

На правах рукописи



СЕМЁНОВА Ксения Михайловна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ГИДРООТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПОДАЧИ
ВЫСОКОНАСЫЩЕННЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ С УЧЕТОМ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

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

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

Москва 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ-РГГРУ.

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Дробаденко Валерий Павлович

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Московский государственный
горный университет
Ялтанец Иван Михайлович

Кандидат технических наук
ЗАО «Метсо Минералз СНГ»
Кондрашов Анатолий Иванович

Ведущая организация: ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»

Защита состоится «30» октября 2013 года в 13 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.121.08 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, МГРИ-РГГРУ, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

Автореферат разослан «25» сентября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, профессор



Холобаев Е.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Гидроотвально-хвостовое хозяйство горно-обогатительных и горно-металлургических предприятий, включающее намывные сооружения, в которых уложены миллиарды кубических метров вскрышных пород и отходов обогащения занимает огромные площади земельных ресурсов. В результате они изымаются из хозяйственного использования на более длительный период по сравнению с отвалами, образуемыми сухоройной техникой.

Несмотря на эффективность гидромеханизированной технологии разработки месторождений полезных ископаемых в целом, гидроотвалы, как ее составная часть, характеризуются сравнительно большой землеемкостью, что способствует дефициту земельных ресурсов, вследствие чего регионы страны терпят экономический и экологический ущерб из-за нерационального использования недр.

Намыв гидроотвалов и хвостохранилищ производится в основном грунтонасосами различных типов, которые транспортируют гидросмесь с низкой объемной концентрацией твердого (10-15%), что формирует за счет фракционирования твердых частиц пологие уклоны намываемой поверхности. Вследствие этого увеличивается длина надводного откоса, что приводит к потере значительных площадей земли, занимаемых этими намывными сооружениями.

В настоящее время интенсивно проводится поиск и разработка технических средств и технологий складирования сгущенных отходов обогащения и гидросмесей вскрышных пород, подаваемых в отвал, позволяющих увеличить объем намывных сооружений. К ним относятся различные методы сгущения: гравитации, инерции, фильтрации, коагуляции и комбинации этих факторов в различных вариантах, а также гидроциклоны, различного вида грунтоукладчики и другие механизмы. Однако, для перемещения сгущенной пульпы (пасты) в гидроотвалы, хвостохранилища на соответствующие расстояния, необходимо регулирование вязкости и транспортабельности смеси, для чего добавляется вода. Все эти системы характеризуются большими капитальными затратами и малой транспортной способностью пульпы для заполнения отвальной емкости в условиях гидромеханизированной разработки месторождений полезных ископаемых.

Поэтому эксплуатация гидроотвалов и хвостохранилищ, равно как и строительство новых, является весьма актуальной задачей, т.к. связана с сокращением потерь земли, их возвратом в хозяйственное пользование, что предопределяет разработку технологий и способов увеличения емкости этих намывных сооружений и, как следствие, рациональное природопользование.

Цель работы – научно-техническое обоснование технологии формирования и эксплуатации гидроотвалов (хвостохранилищ) максимальной вместимости при минимально занимаемых земельных площадях с учетом геоморфологических особенностей отвальной емкости.

Идея работы заключается в обосновании повышения эффективности гидроотвалообразования за счет формирования и подачи высоконасыщенных гидросмесей в отвал.

Задачи исследований:

- аналитическое обоснование коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости, характеризующего ее приемную способность, при формировании гидроотвалов (хвостохранилищ) в долине в зависимости от ее геоморфологических параметров и технологических схем намыва;

- составление компьютерной программы для выявления аналитических зависимостей коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости от различных задаваемых параметров долины, в которой планируется размещение гидроотвала, а также технологических схем намыва пород;

- проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях по формированию гидроотвалов высоконасыщенными гидросмесями и сопоставление их результатов с данными опытно-промышленных исследований;

- исследование влияния технологических параметров (плотности и удельного расхода гидросмеси) на формирование конструкции гидроотвала (площади и уклонов намывной поверхности), в том числе при намыве гидроотвала высококонцентрированной гидросмесью;

- аналитическое обоснование влияния параметров гидроотвалов, расположенных в долине, и технологических схем намыва на удельный объем земляных работ, а также на коэффициент использования площади отвала, характеризующие экономическую эффективность их сооружения и эксплуатации.

Методы исследований:

- анализ и обобщение практического опыта и литературных данных по намыву сооружений, в том числе гидроотвалообразованию;

- лабораторные исследования по формированию уклонов намываемой поверхности в зависимости от плотности и удельного расхода гидросмеси;

- обобщение и обработка материалов, полученных экспериментальным путем, а также некоторых данных, полученных в ходе проведенных ранее опытно-промышленных исследований;

- аналитическое обоснование процессов гидроотвалообразования с использованием методов математической статистики и обработки результатов исследований с помощью ЭВМ.

Защищаемые научные положения:

1. Приемная способность гидроотвалов в долине определяется коэффициентом использования геометрического объема отвальной емкости, который зависит от геоморфологических параметров долины (продольного и поперечных уклонов, ширины, длины), а также технологических схем намыва: при намыве пород с верховья долины он изменяется от 0,8 до 1 и более, а при укладке от плотины – от 0,3 до 0,9; высота ограждающей плотины при этом определяется шириной и поперечными уклонами (увалами) долины с учетом косинуса тройного угла.

2. Намыв гидроотвала высоконасыщенными гидросмесями (более 20% по объему) формирует крутые уклоны наружного откоса намываемой поверхности (свыше 10°) по установленной нами зависимости, что сокращает площади занимаемых территорий (более 25%) и, как следствие, ведет к рациональному использованию земельных ресурсов.

3. На основе полученных уравнений параметров ограждающей плотины в долине установлены оптимальные значения показателей, определяющих трудоемкость формирования и землеемкость гидроотвалов (хвостохранилищ) овражно-балочного (долинного) типа, которые достигаются при намыве больших объемов пород с верховья долин с пологими продольными и поперечными уклонами (увалами) и значительными высотой и шириной отвальной емкости.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы основаны на использовании широкого диапазона научных методов исследований, включающих анализ и обобщение теоретических и экспериментальных работ, проведение лабораторных исследований и их сходимость с расчетными и практическими данными, а также использование результатов научных исследований для примера проектирования намывного сооружения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- проведена систематизация уравнений различных авторов для определения объема гидроотвалов и хвостохранилищ;
- разработана методика расчета и установлена закономерность изменения коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости, характеризующего приемную способность гидроотвалов и хвостохранилищ, в зависимости от геоморфологических особенностей места размещения и технологических схем их заполнения;
- установлено уравнение зависимости изменения уклонов намываемой поверхности от различных значений плотности гидросмеси, в том числе высоконасыщенных (до 35% по объему), во взаимосвязи с площадью занимаемой территории;

- по условиям возведения земляной плотины выведено уравнение высоты плотины гидроотвала, которая, в свою очередь, зависит от параметров долины и объема укладываемых пород;

- на основе выведенных уравнений параметров ограждающей плотины в долине обоснованы оптимальные значения показателей трудоемкости и землеемкости работ по сооружению гидроотвалов (хвостохранилищ) овражно-балочного (долинного) типа, характеризующих экономическую эффективность принятого технологического решения.

Практическая значимость работы заключается в оценке экономической эффективности сооружения гидроотвалов (хвостохранилищ) на основе показателей трудоемкости и землеемкости работ.

Личный вклад автора состоит в проведении анализа практического опыта и теоретических исследований в области формирования намывных сооружений и повышения их вместимости; установлении на основе проведенных экспериментальных исследований зависимости уклонов намывной поверхности гидроотвала от плотности подаваемой гидросмеси в широком диапазоне (от малых, обычно получаемых при работе грунтовых насосов, до значений высококонцентрированной гидросмеси); разработке методики определения и выявления закономерности изменения коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости с учетом геоморфологических и технологических факторов; формулировании основных выводов и рекомендаций работы.

Реализация выводов и рекомендаций. Разработанные технологические решения, предложения и рекомендации используются проектной организацией ООО «Горное дело» при проектировании гидросооружений (гидроотвалов, ограждающих дамб, плотин и т.п.). Результаты работы используются кафедрой Геотехнологии и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых МГРИ-РГГРУ в учебном процессе при преподавании дисциплин СД.07.01 «Технология и комплексная механизация гидромеханизированных открытых горных работ» и ОПД.Р.02 «Гидротехнические сооружения».

Апробация работы. Результаты проведенных исследований докладывались на международных научно-практических конференциях «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых» (Москва, РГГРУ, 2010 и 2012 гг.), международных научных школах молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, ИПКОН РАН, 2010-2012 гг.), VI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле» (Москва, РГГРУ, 2012 г.), международных конференциях «Новые идеи в науках о земле» (Москва, РГГРУ, 2011 и 2013 гг.).

Публикации. Основные результаты исследований и научные положения опубликованы в 12 научных работах, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 171 странице машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 52 рисунка, 12 таблиц, список литературы из 90 наименований.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы и формулировке цели и идеи работы, ее новизны и защищаемых положений.

В первой главе рассмотрены особенности существующих технологий формирования гидроотвалов и хвостохранилищ; проведен анализ и обобщение практического опыта повышения вместимости намывных сооружений, в том числе долинного типа; сформулированы задачи и методы исследования.

Во второй главе на основе проведенной систематизации уравнений различных авторов для определения объема гидроотвалов и хвостохранилищ обосновано применение коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости с целью оценки ее приемной способности, а также разработана методика определения и выявлена закономерность его изменения в зависимости от технологических и геоморфологических факторов.

Третья глава посвящена проведенным экспериментальным исследованиям по формированию массива намывных пород высоконасыщенной гидросмесью; обобщению и сопоставлению их результатов с имеющимися данными, полученными в рамках опытно-промышленных работ; установлению зависимости уклонов поверхности намыва от различных значений плотности подаваемой гидросмеси, а также их влияния на площадь, занимаемую гидроотвалом.

В четвертой главе на основе выведенного уравнения высоты плотины гидроотвала приведены исследования по повышению эффективности сооружения гидроотвалов и хвостохранилищ на основе показателей трудоемкости и землеемкости работ.

В заключении излагаются выводы и рекомендации, обобщающие основные положения и результаты выполненной работы.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю – доктору технических наук, профессору В.П. Дробаденко за внимательное отношение, ценные консультации и постоянные помощь и поддержку при выполнении настоящей работы, а также преподавателям и сотрудникам кафедры Геотехнологии и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых МГРИ-РГГРУ, в особенности аспиранту Козлову М.Ю., за помощь при проведении экспериментальных исследований и работе над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вопросам технологии формирования и последующей эксплуатации гидроотвалов и хвостохранилищ посвящены работы Г.А. Нурока, С.М. Шорохова, Н.В. Мельникова, А.Г. Лутовинова, Г.И. Лукинского, В.П. Дробаденко, Г.П. Никонова, С.О. Славутского, П.Э. Зуркова, Г.В. Трофимова, Г.П. Никонова, Г.М. Лезгинцева, А.Г. Мельникова, П.Д. Евдокимова, С.С. Шавловского, К.П. Кобеца, А.И. Кондрашова, И.М. Ялтанца, А.М. Гальперина, Е.А. Кононенко, Ю.И. Кутепова, Н.А. Кутеповой, Ю.В. Кириченко, А.Х. Саркисяна, В.В. Ермошкина, А.Т. Мироненко, Ю.А. Климашевского, С.В. Локтионова, А.Б. Лолаева, В.В. Мосейкина и др.

Практические решения по повышению вместимости гидроотвалов и хвостохранилищ предложены различными проектными организациями и научно-исследовательскими институтами, среди которых ВНИИ ВОДГЕО, Механобр, ВИОГЕМ, Союзгипронеруд, ВНИПИИстромсырье, НИПИОТстром, ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», ОАО «Комбинат «КМАруда», АО «ОЛКОН», ЗАО «Полюс», ЗАО «АЛРОСА» и другие.

В настоящее время для увеличения вместимости гидроотвалов выделяются следующие основные технологические направления:

- изменение способа и порядка намыва, обеспечивающих повышение плотности укладки пород;
- необходимое перемещение прудка (зеркала воды) от гребня дамбы;
- повышение эффективности гидравлической классификации материала, поступающего в намывные сооружения;
- последующее наращивание намывных горнотехнических сооружений;
- формирование получаемых за счет обезвоживания методом фильтрации «сухих» отвалов;
- создание объединенных гидроотвально-хвостовых хозяйств;
- сгущение (повышение концентрации твердого) поступающей пульпы;
- создание дренажных линз, обеспечивающих ускорение консолидации тонкодисперсных грунтов пляжных зон и повышение удерживающих сил (сопротивление сдвигу) по поверхности скольжения;
- совместное складирование фильтрующих и слабоводопроницаемых намывных грунтов, обеспечивающее ускорение водооборота за счет интенсификации отжатия воды из тонкодисперсных толщ к дренажным элементам и уменьшение водопритоков к карьере и откосам гидроотвалов за счет опережающего намыва водоупорных грунтов на водопроницаемое основание;

- создание мощных ограждающих дамб с увеличением их высоты и одновременной пригрузкой низового откоса, выколачивание и террасирование откосов, их механическое укрепление и т.п.;

- секционное заполнение гидроотвала;

- увеличение высоты и емкости гидроотвалов на основе управления процессами формирования и уплотнения тонкодисперсных масс.

Кроме того, заслуживает внимания технология намыва сооружений, позволяющая подавать высоконасыщенную гидросмесь с помощью гидроциклона, а также передвижного самоходного сгустителя – грунтоукладчика СГУ-2000, разработанная кафедрой «Технология, механизация и организация открытых горных работ» МГГУ, но она приемлема для формирования узкопрофильного сооружения; другие механизмы имеют также ограниченное применение и сложны в эксплуатации.

В итоге необходимо отметить, что в настоящее время для увеличения вместимости гидроотвалов и хвостохранилищ существуют различные технологические направления, в том числе активно идет поиск и разработка систем складирования сгущенных гидросмесей, позволяющих увеличить объем гидроотвалов (хвостохранилищ) в процессе эксплуатации, что является актуальной на сегодняшний день проблемой. Однако они, как и метод сгущения транспортируемой пульпы перед складированием, являются сложными, требующими больших материальных и финансовых затрат.

На основе данных предпосылок в диссертационной работе рассмотрены способы сооружения и эксплуатации гидроотвалов и хвостохранилищ максимальной вместимости при минимальных занимаемых площадях, основанные на формировании и транспортировании высоконасыщенной гидросмеси, а также учете геоморфологических и технологических факторов при намыве пород в отвальную емкость, расположенную в долине.

Первое защищаемое научное положение

Приемная способность гидроотвалов в долине определяется коэффициентом использования геометрического объема отвальной емкости, который зависит от геоморфологических параметров долины (продольного и поперечных уклонов, ширины, длины), а также технологических схем намыва: при намыве пород с верховья долины он изменяется от 0,8 до 1 и более, а при укладке от плотины – от 0,3 до 0,9; высота ограждающей плотины при этом определяется шириной и поперечными уклонами (увалами) долины с учетом косинуса тройного угла.

Выбор места для размещения гидроотвалов (хвосто- и шламохранилищ) является весьма важной и ответственной задачей, так как значительно влияет на себестоимость гидромеханизированных работ и определяет их эффективность.

Практика показывает, что при одновременно существующей возможности расположения гидроотвала на равнине, косогоре, балке, долине строительство отвалов в низине характеризуется меньшими капитальными затратами, при этом упрощается и удешевляется их эксплуатация.

При разработке россыпных месторождений гидравлическим способом работы, связанные с размещением пород (хвостов) в отвалы оказывают большое влияние на конечную стоимость ценного компонента. При благоприятных условиях отвалообразования, при наличии крутых склонов, непосредственно спускающихся в долину, промывной прибор обычно устанавливается на склоне, и отвал размещается сразу за промприбором. Емкость отвала определяет время работы промприбора до его передвижки. Обычно стремятся не переносить промприбор в течение сезона, увеличивая емкость отвала за счет поднятия шлюзов на большую высоту, а также используя для размещения хвостов низины.

На гидровскрышных работах угольных и железорудных месторождений наиболее распространенным является также расположение гидроотвалов (хвостохранилищ) в низине: гидроотвалы КМА («Берёзовый Лог», «Балка Суры», «Балка Чуфичева»), Кузбасса («Бековский», «Кедровский №3»), а также ряд хвостохранилищ (Надеждинского металлургического завода, ЛГОКа, СГОКа и др.) являются намывными сооружениями овражно-балочного и долинного типов.

После выбора месторасположения отвальной емкости формирование гидроотвала в долине может осуществляться по двум технологическим схемам – с верховья долины к плотине (рис. 1) и от плотины к пруду-отстойнику (рис. 2), что определяет способ сооружения ограждающей плотины в низовье долины – насыпным или намывным способами.

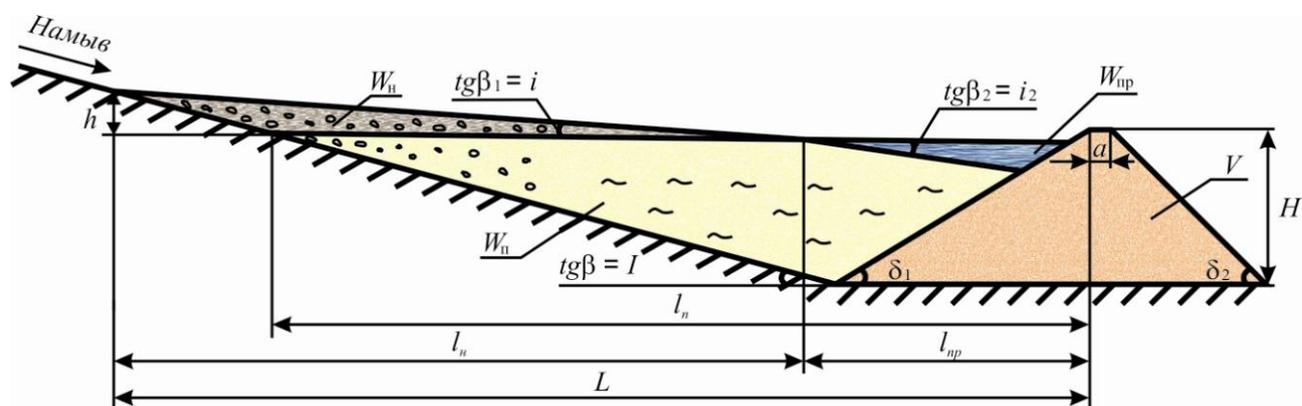


Рис. 1. Схема заполнения и параметры отвала при намыве пород с верховья долины

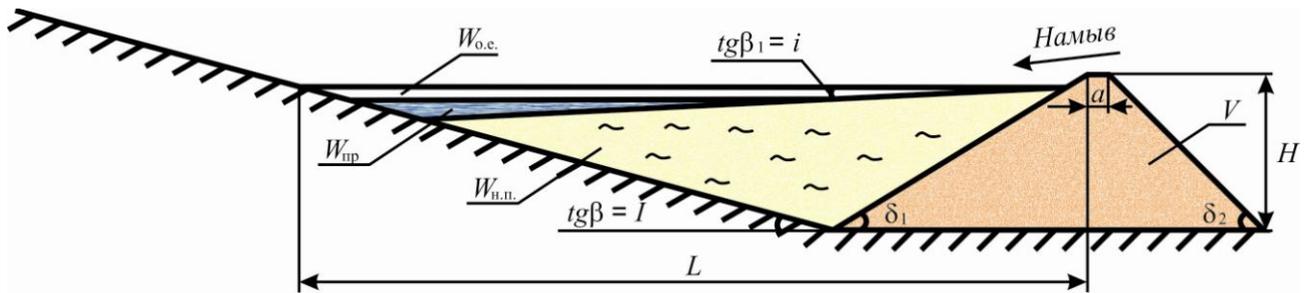


Рис. 2. Схема заполнения и параметры отвала при намыве пород от плотины

При формировании гидроотвала по технологической схеме с верховья долины к плотине (рис. 1), последняя возводится насыпным способом, при необходимости сразу на полную высоту для размещения всего объема укладываемых пород. При этом ограждающая плотина подвергается гидростатическому давлению намытых пород в водонасыщенном состоянии (или воды отстойного пруда), а также воздействию фильтрационного потока. Таким образом, ограждающая плотина является гидротехническим сооружением, и к нему предъявляются все требования, которым должна отвечать вододерживающая плотина.

При укладке пород от плотины (рис. 2) ее сооружение осуществляется намывным способом одновременно с формированием гидроотвала, а последовательность его заполнения определяется технологией намыва при перемещении выпусков гидросмеси по периметру намываемой плотины.

Большое влияние на эффективность гидромеханизированных работ оказывает использование объема отвальной емкости для максимального размещения вскрышных пород. Ее оптимальное использование связано с минимальным отчуждением земель под гидроотвал. При этом уменьшаются капитальные затраты на обвалование и снижаются эксплуатационные расходы.

Таким образом, основными принципами формирования гидроотвалов (хвостохранилищ) должны быть в совокупности следующие основные факторы и управляемые параметры: местоположение отвальной емкости; формы и размеры отвальной емкости; технологическая схема укладки (намыва) пород в отвал; гранулометрический состав складировемых пород и другие.

Для решения поставленных задач в диссертации представлена систематизация уравнений различных авторов, определяющих объем гидроотвалов и хвостохранилищ. В данных уравнениях приведены различные коэффициенты (разрыхления, набухания, укладки, уплотнения и др.), в той или иной степени учитывающие результат изменения физических свойств горного массива при его разрушении в забое, гидротранспортировании до места складирования, а также осаждении твердых частиц в процессе формирования нового массива намытых отложений.

В уравнениях С.М. Шорохова, Г.И. Лукинского, С.С. Шавловского и других авторов приводится коэффициент использования отвальной емкости (η), который характеризует практическую возможность заполнения геометрического объема отвала и показывает – сколько м³ вскрышных пород (или хвостов) приходится на 1 м³ созданного ограждающими сооружениями объема отвала. Он равен отношению вместимости намывного сооружения (т.е. количества отходов всех типов, которое можно уложить в отвал при принятой в проекте технологии его заполнения) к его геометрическому объему (т.е. объему емкости гидроотвала в пределах проектной отметки гребня ограждающей дамбы или (и) бортов естественных склонов).

Из проанализированных работ вытекает, что рекомендуемые в литературе значения коэффициента использования отвальной емкости (или, как его также называют, коэффициент заполнения отвала) изменяются от 0,5 до 1 и более и не дается методика определения его. Значения его не связаны какой-либо зависимостью с геоморфологическими параметрами места размещения отвальной емкости и технологическими режимами и схемами намыва пород.

Для расчета значений коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости (η) и анализа его изменения под влиянием различных факторов в приложении Microsoft Excel нами была создана компьютерная программа, в основе которой заложены полученные геометрическим методом уравнения объемов отвальной емкости, позволяющая установить взаимосвязь этого коэффициента с различными задаваемыми параметрами долины, в которой планируется размещение гидроотвала, а также технологическими схемами намыва пород.

При этом высота гидроотвала устанавливалась по условиям возведения земляной плотины, которая также зависит от рельефа местности, т.е. от параметров долины и от объема укладываемых пород

$$H = \frac{b}{\sigma} \cdot \left(2 \cdot \cos \frac{\varphi}{3} - 1 \right) + 0,5, \quad (1)$$

где 0,5 – превышение гребня плотины, над уровнем воды, м;

b – ширина по основанию долины, м;

$\sigma = \text{ctg} \alpha_1 + \text{ctg} \alpha_2$ – сумма коэффициентов заложения увалов долины;

$\cos \frac{\varphi}{3}$ – косинус тройного угла,

для решения которого применяется вспомогательный угол, равный

$$\cos \varphi = \frac{3 \cdot I \cdot W_{\text{о.е.}} \cdot \sigma^2}{b^3} - 1. \quad (2)$$

где $W_{\text{о.е.}}$ – объем укладываемых пород, м³.

$I = \text{tg} \beta$ – уклон долины (β – угол уклона долины, град.).

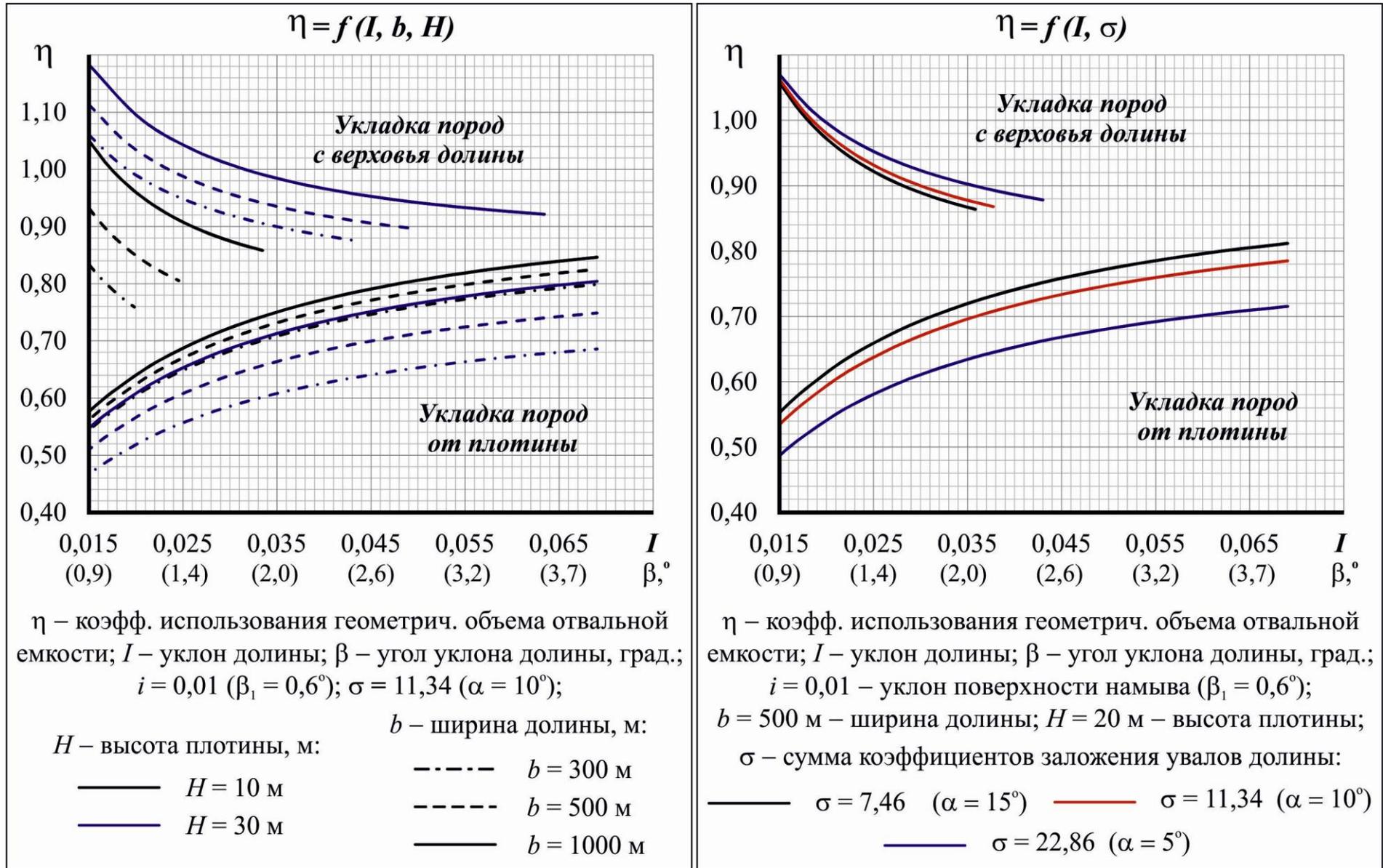


Рис. 3. Зависимость изменения коэффициента использования отвальной емкости от геоморфологических особенностей долины и высоты плотины отвала

Как показывает анализ, наибольшее влияние на изменение коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости при укладке пород от плотины, также как и в случае намыва пород с верховья долины к плотине, оказывает уклон долины I (рис. 3), в которой планируется размещение отвала. Ширина, высота отвальной емкости, форма ее в плане и в меньшей степени величина боковых откосов (увалов) долины также оказывают существенное влияние на изменения коэффициента использования η (рис. 4).

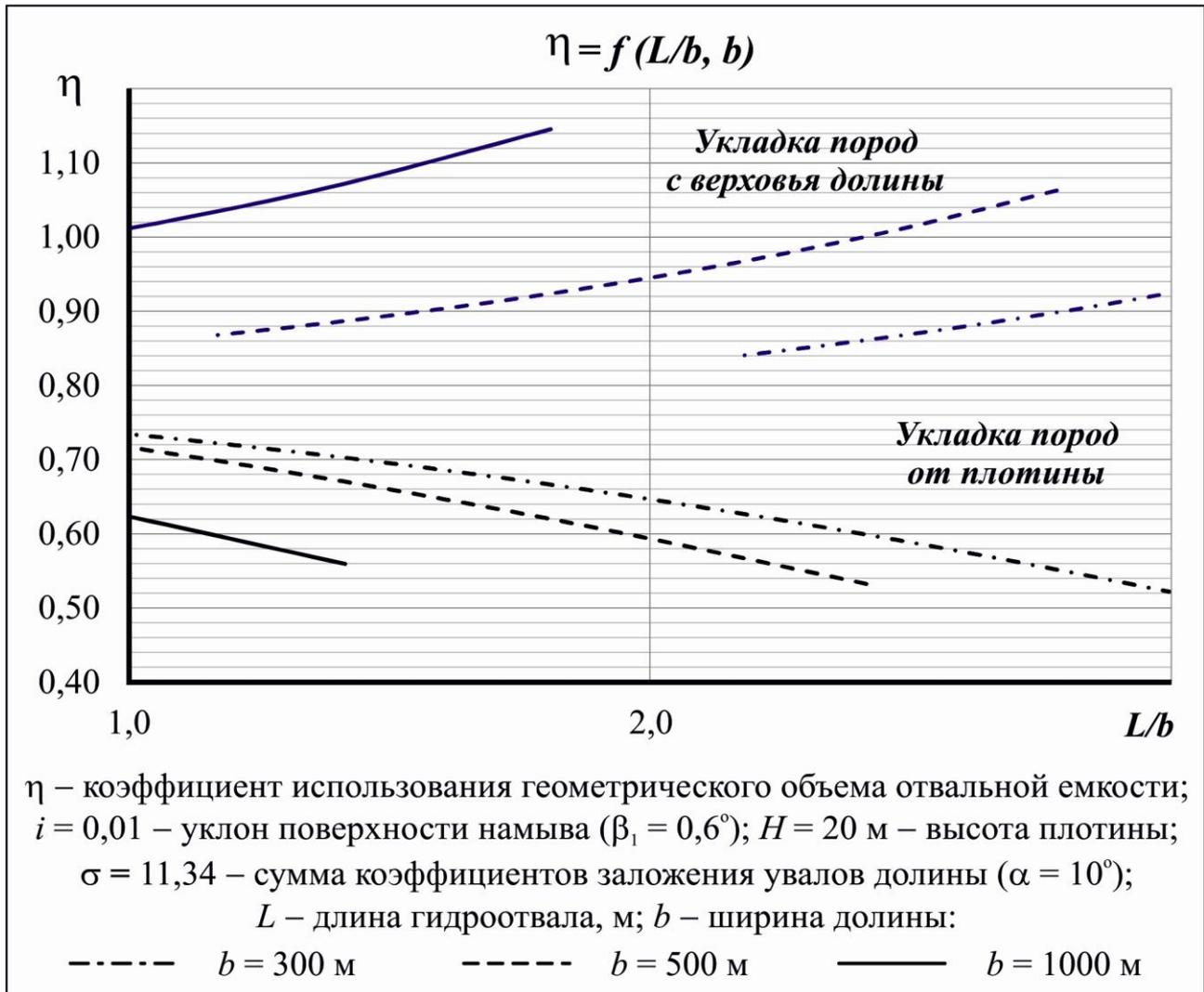


Рис. 4. Зависимость изменения коэффициента использования отвальной емкости от формы отвала (в полулогарифмическом масштабе)

При укладке пород с верховья долины наиболее целесообразно использовать местность с пологими уклонами и боковыми откосами (увалами), а также проектировать отвалы с максимальной для данного уклона местности высотой с учетом экологического предела вместимости долины. Так, с уменьшением значений уклона долины I (от 0,065 до 0,015), а также с увеличением проектной высоты плотины отвала H (к примеру, от 10 до 30 м) и суммы коэффициентов заложения увалов долины σ (т.е. с уменьшением углов

боковых откосов долины от 5° до 15°), происходит увеличение коэффициента использования η при укладке пород с верховья долины – он изменяется от 0,83 и достигает значений больше 1 (рис. 3).

Долины с крутыми уклонами ($2\div 4^\circ$) и боковыми откосами (увалами) ($10\div 15^\circ$) выгодно намывать от плотин, причем при увеличении крутизны уклона долины целесообразно выбирать меньшую высоту плотины отвала.

Как при укладке пород от плотины, так и при намыве с верховья долины предпочтительнее долины по основанию большей ширины, т.к. в обоих рассмотренных случаях значения коэффициента η увеличиваются на $\approx 23\div 30\%$ при изменении ширины долины b , в которой планируется размещение гидроотвала, в большую сторону (к примеру, от 300 до 1000 м) (рис. 3).

Однако, если при гидравлической укладке пород от плотины для рационального размещения вскрышных пород и отходов обогащения в отвале наиболее выгодной является квадратная форма отвальной емкости (с уменьшением значений отношения L/b от 4 до 1 коэффициент использования геометрического объема отвальной емкости η увеличивается на $\approx 30\%$), то при намыве пород с верховья долины, напротив, наиболее целесообразным представляется вариант прямоугольной формы отвала (например, $L/b = 3\div 4$), при которой коэффициент η также становится максимальным для принятых условий – 1,05 при ширине долины $b = 500$ м и высоте $H = 20$ м (рис. 4).

Практика сооружения гидроотвалов и хвостохранилищ подтверждает, что при их квадратной или вытянутой по ширине форме создаются худшие условия освещения, так как пруд-отстойник имеет относительно меньшую длину и вытянут в поперечном направлении по отношению к оси выпуска. Поэтому при гидравлической разработке получили распространение отвалы вытянутой прямоугольной формы, которые обеспечивают лучшие условия освещения.

Предлагаемые результаты аналитических исследований влияния геоморфологических особенностей места размещения и технологических схем намыва на эффективность гидроотвалообразования позволяют обосновать выбор варианта гидроотвально-хвостового хозяйства при проектировании горно-обогатительных предприятий с учетом рационального природопользования.

Второе защищаемое научное положение

Намыв гидроотвала высоконасыщенными гидросмесями (более 20% по объему) формирует крутые уклоны наружного откоса намываемой поверхности (свыше 10°) по установленной нами зависимости, что сокращает площади занимаемых территорий (более 25%) и, как следствие, ведет к рациональному использованию земельных ресурсов.

Экспериментальные исследования по формированию намываемого массива проводились при работе лабораторного гидрокомплекса, входящего в состав уникальной стендовой установки (УСУ), разработанной на кафедре «Геотехнологии и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых» МГРИ-РГГРУ и зарегистрированной в Минобрнауке под № 4-73.

Для проведения экспериментов была разработана технологическая схема, основанная на работе загрузочного аппарата с использованием при пульпоприготовлении кинетической энергии коаксиально-закрученных струй воды (эффекта искусственного смерча), который позволяет формировать высоконасыщенную гидросмесь (более 30% по объему), а также транспортировать пульпу на большие расстояния (свыше 5 км).

При этом для проведения стендовых испытаний были использованы несколько технологических проб: пески различной крупности – тонкие, мелкие, средне- и крупнозернистые, гравелистые – карьера «Гурбан» (Дмитровский район, Московская область), а также проба хвостов обогащения.

На первом этапе эксперименты проводились на осредненных разнофракционных пробах песка с коэффициентом неоднородности $K_{60/10} = 40 \div 48$, а также на пробах хвостов обогащения и тонкодисперсного песка. В последующем природный песок просеивался через сита с размерами ячеек 0,5; 1; 2 и 4 мм было получено три вида технологических проб песка, отличающихся крупностью зерен (рис. 5).

В процессе проведения экспериментов проводились замеры плотности и расхода гидросмеси. При различных технологических режимах измерялись геометрические параметры и форма намываемого массива (уклоны поверхности намыва, длина, ширина, площадь). Для измерения расхода воды применялся ротаметр – поплавковый расходомер переменного сечения марки Н250, производитель – «KROHNE» (Германия). Расход гидросмеси измерялся микропроцессорным ультразвуковым расходомером марки EASZ-10P, в котором для измерения средней скорости потока используется бесконтактный принцип Доплера, производитель – «EESIFLO» (Сингапур).

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили установить влияние технологических параметров на процесс гидравлической укладки пород в отвалы при намыве гидросмесей различной плотности, в том числе высококонцентрированных пульп (более 30% по объему).

При намыве песчаных пород крупностью от 0,5 до 4 мм установлено, что на процесс формирования гидроотвала (намываемого массива) в первую очередь влияют удельный расход и плотность транспортируемой гидросмеси, которые в значительной степени влияют на уклоны намываемой поверхности (рис. 5).

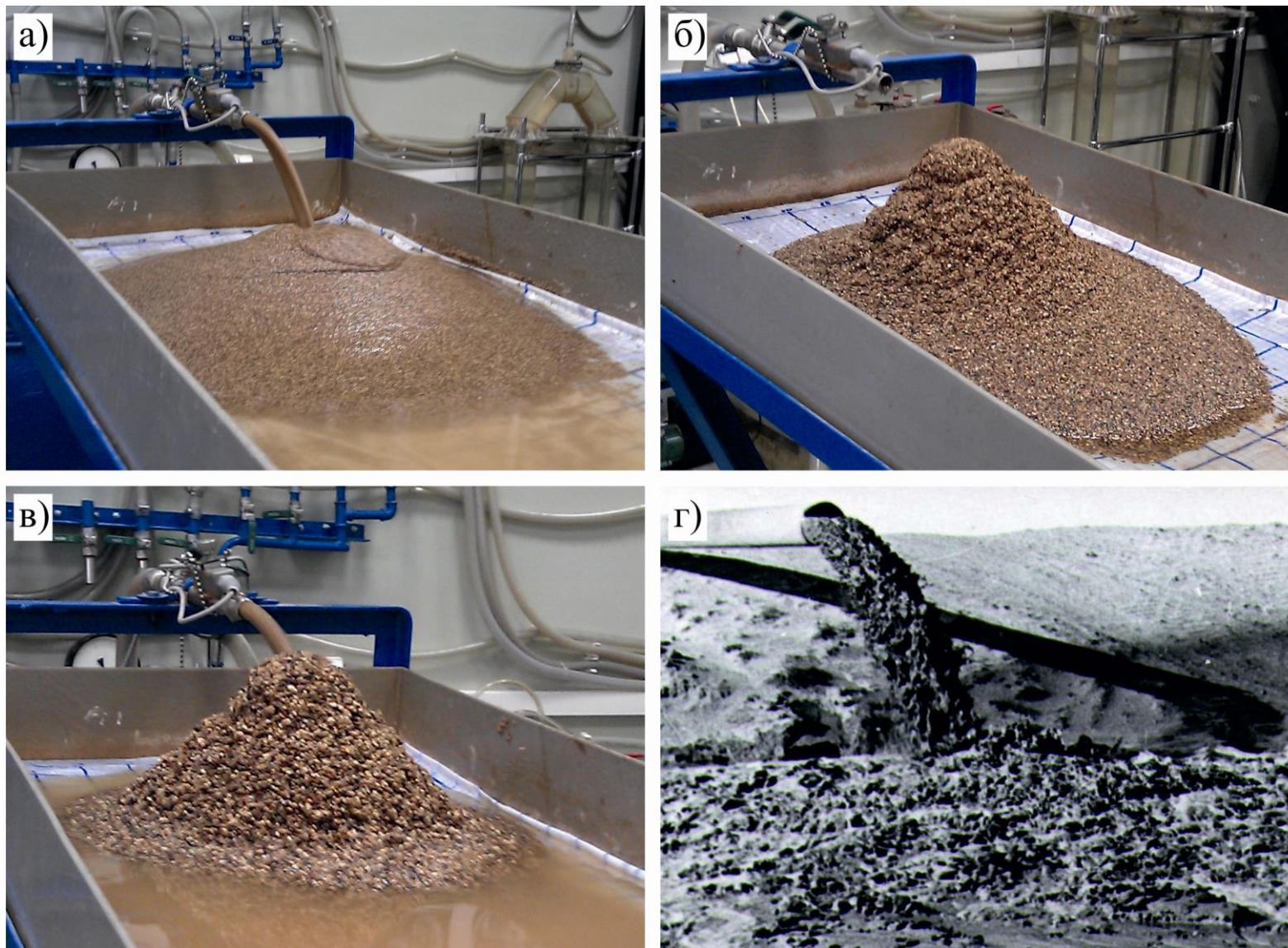


Рис. 5. Торцевой намыв и формирование массива пород: загрузочным аппаратом (объемная концентрация 30÷35%):
а) крупного песка с размером фракций $d_{cp} = 0,5 \div 1$ мм; б) крупного песка с размером фракций $d_{cp} = 1 \div 2$ мм
в) гравелистого песка с размером фракций $d_{cp} = 2 \div 4$ мм; г) землесосом ЗГМ-350А (объемная концентрация 8÷12%)

Полученные экспериментальным путем результаты были сопоставлены с данными исследований в натуральных условиях при проведении опытно-промышленных испытаний пород аналогичного состава, намываемых землесосом ЗГМ-350А. В этих условиях формирование гидроотвала длиной намываемой поверхности более 300 м характеризовалось тремя зонами: 3 – верховая, 4 – средняя, 5 – припрудковая, представленными на рис. 6.

Для установления аналитической зависимости уклонов поверхности намыва от технологических параметров гидротранспортирования на графике (рис. 6), построенном в полулогарифмическом масштабе, были нанесены зависимости средних уклонов намывтой поверхности от плотности гидросмеси, полученные в результате лабораторных (с высокой объемной концентрацией) (кривая 1) и опытно-промышленных (с более низкой объемной концентрацией) исследований (кривые 2÷5).

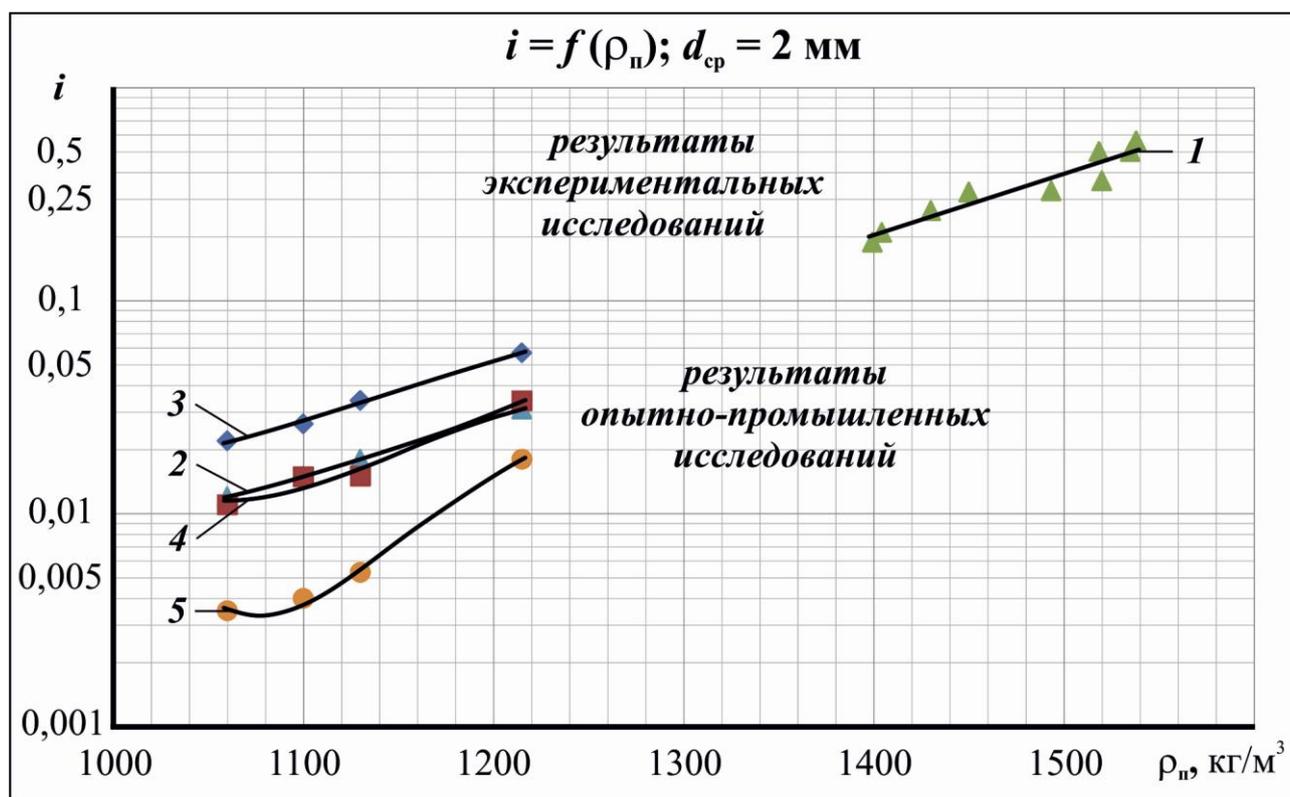


Рис. 6. Зависимость изменения уклонов намывтой поверхности от плотности гидросмеси в полулогарифмическом масштабе: 1 – усредненные результаты лабораторных исследований; данные опытно-промышленных исследований: 2 – усредненные, 3 – уклоны верховой, 4 – средней, 5 – припрудковой части гидроотвала

Из графика видно, что характер зависимости (направленность и конфигурация) в обоих случаях принципиально совпадает, однако кривая 1, соответствующая усредненным результатам лабораторных исследований, лежит значительно выше 2, описывающей зависимость, полученную в результате натуральных исследований.

Таким образом, формирование наружного откоса намываемой поверхности гидроотвала с объемной концентрацией 30÷35% (плотностью более 1300 кг/м³) характеризуется средними уклонами, равными 0,2÷0,5, что значительно превышает аналогичные величины уклонов (0,01÷0,04) при укладке пород с объемной плотностью гидросмеси 1050÷1210 кг/м³.

Аппроксимация приведенных результатов исследований с наибольшей величиной достоверности $R^2 = 0,919$ производилась с помощью экспоненциальной кривой, представленной на рис. 7, которая описывается следующим уравнением зависимости уклонов поверхности намыва (i) от объемной плотности подаваемой гидросмеси (ρ_n , кг/м³)

$$i = 2 \cdot 10^{-6} \cdot e^{(0,00815 \cdot \rho_n)}. \quad (3)$$

Установленное уравнение, позволяет прогнозировать уклоны намываемой поверхности при изменении плотности гидросмеси, т.е. при переходе от малой концентрации гидросмеси, обычно получаемой при работе грунтонасоса, до высококонцентрированной гидросмеси, которую возможно получить при намыве пород с помощью загрузочного аппарата или других установок.

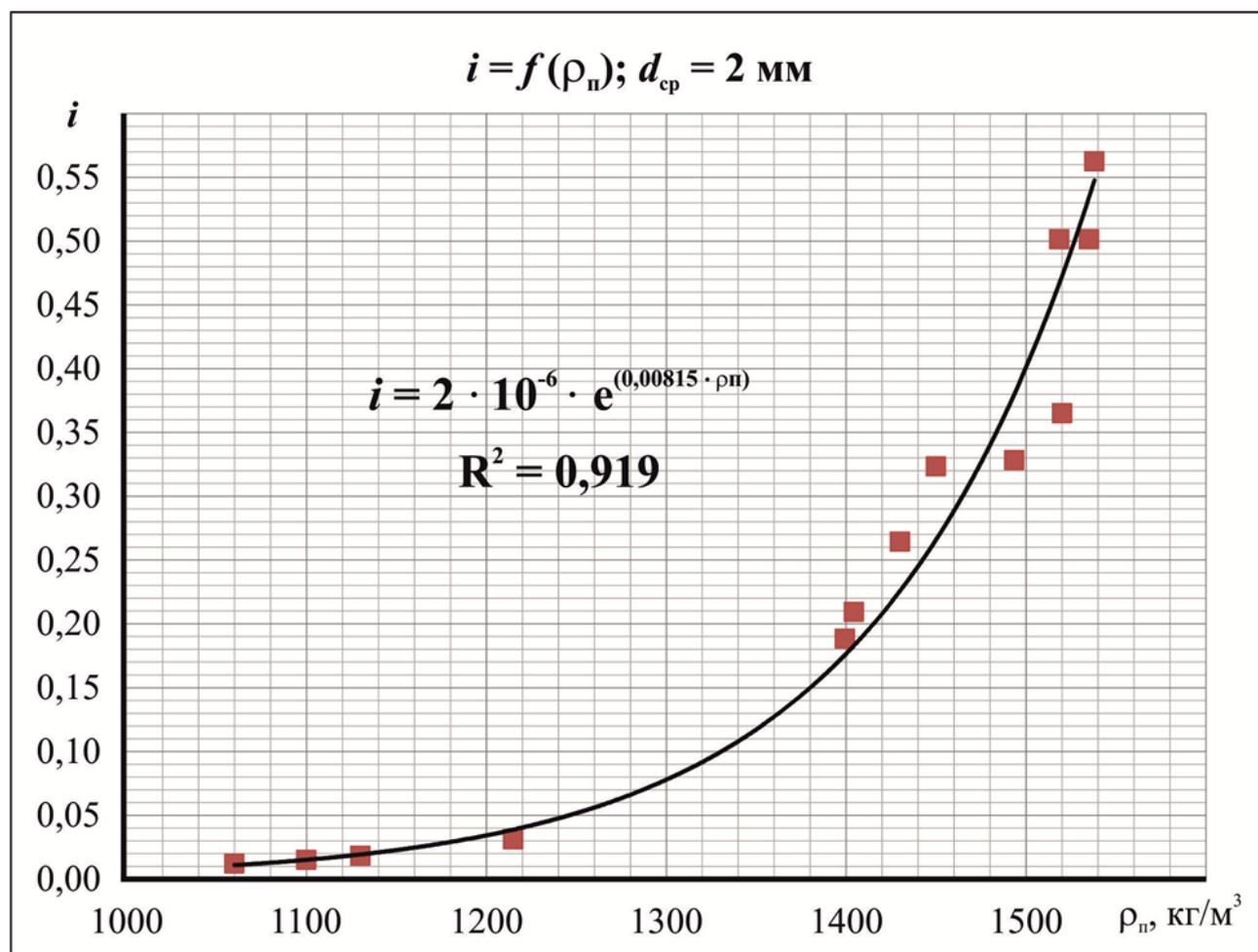


Рис. 7. Зависимость изменения уклонов намывной поверхности от плотности гидросмеси

В результате проведения экспериментальных исследований было также установлено, что площадь намывного массива снижается с увеличением уклона наружной поверхности – это очевидно из графика на рис. 8.

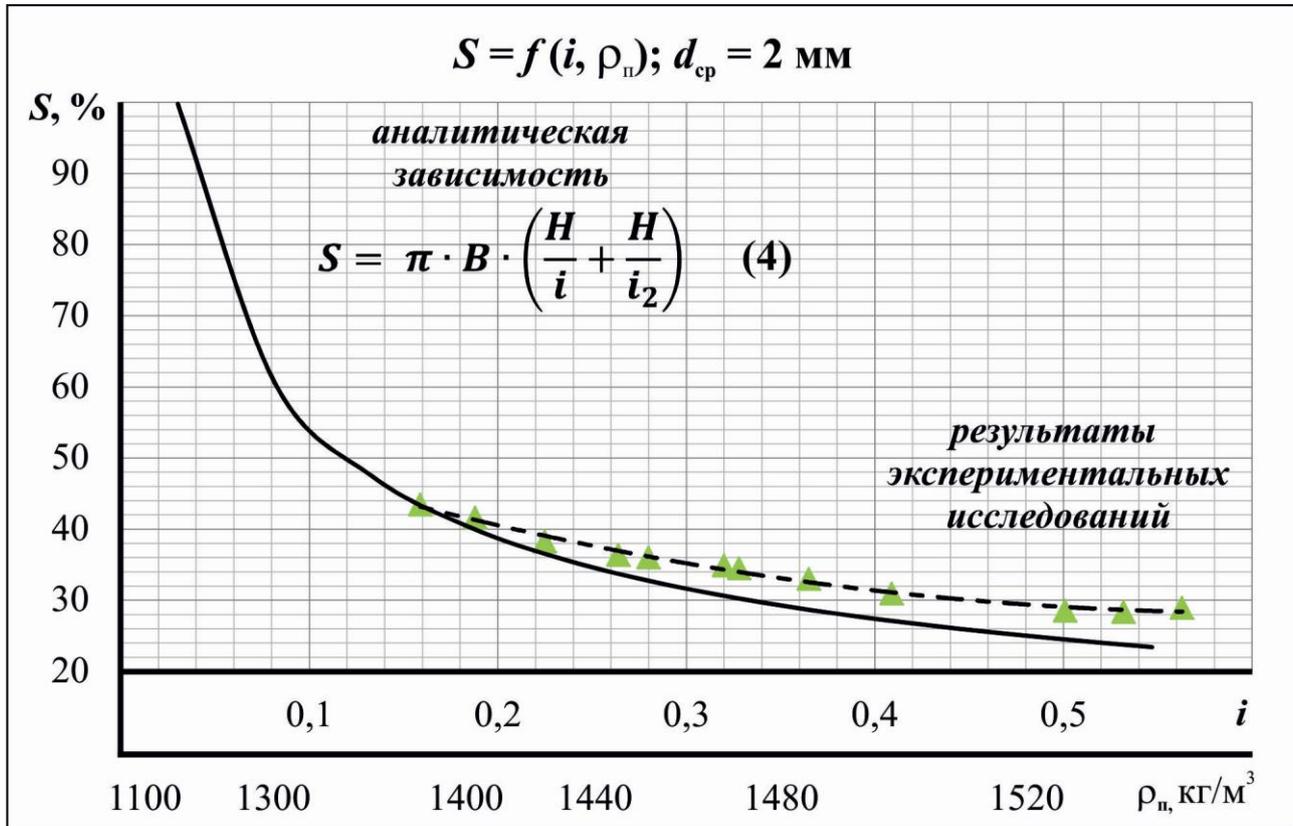


Рис. 8. Зависимость изменения площади, занятой намывным массивом, от уклонов при различных значениях плотности подаваемой гидросмеси

Он построен в качестве примера изменения величины площади намыва (в процентном отношении) в зависимости от уклона наружного откоса намываемой поверхности, а, следовательно, и от различных значений плотности подаваемой гидросмеси. С целью построения аналитической зависимости, характер которой подтверждается и результатами экспериментальных исследований (рис. 8), была использована конфигурация и форма намывного в экспериментальных условиях массива гидроотвала (рис. 5), площадь которого описывается уравнением (4) (в поле графика на рис. 8),

где B – ширина карты намыва, м;

i и i_2 – уклоны поверхности намыва;

H – высота намывного массива, равная

$$H = \sqrt{\frac{W_{н.п.}}{\left(\frac{1}{i_2} + \frac{1}{i}\right) \cdot \pi \cdot B \cdot \frac{1}{3}}}, \text{ м} \quad (5)$$

где $W_{н.п.}$ – объем пород, подлежащий укладке, м^3 .

Из графика на рис. 8, полученного экспериментально-аналитическим путем, видно, что подача в гидроотвал высоконасыщенной гидросмеси позволяет увеличить уклоны наружного откоса, а, следовательно, уменьшить площадь занимаемой гидроотвалом территории более чем на 60÷70 %.

Третье защищаемое научное положение

На основе выведенных уравнений параметров ограждающей плотины в долине установлены оптимальные значения показателей, определяющих трудоемкость и землеемкость формирования гидроотвалов (хвостохранилищ) овражно-балочного (долинного) типа, которые достигаются при намыве больших объемов пород с верховья долин с пологими продольными и поперечными уклонами (увалами) и значительными высотой и шириной отвальной емкости.

Экономичность работ по сооружению гидроотвалов (хвостохранилищ) овражно-балочного и долинного типов предлагается оценивать в зависимости от геоморфологических особенностей места размещения отвальной емкости и технологических схем ее заполнения.

Так, оценку экономической эффективности сооружения гидроотвалов (хвостохранилищ) предлагается рассматривать с двух позиций: с точки зрения трудоемкости – на основе сравнения показателя удельного объема земляных работ на сооружение 1 м³ отвальной емкости ($T, \text{м}^3/\text{м}^3$) – и землеемкости работ, определяемой нами коэффициентом использования площади отвала (η_S), сравнение значений которого позволяет выбрать оптимальный вариант использования ограниченных земельных ресурсов. Он равен отношению вместимости намывного сооружения (фактического объема намывных пород $W_{\text{н.п.}}, \text{м}^3$) к его полезной площади (площадь горизонтальной проекции ложа отвала – $S, \text{м}^2$) и характеризует техническую эффективность конструкции намывного сооружения и технологии заполнения, т.е. сколько м³ хвостов, или вскрышных пород, приходится на 1 м² полезной площади отвала.

Для оценки экономической эффективности отвалообразования важно выявить такое сочетание параметров, которое бы обеспечило наименьший удельный объем земляных работ в м³, приходящийся на 1 м³ емкости гидроотвала ($T, \text{м}^3/\text{м}^3$) и наибольший коэффициент использования площади (η_S).

На объем размещаемых пород влияют различные значения длины, ширины, высоты отвала, а также углов откосов и уклонов долины. Эти параметры взаимосвязаны с объемом ограждающей плотины и разное их сочетание обеспечивает различные удельные объемы земляных работ при строительстве отвала. Технологические схемы заполнения гидроотвала также в значительной степени влияют на удельные объемы земляных работ.

Таким образом, применяя геометрический метод, основанный на расчете площади, занятой намывным массивом, объема намывных пород, а также объема ограждающей плотины с учетом ее высоты, определенной по уравнению (1), была проведена оценка экономической эффективности работ по сооружению гидроотвалов для различных геоморфологических условий.

На основе аналитических исследований по выведенным нами уравнениям, в том числе высоты плотины (1), на рис. 9 и 10 представлены зависимости удельного объема земляных работ T и коэффициента использования площади η_s от геоморфологических условий места размещения и основных параметров отвала.

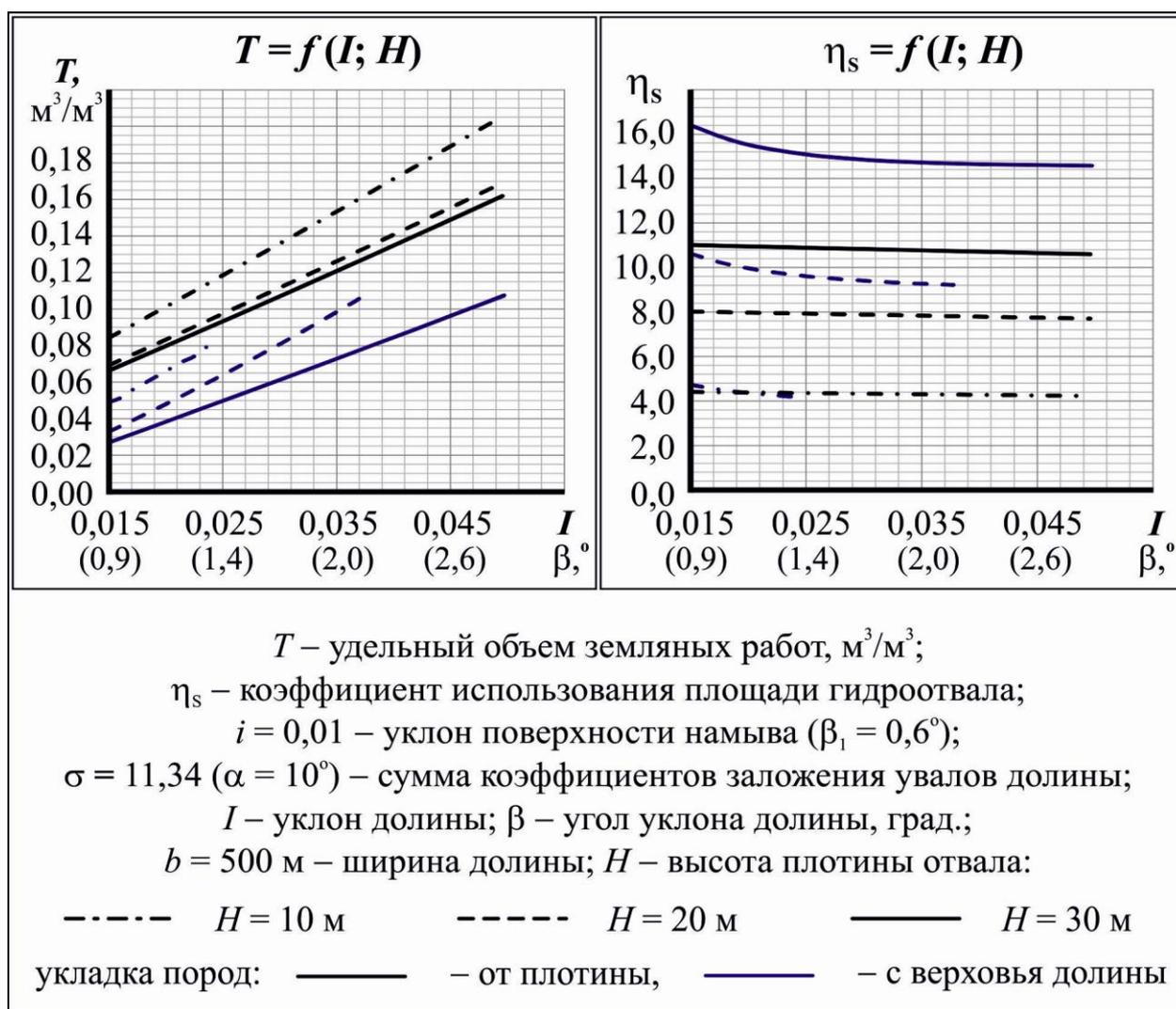


Рис. 9. Зависимость удельного объема земляных работ T и коэффициента использования площади η_s от геоморфологических особенностей долины и высоты плотины отвала

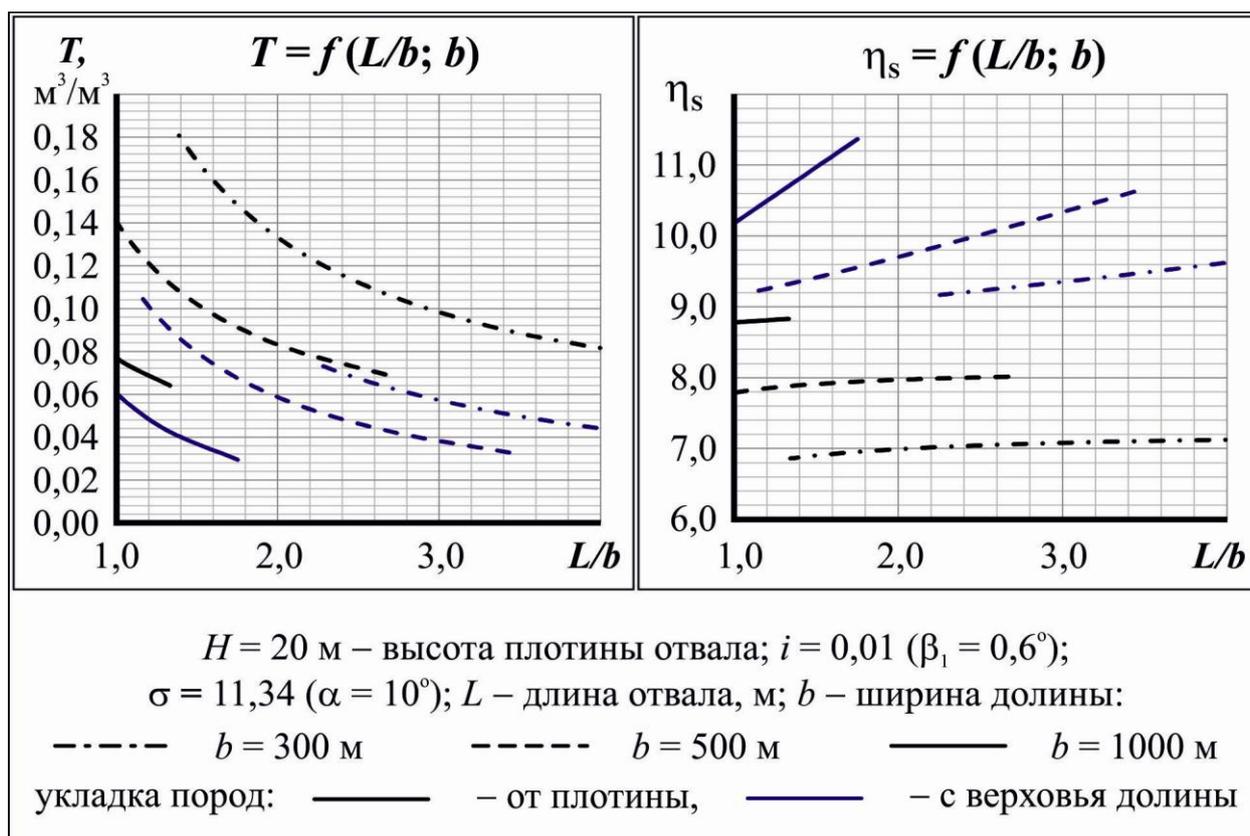


Рис. 10. Зависимость удельного объема земляных работ T и коэффициента использования площади η_s от формы и размеров отвальной емкости

Как при укладке пород с верховья долины, так и при намыве от плотины наиболее целесообразно использовать долины с пологими уклонами и боковыми откосами (увалами) – $0,9 \div 1,5^\circ$ и $2 \div 5^\circ$ соответственно, а также проектировать отвалы с максимальной для данного уклона местности высотой с учетом экологического предела вместимости долины (рис. 9). Данное положение находит подтверждение в изменении, как удельного объема земляных работ T (уменьшается до $0,06$ и $0,02$ м³/м³ при высоте плотины $H = 30$ м), так и коэффициента использования площади η_s (увеличивается до 11 и 16) при обеих рассмотренных технологических схемах намыва. Однако, в таком случае при укладке пород от плотины происходит резкое уменьшение коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости.

При обеих рассмотренных схемах для эффективного гидроотвалообразования предпочтительнее намывать отвалы прямоугольной формы (отношение длины к ширине отвала $L/b = 2 \div 3$) и большего объема (размера в плане) (рис. 10), в результате чего достигается максимальная эффективность работ с точки зрения экономики гидроотвалообразования – коэффициент использования площади отвала η_s увеличивается до 8 и $10,5$ (ширина долины $b = 500$ м) при укладке пород от плотины и с верховья долины соответственно, а показатель удельного объема земляных работ T уменьшается до $0,07$ и $0,03$ м³/м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований дано решение актуальной задачи научно-технического обоснования технологии формирования и эксплуатации гидроотвалов (хвостохранилищ) максимальной вместимости при минимально занимаемых земельных площадях с учетом геоморфологических особенностей отвальной емкости.

Основные научные и практические результаты исследований заключаются в следующем:

1. На основании анализа и обобщения практического опыта сооружения гидроотвалов и хвостохранилищ Кузбасса, КМА и других регионов, в том числе с использованием систем складирования сгущенных гидросмесей, было установлено, что большинство существующих в настоящее время технологических направлений характеризуются сложностью конструктивных решений, большой капиталоемкостью технологий, а также малой транспортабельностью сгущенной гидросмеси.

2. Проведена систематизация методов расчета объемов гидроотвалов и хвостохранилищ и установлены основные факторы, влияющие на приемную способность отвальной емкости.

3. С использованием математического моделирования сооружения гидроотвала в долине установлено влияние геоморфологических условий и технологий намыва на изменение значений коэффициента использования геометрического объема отвальной емкости.

4. Установлено, что высота ограждающей плотины намывных сооружений определяется шириной и поперечными уклонами (увалами) долины с учетом косинуса тройного угла, зависящего от исходного объема вскрышных пород или хвостов обогащения, который подлежит укладке.

5. На основе разработанной для проведения экспериментальных исследований технологической схемы работы загрузочного аппарата, который позволяет формировать и транспортировать высоконасыщенную гидросмесь с использованием при пульпоприготовлении кинетической энергии коаксиально-закрученных струй воды (эффекта искусственного смерча), установлено влияние технологических параметров гидротранспортирования, в первую очередь удельного расхода и плотности подаваемой гидросмеси, на качественные характеристики и конструкцию намытого массива.

6. Установлена зависимость формирования уклонов наружной поверхности намываемого массива от плотности гидросмеси, в том числе высоконасыщенной (20-30 % по объему).

7. Обоснована взаимосвязь плотности подаваемой в отвал гидросмеси с уклонами и площадью намываемого массива.

8. Произведена оценка экономической эффективности сооружения гидроотвалов (хвостохранилищ) с двух позиций: с точки зрения трудоемкости и землеемкости работ.

9. На основе разработанных уравнений определения объемов отвальной емкости и ограждающей плотины, а также площади, занятой гидроотвалами, обоснована зависимость принятых показателей экономической эффективности гидроотвалообразования (удельного объема земляных работ и коэффициента использования площади) от геоморфологических особенностей долины и параметров гидроотвала.

10. Выявлено, что наибольшая эффективность работ по сооружению гидроотвалов (хвостохранилищ) овражно-балочного (долинного) типа достигается при намыве больших объемов пород с верховья долины с пологими уклонами, а также прямоугольной форме отвальной емкости со значительными размерами высоты и ширины в плане.

11. Для проектируемого хвостохранилища «Грачев Лог» Коробковского месторождения (КМА) даны научно-обоснованные практические рекомендации по повышению его вместимости и сокращению занимаемой им площади.

Основные положения диссертации опубликованы

в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Семёнова К.М. Влияние рельефа местности и технологии намыва на эффективность гидроотвалообразования // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 3. – С. 37-40.

2. Дробаденко В.П., Семёнова К.М. Влияние геоморфологических и технологических факторов на увеличение приемной способности намывных сооружений // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 5. – С. 56-59.

3. Дробаденко В.П., Семёнова К.М. Рациональное природопользование на основе увеличения приемной способности гидроотвально-хвостового хозяйства ГОКов // Недропользование-XXI век. – 2013. – № 3. – С. 78-83.

а также в других изданиях:

4. Семёнова К.М. Анализ технологических факторов процессов гидроотвалообразования // Матер. X Междунар. конф. «Новые идеи в науках о земле». 12-15 апреля 2011 г. / РГГРУ. – М.: Экстра-Принт. – 2011.

5. Семёнова К.М. Технологии гидравлической укладки для рационального использования земельных участков // Матер. VI Междунар. науч. конф. студ., асп. и мол. уч. «Молодые – наукам о Земле». 21-23 марта 2012 г. – М.: РГГРУ. – 2012.

6. Семёнова К.М. Влияние технологических параметров гидроотвалообразования на формирование конструкций и уклонов намываемого массива // Матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». 30 марта – 5 апреля 2012 г. – М.: МГРИ-РГГРУ. – 2012. – С. 118.

7. Семёнова К.М. Эффективность гидроотвалообразования в зависимости от технологических и геоморфологических факторов // Матер. XI Междунар. конф. «Новые идеи в науках о земле». 09-12 апреля 2013 г.: Доклады: В 3т. Т.2/ МГРИ-РГГРУ. – М.: Ваш полиграфический партнер, 2013. – С. 129-130.

8. Семёнова К.М., Луконина О.А. Технологические аспекты рационального использования земельных ресурсов при гидромеханизированной разработке // Казанская наука. – Казань: Изд-во Казанский Издательский Дом. – 2011. – № 2. – С. 286-288.

9. Семёнова К.М., Ребриков Д.Н. Рациональное использование земельных ресурсов при освоении месторождения гидравлическим способом // Матер. 7 Междунар. науч. шк. мол. уч. и спец. «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». 15-19 ноября 2010 г. – М.: Издание ИПКОН РАН. – 2010. – С. 193-196.

10. Дробаденко В.П., Луконина О.А., Остроумова И.Д., Семёнова К.М. Рациональное использование земельных ресурсов при укладке вскрышных пород и отходов обогащения высоконасыщенными гидросмесями // Матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». 6-9 апреля 2010 г. – М.: МГРИ-РГГРУ. – 2010.

11. Дробаденко В.П., Луконина О.А., Семёнова К.М., Шарков А.А. Использование эффекта искусственного смерча в природоохранных геотехнологиях // Казанская наука. – Казань: Изд-во Казанский Издательский Дом. – 2011. – № 1. – С. 457-460.

12. Дробаденко В.П., Семёнова К.М. Рациональное использование земельных ресурсов за счет увеличения приемной способности гидроотвалов (хвостохранилищ) // Матер. 9 Междунар. науч. шк. мол. уч. и спец. «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». 19-23 ноября 2012 г. – М.: Издание ИПКОН РАН. – 2012.