУ»
докт. техн. наук, проф.



И.Л. Гуменик

Доцент кафедры ОГР
ГВУЗ «НГУ»



В.В. Кустов

Днепропетровск - Докучаевск
2014

ПРИЛОЖЕНИЕ К

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ГОУВПО «ДонНТУ», д.т.н., проф.

Ю.Ф. Булгаков

« » 20 г.

АКТ

внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы соискателя кафедры «Строительство зданий, подземных сооружений и геомеханика» ГОУВПО «ДонНТУ» Кустова В.В.

«ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЫПУЧИХ ГОРНЫХ ПОРОД»

Научные результаты диссертационной работы В.В. Кустова используются при подготовке специалистов специальности 21.05.04 – «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство» при изучении курсов «Механика горных пород», «Основы горного дела. Строительная геотехнология» и «Технология строительства карьеров», а также при научной деятельности, включая подготовку аспирантов.

Декан горного факультета,
Заведующий кафедрой «Строительство
зданий, подземных сооружений
и геомеханика»,
д.т.н., проф.



С.В. Борщевский