

**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 ТЕХНОЛОГИИ  
ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕ-  
НИЙ СЫПУЧИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2017 г.

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк.

- Научный руководитель - **ЛАБИНСКИЙ Константин Николаевич**, доктор технических наук, доцент, ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, профессор кафедры «Строительство зданий, подземных сооружений и геомеханика»
- Официальные оппоненты: - **ПРОКОПОВ Альберт Юрьевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», г. Ростов-на-Дону, заведующий кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»,
- **ГОЛИК Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет)», РСО-Алания, г. Владикавказ, профессор кафедры «Горное дело»;
- Ведущая организация - **ООО Научно-технический центр «Наука и практика»**, г. Ростов-на-Дону.

Защита состоится «14» апреля 2017 года в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д01.008.01 при ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, I учебный корпус, к. 203. Тел. факс: 380 (62) 304-30-55, e-mail: vchenarada@donntu.org

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, II учебный корпус. Адрес сайта университета: <http://donntu.org>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д01.008.001  
доктор технических наук, профессор



И.А. Бершадский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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. м<sup>3</sup> 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 крупностью сырья на складах готовой продукции. Вынужденное попадание полезного ископаемого в отходы, необходимость повторного пересейвания 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 месторож-

дений» (№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 разделительных 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. Предложена 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 цилиндриче-

ской 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, соответствующего 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. Днепрпетровск, 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 152 страницы основного текста, 65 рисунков, 18 таблиц. Общий объем 182 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первом разделе** выполнен анализ объемов и состава отходов открытой разработки месторождений полезных ископаемых с учетом их функциональной предназначенности, выполнен обзор результатов исследований в области формирования и разработки техногенных месторождений. В большинстве работ рассматриваются вопросы, связанные с управлением процесса формирования отвалов на открытых горных работах для обеспечения их устойчивости или для решения вопросов рекультивации. Недостаточно изучены вопросы формирования техногенных месторождений с заданной структурой для последующей их разработки, в особенности тех, что представлены отходами переработки обогатительных фабрик горных предприятий и вынужденно укладываются в отвалы.

В отвалы обогатительных фабрик горно-металлургических предприятий Донбасса ежегодно складывается порядка 2,5 млн. м<sup>3</sup> сухих отходов переработки флюсов, которые представляют сыпучую горную массу с новыми технологическими свойствами, но с химическим составом подобным полезному ископаемому. При создании условий выделения из подобных отвалов материалов определенных крупностей, подобные образования могут служить дополнительным источником минерального сырья.

Показано, что существенное влияние на структуру техногенного образования, товарную ценность его структурных элементов, устойчивость массива в целом оказывает степень проявления сегрегации сыпучих горных пород, которая в свою очередь зависит от технологии отвалообразования. Недостаточная изученность закономерностей сегрегации и влияния технологии отвалообразования на степень проявления сегрегации в сыпучих горных породах не позволяет прогнозировать структуру техногенных месторождений с целью эффективной разработки их в будущем.

На основании обобщения теоретических основ управления процессами сегрегации горных пород предложена теоретическая концепция кинетики процесса сегрегации дробленого скального материала при отсыпке отвалов. В основе этой концепции лежит модель перемещающейся горной массы как некоего образования, которое претерпевает различные фазные переходы при движении по поверхности с углом естественного откоса.

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

На основании проведенного анализа современных достижений науки и практики открытой разработки месторождений полезных ископаемых сформулированы вышеуказанные цель и задачи исследований.

**Во втором разделе** установлены закономерности процесса сегрегации при формировании техногенных образований.

Лабораторные исследования проводились на специально разработанном стенде (рис. 1).

По результатам исследований установлено следующее:

1. При отсыпке штабеля из сыпучих горных пород происходит перераспреде-

ление масс по крупности материала в теле штабеля. В верхней части штабеля доминирует мелкая фракция, в нижней части – крупная. Отсыпка производится наклонными слоями, а распределение масс по крупности формирует слои, параллельные основанию штабеля. В поперечном сечении штабеля выделяются три зоны формирования его внутренней структуры (рис. 2): 1-я – прилегает непосредственно к пионерной насыпи и ограничивается поверхностью с углом естественного откоса; 2-я – занимает основной объем штабеля и характеризуется устоявшимся соотношением масс различных фракций; 3-я – зона отсыпки непосредственно прилегает к поверхности штабеля.

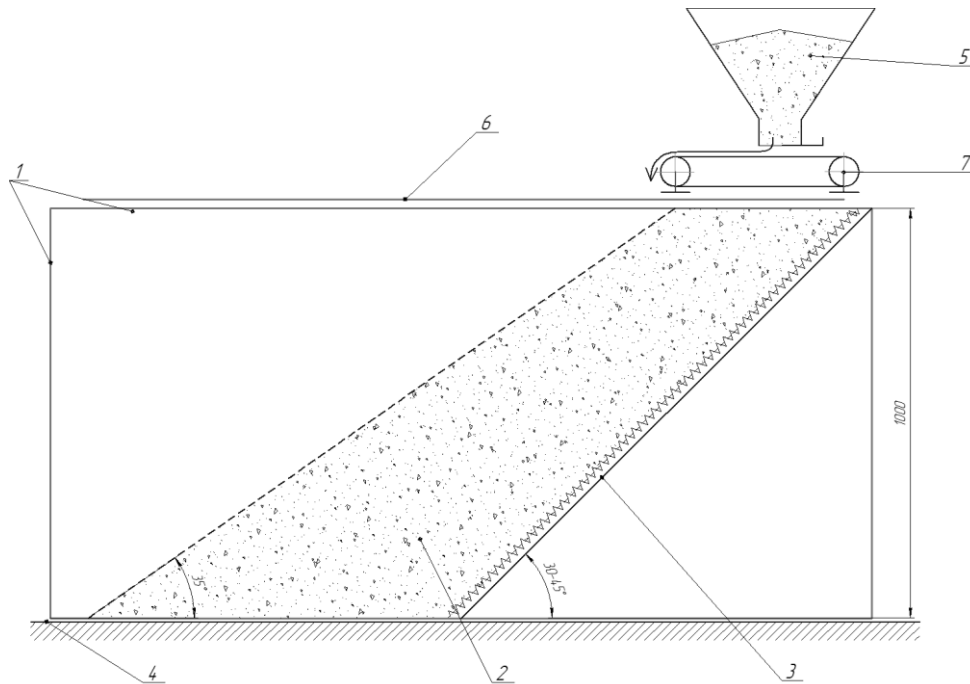


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда:

1 – каркас коробка; 2 – передняя стенка коробка; 3 – плоский наклонный щиток с переменным углом установки; 4 – горизонтальное основание; 5 – бункер; 6 – направляющие; 7 – питатель



Рисунок 2 – Распределение и плотность укладки сыпучих горных пород в передней части штабеля (вид с боку)



2. Разделительная способность наклонной поверхности зависит от степени рассредоточенности частиц исходного материала в начальный момент движения по откосу. Степень рассредоточенности частиц возрастает по мере сползания горной массы по откосу. Из этого следует, что формирование техногенных месторождений предпочтительнее производить оборудованием, которое обеспечивает наибольшую рассредоточенность частиц горной массы при отсыпке на откос.

3. Разделительная способность поверхности откоса увеличивается по мере возрастания высоты штабеля до определенного значения, что позволяет сделать вывод о существовании минимальной высоты наклонной поверхности, которая обеспечит максимально возможное раскрытие исходного материала по крупности.

4. По мере отсыпки сыпучих пород происходит формирование угла естественного откоса насыпи. Угол откоса определяется, в основном, классом крупности и влажностью и не зависит от способа формирования насыпи (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость угла естественного откоса 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'

5. Кривизна поверхности откоса техногенного формирования, сложенного из сыпучих горных пород, определяется распределением масс по крупности и влажностью слагающих пород. На рис. 3 изображены поверхности откосов техногенного месторождения, сформированного в результате отсыпки горных пород заданной крупности (табл. 1) при различной влажности.

Аналитическая зависимость между углом естественного откоса и гранулометрическим составом сыпучей горной породы представлена на рис. 4.

Результаты физического моделирования процесса сегрегации сыпучих пород позволили разработать требования для математической модели сегрегации.

Моделирование процесса сегрегации осуществляется на основании фундаментальных законов теоретической механики, при соблюдении следующих требований:

- математическая модель учитывает характеристики горной массы (гранулометрический состав, связность элементов, геометрическую форму и физические свойства частиц);

- характер взаимодействия между частицами и особенности взаимодействия

этих частиц с основанием и стенками бункера учитывает гравитационную составляющую, которая пропорциональна  $R^3$ , реакцию опоры при взаимодействии кусков между собой и с ограничивающими поверхностями и влияние среды, которые пропорциональны  $R^2$ . Отсыпка частиц и взаимодействие между ними происходит в соответствии с законом нормального распределения – законом Гаусса. Взаимодействие между частицами происходит на эффективных радиусах  $R_i$ , которые в первом приближении пропорциональны  $V_i^{1/3}$   $i$ -ой частицы – (рис. 5).

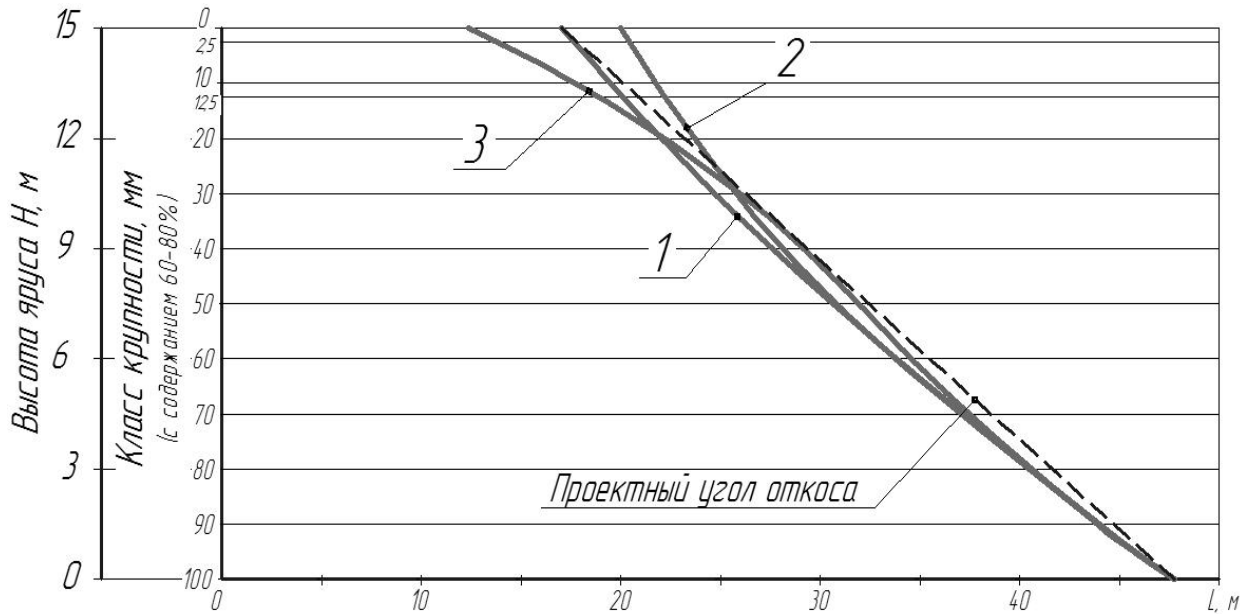


Рисунок 3 – Форма откоса в зависимости от грансостава и влажности материала:  
1 – естественной влажности; 2 – влажных; 3 – мокрых

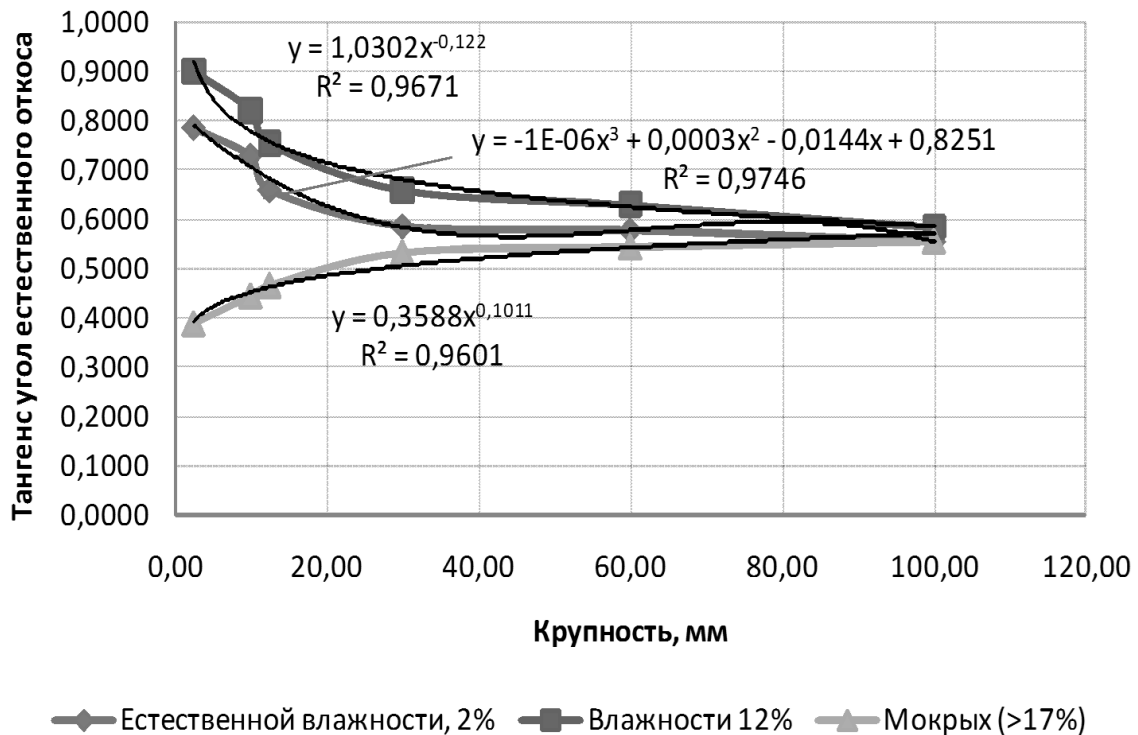


Рисунок 4 – Изменение угла естественного откоса штабеля от класса крупности и влажности материала

– модель адаптирована к реальным схемам формирования техногенных объектов, что обеспечивается возможностями моделировать программой Matlab необходимый гранулометрический состав, производительность разгрузочного устройства, ширину разгрузочного устройства и, в известных пределах, характер взаимодействия между элементами системы.

Результатом моделирования является получение зависимости между величиной  $R_{cp}$ , характеризующей крупность сыпучего материала, и положением элементарного объема в массиве насыпного объекта.

Степень раскрытия сыпучего материала по крупности вдоль поверхности откоса (эффективность процесса сегрегации) оценивается средним относительным размером куска  $R_{cp(отн)}$  – параметром, который определяется как отношение среднего размера куска в выделенном объеме (слое) массива насыпи  $R_{cp}$ , к величине среднего размера куска в исходном материале  $R_{cp}^0$ . Скорость изменения величины  $R_{cp(отн)}$  вдоль образующей откоса характеризует разделительную способность откоса и влияние на разделительный процесс технологии отсыпки. Диапазон параметра  $R_{cp(отн)}$  в определенных случаях может коррелироваться с качеством товарной продукции по показателю крупности.

Математическая статистика распределения виртуальных частиц по среднему относительному радиусу  $R_{cp(отн)}$  (при достаточном количестве повторений данного процесса) позволяет получить зависимость среднего относительного размера «куска» породы ( $R_{cp(отн)} = R_{cp}/R_{cp}^0$ ) от положения относительно оси и основания конуса (рис. 6).

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

Эксперименты, выполненные на напольных складах готовой продукции и на лабораторном стенде, позволили оценить минимальную высоту яруса для эффективного разделения исходного материала крупностью 0 - 5 мм, 5 - 20 мм, 20 - 50 мм, 50 - 80 мм, 80 - 120 (130) мм (табл.2).

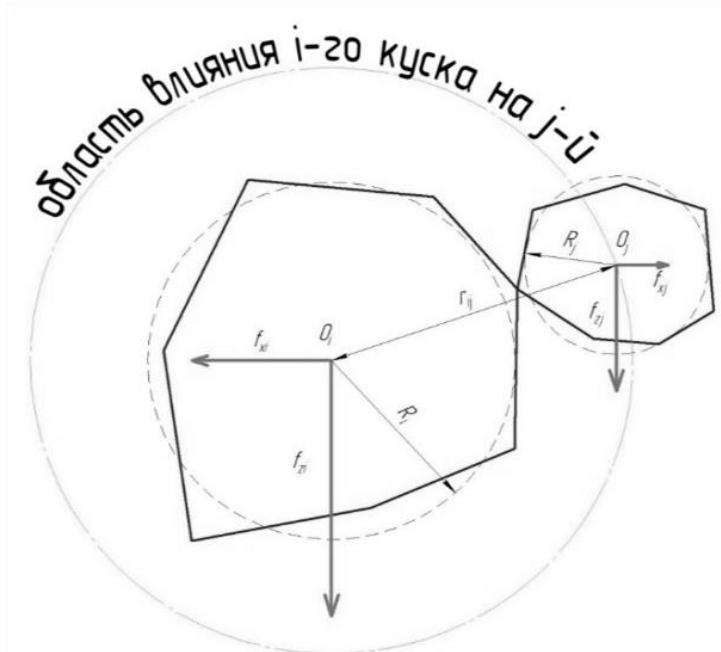


Рисунок 5 – Схема взаимодействия кусков породы

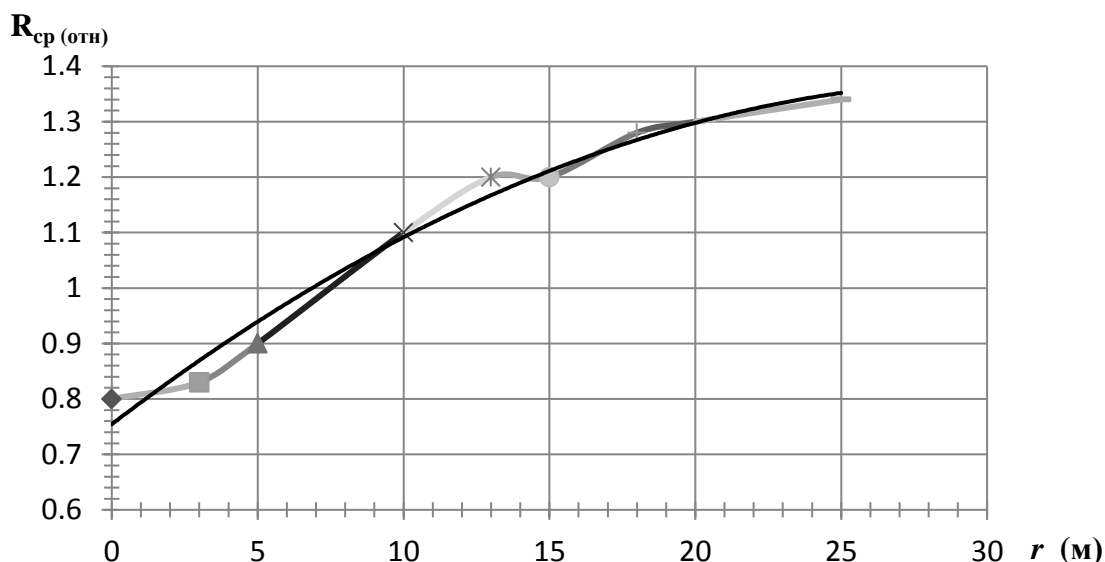


Рисунок 6 – Зависимость величины  $R_{ср(отн)}$  элементарного объема сыпучего материала от его удаленности от оси конуса –  $r$  на горизонте основания конуса

Таблица 2 – Влияние высоты насыпи на величину параметр  $R_{ср(отн)}$  у основания насыпи

Высота образования, м	Крупность исходного материала, мм				
	0 - 5	0 - 20	20 - 50	40 - 80	80 - 120(130)
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

Полученные зависимости между параметром  $R_{ср(отн)}$  и высотой откоса яруса, на котором происходит раскрытие по крупности исходного материала (рис. 7), показывают естественную тенденцию увеличения высоты яруса с ростом максимального размера куска, с одной стороны, а с другой, наличие минимальной высоты откоса при которой параметр  $R_{ср(отн)}$  стабилизируется.

Это позволило установить значения минимальной высоты штабеля, которые обеспечивают максимальную стратификацию по крупности для различного вида сырья. Зависимость (рис. 8) высоты штабеля от максимального размера куска  $d_{max}$  нормативной крупности для товарной продукции имеет логарифмический вид (5):

$$H_{min} = 3,327 \ln(d_{max}) - 0,6014 \quad (5)$$

Для произвольно выбранного элементарного слоя конусообразной насыпи закон распределения гранулометрического состава исходного материала в цилиндрических координатах имеет вид (6):

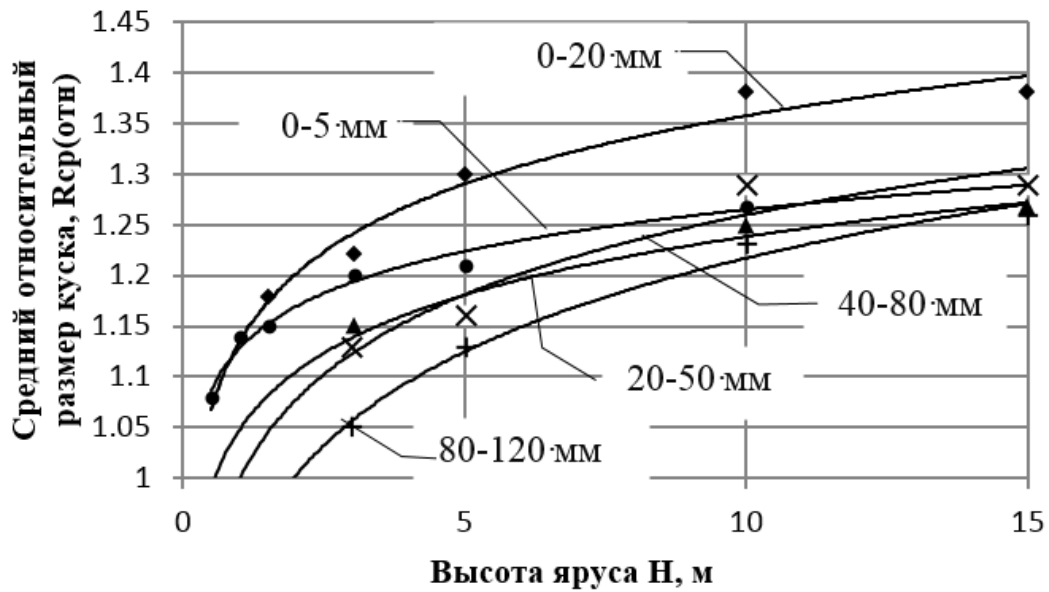


Рисунок 7 – Зависимость раскрываемости по параметру  $R_{cp(отн)}$  от высоты яруса  $H$

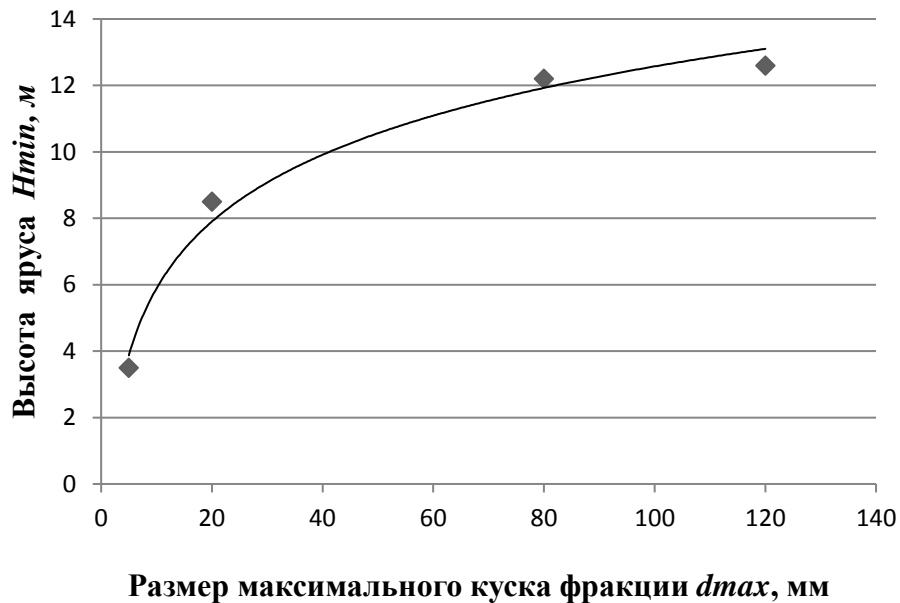


Рисунок 8 – Зависимость минимальной высоты яруса  $H_{min}$ , обеспечивающей максимально возможное раскрытие материала по крупности, от максимального размера куска  $d_{max}$

$$R_{cp} = (R_{max} \times (H-h)^2 / H^2) \times ((1 - R_0 / R_{max} \times \exp(-r^2 / H^2 \times \text{ctg}^2 \alpha)) + A(\rho) R_0^3 - B(\text{tg}(\varphi)) R_0^2 + C(\lambda) R_0 + R_{min} / R_{max}), \quad (6)$$

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, пропорциональные плотности куска  $\rho$ , коэффициенту внутреннего трения сыпучего матери-

ала  $f = tg\varphi$  и коэффициенту  $\lambda$ , учитывающему особенность формы куска. Размерность коэффициентов А, В и С соответственно равна –  $[м^{-3}]$ ,  $[м^{-2}]$  и  $[м^{-1}]$ .

Для отходов ДОФ №1 ЧАО «ДФДК», отгружаемых на конус, статистика распределения частиц по среднему радиусу  $R_{cp}=f(r,h)$  представлена на рис. 9, а семейство кривых (для  $R_{cp}=const$  при шаге построения  $\Delta h = 0,5$  м и  $\Delta r = 1,0$  м) – на рис. 10. Построение осуществлялось при следующих условиях: параметры насыпи – высота  $H = 5$  м, угол откоса –  $34^\circ$ ; характеристика сыпучего материала –  $R_0=0,85$  мм,  $R_{max}=40$  мм,  $R_{min}=0$  мм.

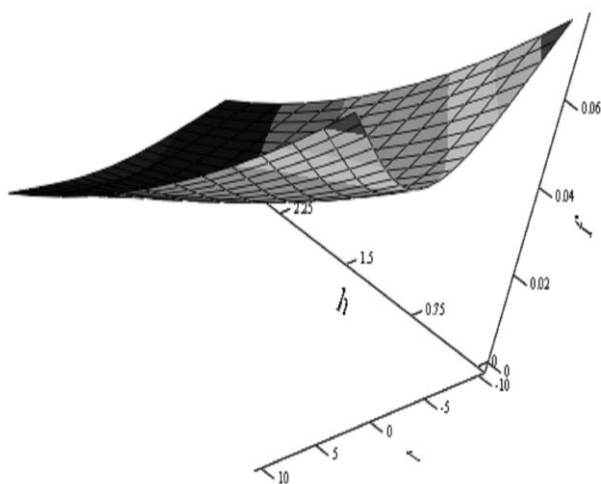


Рисунок 9 – Изменение среднего размера куска породы в техногенном образовании - насыпном конусе

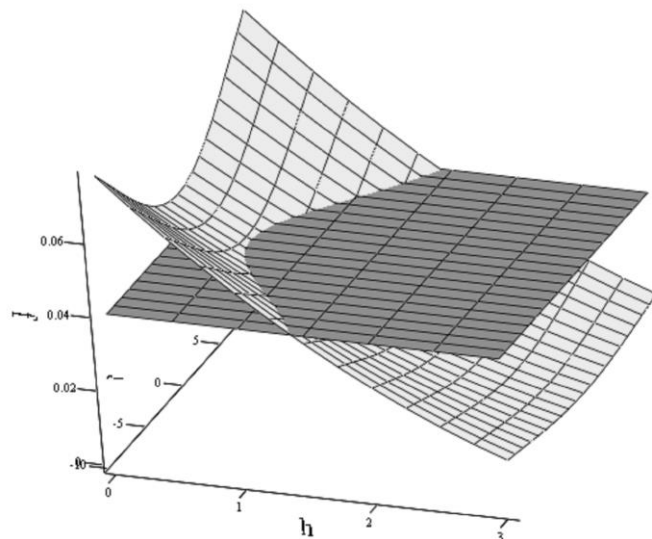


Рисунок 10 – Получение кривых постоянного гранулометрического состава породы в насыпном конусе (для  $R_{max} = 40$  мм)

Область постоянного значения  $R_{cp}$  в теле конуса определяется совместным решением уравнения (6) и уравнения для плоскости  $R_{cp}=f(r,h)=const$

$$h = H - (HR_{cp}) \times (R_{max} - R_0 \exp(-r^2/H^2 \text{ctg}^2 \alpha))^{-0.5}, \quad (7)$$

Установленная в результате моделирования зависимость между средним размером куска породы для выделенного горизонтального слоя от положения этого слоя относительно основания яруса (высоты конуса) позволяет прогнозировать качество сегрегационного эффекта на наклонной поверхности для исходного продукта с заданным гранулометрическим составом. Обработка расчётных и экспериментальных результатов подтверждает адекватность полученной математической модели.

Моделирование отсыпки сыпучего материала, состоящего из зерен различной плотности, приводит к стратификации, которая характеризуется концентрацией в нижнем слое наиболее крупных и массивных зерен, а в верхнем слое – мелких и менее плотных. Для материала, отличающегося по плотности зерен не более 30%, стратификация выражена слабо по отношению к стратификации по крупности (рис. 11).

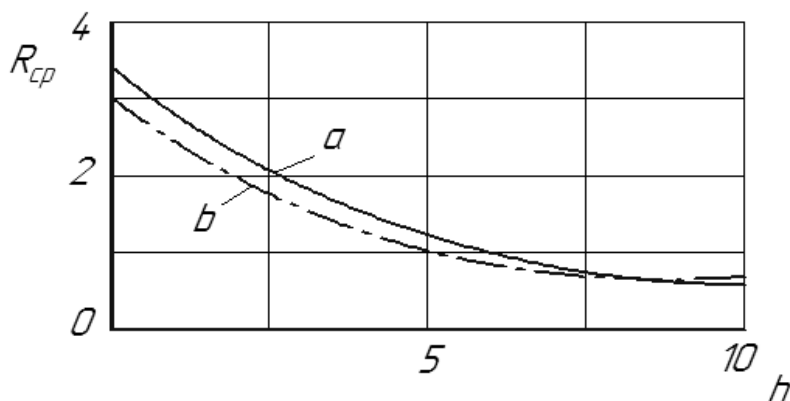


Рисунок 11 – Характер распределения среднего радиуса «кусков» породы по высоте отвала:

а – кривая распределения для случая равной плотности различных кусков материала; б – распределение с учетом утяжеления мелких фракций

Средний размер куска  $R_{ср}$  определяется гранулометрической характеристикой материала, которая в свою очередь характеризует его потребительские свойства. Раскрытие сыпучего материала по крупности вдоль поверхности откоса, т.е. эффективность процесса сегрегации, предлагается оценивать  $R_{ср(отн)}$ . Скорость изменения величины  $R_{ср(отн)}$  вдоль образующей откоса характеризует эффективность применяемой технологии. Диапазон значений величины  $R_{ср(отн)}$  может характеризовать товарную ценность структурных элементов насыпи

В **третьем разделе** выполнено обоснование технологических схем и параметров формирования техногенных месторождений при отсыпке горных пород.

Разработаны схемы рационального применения отвального оборудования при использовании конвейерного и колесного видов транспорта, обеспечивающие максимальную степень сегрегации сыпучих горных пород, высокую производительность оборудования на отвальном участке, минимизацию экологических издержек при соблюдении требований по безопасному ведению отвальных работ.

Выполнено объемное моделирование процесса отвалообразования отходов ДОФ с учетом характера проявления сегрегации (для материала с крупностью 0 - 5

мм – 70%, 5 - 10 мм – 20% и 10 - 25 мм – 10%) с применением программного продукта «AutoCAD 2009». Определены форма и параметры переходных областей между областями различного гранулометрического состава. Выбрана рациональная схема работы – непрерывный поворот поворотного-звеньевой отвалообразователя с минимальным вылетом отвального звена  $l_{зв} = 1 - 2$  м (рис. 12).

Выполнен выбор оборудования и расчет схемы использования карьерных погрузчиков в качестве выемочно-погрузочного и погрузочно-транспортного оборудования для формирования техногенного

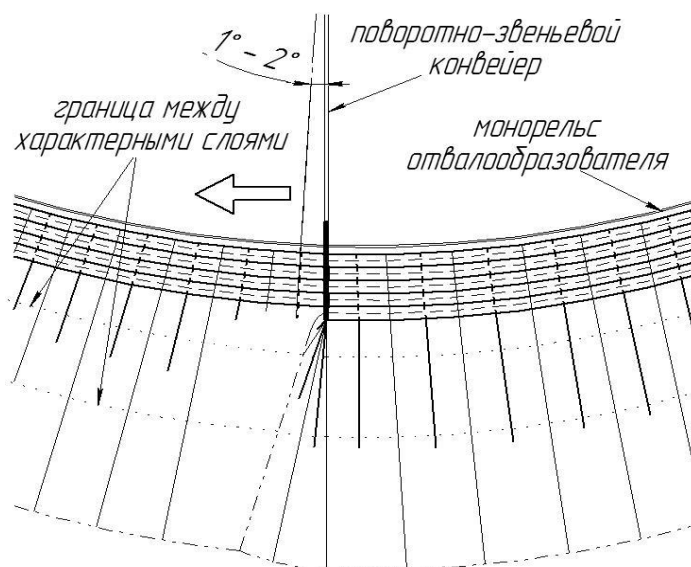


Рисунок 12 – Формирование отвала с непрерывным поворотом конвейера и малым вылетом отвальной консоли

месторождения металлургических флюсов в условиях ДОФ №1 ЧАО «ДФДК».

Показано, что стратификация по крупности, при обеспечении параметров разработанной технологии отсыпки, обеспечивает повышение коэффициента запаса устойчивости  $F$  на 12% по сравнению с расчетным (по Петерсону-Фелениусу) за счет естественного контрфорса (рис. 13).

Это может служить основанием корректировки коэффициента запаса устойчивости для безопасного повышения высоты ярусов внешних и внутренних отвалов скальной вскрыши флюсовых карьеров на 1,5м.

**Четвертый раздел** посвящен использованию результатов исследований для повышения эффективности разработки техногенных месторождений металлургических флюсов.

С целью уменьшения материальных и финансовых потерь, сокращения объемов конечного продукта, требующих дополнительной переработки – грохочения, разработаны схемы разгрузки напольных складов (для крупности 40 - 80 мм) конусной и хребтовой формы с учетом методики определения их внутренней структуры.

Структура техногенного образования в виде насыпного конуса для фракции 40 - 80 мм известняка обычного, с превышением допустимого предела по классу – 40 мм более 5%, определена по схеме, представленной на рис. 14.

Положение поверхностей предельных значений соответствующей крупности относительно основания насыпи определяются параметрами  $H_{1,2}$ , которые в цилиндрических координатах ( $H, r$ ), соответствуют (8):

$$H_{1,2} = H - (H d_{cp1,2}/2) \times (d_{max} - d_{cp1,2}/2 \times \exp(-r^2/H^2 \text{ctg}^2 \alpha))^{-0.5}, \quad (8)$$

где  $d_{cp1}$  и  $d_{cp2}$  - средний размер куска исходного материала и средний размер куска кондиционного материала соответственно, мм.

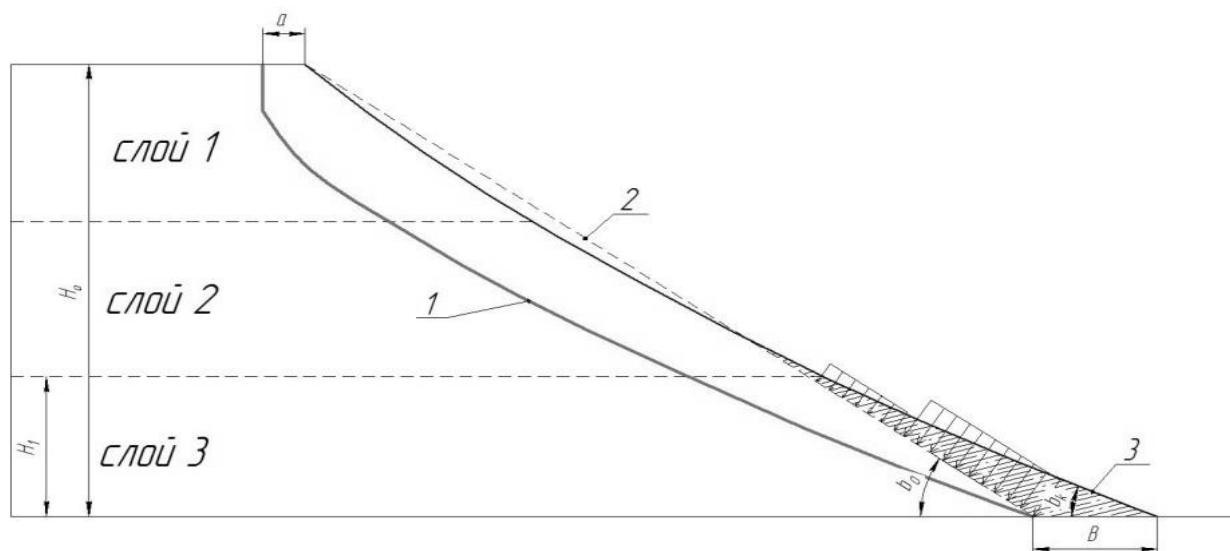


Рисунок 13 – Схема расчет параметров для естественного контрфорса для предотвращения поверхностных и фильтрационных деформаций:

1 – поверхность скольжения, 2 – прямолинейный откос, 3 – фактическая линия откоса



Для склада, представленного сыпучей горной породой крупностью 40 - 80 мм, при  $d_{cp1}=56,2$  мм и  $d_{cp2}=57,7$  мм получим для исходного сырья  $H_1 = 9,2$  м, а для кондиционного сырья  $H_2 = 8,4$  м. Высоты определены относительно основания склада вдоль оси техногенного образования (рис. 14).

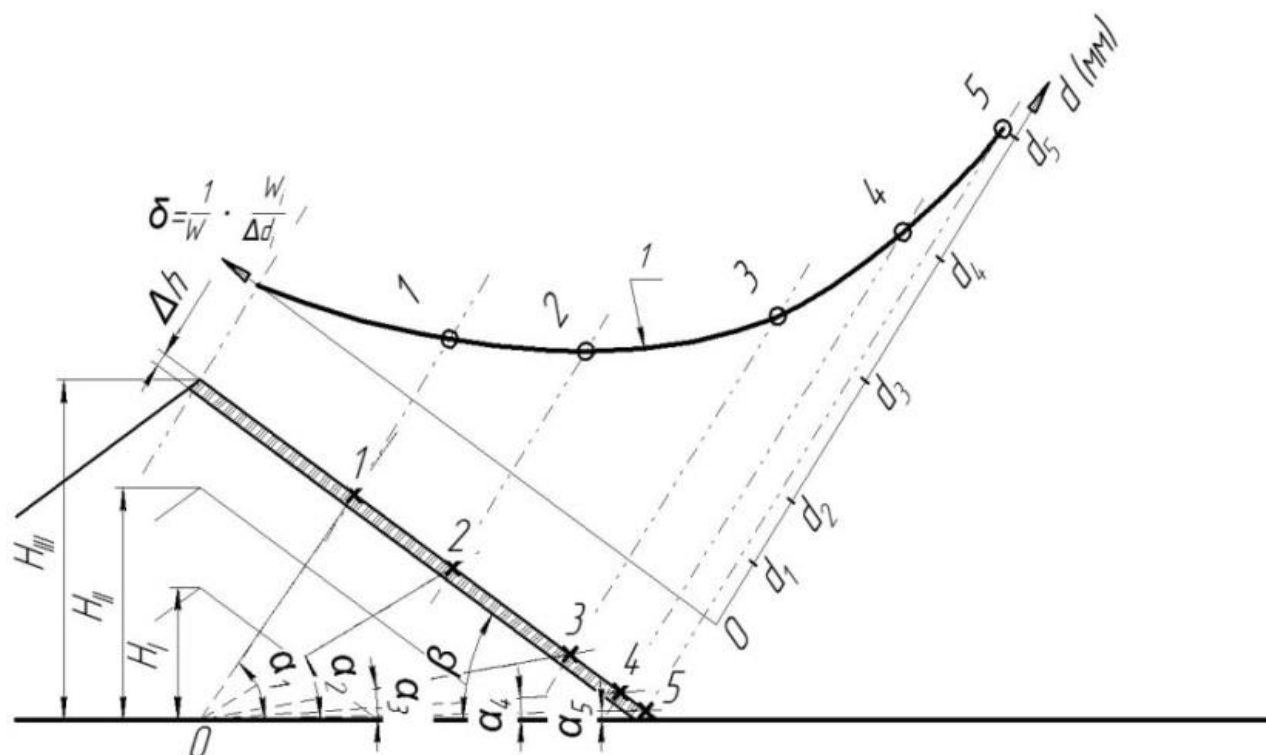


Рисунок 14 – Схема к определению распределения сыпучего скального материала по крупности в тонком слое  $\Delta h$  откоса насыпного образования на основе кривой распределения частностей весовых выходов  $\delta = f(d)$ :

$H_1, H_2, H_3$  – этапы образования насыпи;  $\beta$  – угол откоса;  $\alpha_1 - \alpha_5$  – углы, определяющие границы (пределы) для соответствующей крупности

Порядок обработки двухфазного штабеля (рис.15) 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.

Предложены технологии разработки техногенных месторождений различным горнотранспортным оборудованием. При отдельной разгрузке склада фракции 40 - 80 мм известняка обычными горизонтальными слоями с применением традиционного выемочно-погрузочного оборудования (карьерные мехлопаты, роторные экскаваторы, погрузчики), требуется пересейвание 12% горной массы. Для параметров склада ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» это составит 11500 м<sup>3</sup>. Применение грейферной разгрузки снижает потери кондиционного материала от 2 до 4%, что дополнительно экономит до 150 тыс. руб. в год.

Для условий ЧАО «ДФДК» и ПК ООО «Видис» разработана технология создания и последующей разработки техногенных месторождений металлургических

флюсов экскаваторами типа прямая лопата (рис.16). Апробация полученных результатов была произведена на базе ДОФ №1, ЦПТЛ ЧАО «ДФДК» и участка №2 ПК ООО «Видис» для условий складирования щебня фракции 5 - 15мм естественной влажности и 20% содержанием некондиционной крупности – 5 мм.

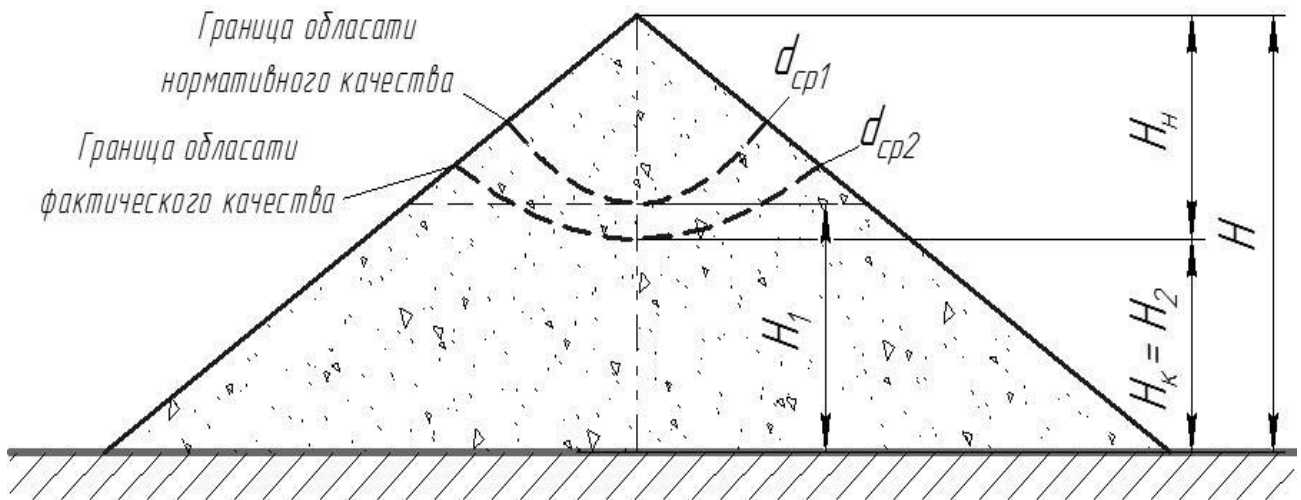


Рисунок 15 – Распределение объема штабеля готовой продукции на области фактического и нормативного качества сырья, определенные по значениям  $d_{cp}$  (обозначены пунктирными линиями)

Применение прямых гидравлических мехлопат позволяет производить первоначальную выемку пород мелких фракций в верхней части откоса, а затем пород крупных фракций в нижней части откоса с минимальным разубоживанием полезного ископаемого (рис. 17).

Разработана схема раздельной разгрузки техногенного месторождения на участке переработки отходов ДОФ №1 ЧАО «ДФДК» и участке № 2 ПК ООО «Видис» с применением роторных экскаваторов.

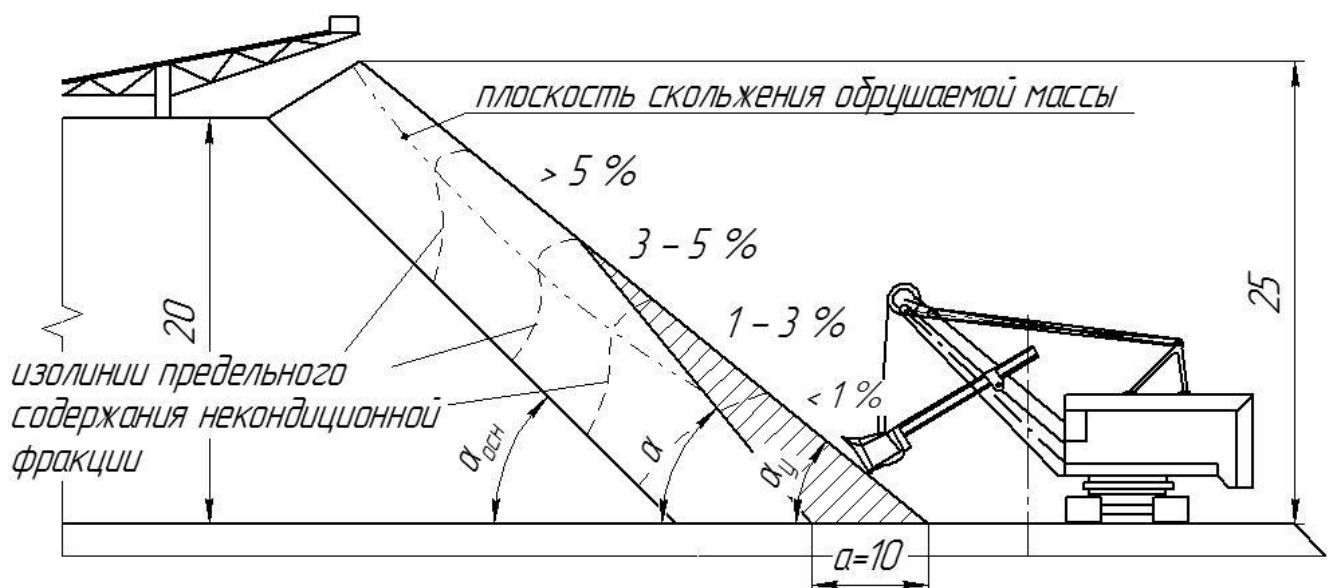


Рисунок 16 – Схема обработки кондиционной области (фракция 5 - 15мм) с поверхности конуса отвала

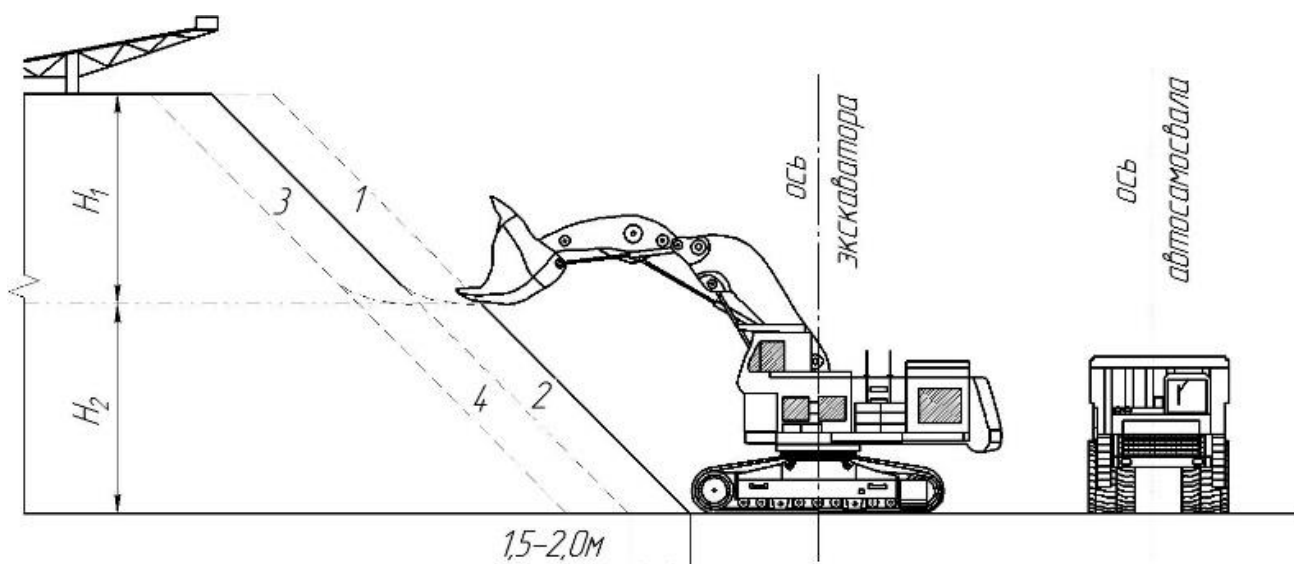


Рисунок 17 – Схема последовательной отработки горных пород после сегрегационного разделения на откосе  
1, 3-мелкая фракция; 2,4 – крупная фракция

Разработан вариант послойной отработки массива техногенного месторождения с использованием мобильного оборудования (погрузчиков) по схеме работы на двух уступах. 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

Ожидаемый экономический эффект от внедрения предложенных решений для ПК ООО «Видис» и ЧАО «ДФДК» составит 10 544 тыс. руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой получено решение актуальной научно-практической задачи по разработке технологии формирования техногенных месторождений с прогнозируемой структурой и качественными показателями на основании установленных закономерностей сегрегации, что позволяет решать задачи по рациональному комплексному использованию минеральных ресурсов, по повторной добыче сырья из отходов горного производства, по уменьшению негативного воздействия горного производства на окружающую среду.

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. Впервые установлена зависимость раскрытия сыпучего материала по крупности от высоты яруса с учетом технологии отсыпки, физико-механических свойств и гранулометрического состава пород.

3. Обоснованы технологические комплексы оборудования и разработаны

схемы работы для обеспечения максимальной раскрываемости исходного флюсового сырья по крупности для достижения требуемого качества конечного продукта. Предлагаемые схемы разгрузки техногенных образований позволят уменьшить до 85% объем горной массы, требующей пересевания.

4. 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.

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

По результатам выполненных исследований разработаны рекомендации по разгрузке напольных складов товарной продукции, которые проверены в условиях ПК ООО «Видис» и ЧАО «ДФДК». Ожидаемый экономический эффект от внедрения предложенных технологических решений составляет 10544 тыс. руб.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*- публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях:*

1. Прогнозирование величины смещения оползня, подработанного массива горных пород / **В.В. Кустов** [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Д., 2005. – №5. – С. 49 – 52.

2. 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.

3. **Кустов, В.В.** Технологические схемы разработки отходов флюсодобывающих предприятий / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Д., 2011. – №1 (266). – С. 88 – 92.

4. 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.

5. 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.

6. **Кустов, В.В.** Влияние особенностей технологического комплекса оборудования на свойства техногенных образований / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Д., 2014. – №2. – С. 60 – 64.

7. **Кустов, В.В.** Управление гранулометрической характеристикой металлургических флюсов на складах товарной продукции ЧАО «Докучаевский флюсо-доломитный комбинат» // *Геотехническая механика*. – Д., 2014. – №118. – С. 149 –

156.

8. **Кустов, В.В.** Формирование техногенных месторождений на основе управления процессом сегрегации / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // Збірник науко-вих праць НГУ. – Д.: Національний гірничий університет, 2013 – №41 – С. 24 – 29.

9. **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.

- *публикации по материалам международных научных конференций:*

10. 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.

11. **Кустов, В.В.** О математическом моделировании процесса сегрегации сыпучих горных пород / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // Тези V Міжнародної наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнології», 19 – 22 березня 2008 року. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – С. 445 – 446.

12. **Кустов, В.В.** Использование сегрегации при разработке техногенных месторождений с целью повышения качества продукции / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // Форум гірників 2009. Матеріали міжнародної конференції. – Д., 2009. – С.171 – 175.

13. **Кустов, В. В.** О проблеме выбора технологий формирования и последующей разработки техногенного месторождения с учетом сегрегации горных пород / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // Форум гірників 2011. Матеріали міжнародної конференції. – Д., 2011. – С.99 – 104.

14. 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 // Форум гірників 2012. Матеріали міжнародної конференції. – Д., 2012. – С. 89 – 95.

#### **Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве:**

[5, 11, 12] – установление математических зависимостей, математического аппарата исследований явления сегрегации, графическая обработка результатов; [2, 3, 9, 13] – анализ схем разработки отходов на флюсодобывающих предприятиях; [1, 4, 10, 14] – анализ особенностей проявления сегрегации в горном деле и влияния сегрегационных проявлений на устойчивость массива; [5] – разработка и создание установки для проведения лабораторных исследований, математическое планирование экспериментов, проведение экспериментов, обработка результатов экспериментов; [6, 7, 12] – установление закономерностей между эффективностью разделительных процессов и качественными показателями товарной продукции флюсодобывающих предприятий; [5, 8, 12] – проведение экспериментов по определению влияния крупности исходного материала и особенностей отсыпки на качественные характеристики техногенного образования, определение параметров технологических схем обеспечивающих максимальное раскрытие горной порода по крупности

на откосе отвала; [14] – выбор и обоснование технологий формирования и последующей разработки техногенного месторождения с учетом сегрегации горных пород.

«Подписано в печать 10.02.2017. Формат 60x84x1/16.  
Усл. печ. л. 1,0. Печать лазерная. Заказ № 002/17Т. Тираж 120 экз.  
Отпечатано в ООО «Технопарк» Университетские технологии»  
на цифровых издательских комплексах  
Rank Xerox DocuTech 135 и DocuColor 2060.  
Свидетельство о регистрации №142242 от 21.10.2015 г.  
283001, г. Донецк, ул. Артема, 51,  
тел. (062) 304-92-51