

На правах рукописи



ФОМЕНКО НИКОЛАЙ ГАВРИЛОВИЧ

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ
НА ГИДРООТВАЛАХ ПРИ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
ГОРНЫХ РАБОТ**

*Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная
и нефтегазопромысловая геология, геофизика,
маркшейдерское дело и геометрия недр*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Научный руководитель – *Кутепов Юрий Иванович*
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: *Макаров Александр Борисович*,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
Атрощенко Федор Григорьевич,
кандидат геолого-минералогических наук, ведущий гидрогеолог ООО «ГЕОСТРОЙПРОЕКТ»
(г. Санкт-Петербург)

Ведущая организация - ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу» («ВИОГЕМ»), г. Белгород

Защита диссертации состоится 11 октября 2016 г. в _____ час _____ мин на заседании диссертационного совета Д 212.132.10 при НИТУ «МИСиС» по адресу 119991, Москва, Ленинский проспект, д.6 _____.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и на его официальном сайте в сети Интернет: www.old.misis.ru.

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.132.10, старший научный
сотрудник, доктор технических наук

Эпштейн С.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. При открытой разработке угольных месторождений в Кузбассе с начала 50-х годов прошлого столетия для выполнения вскрышных работ в покровных неоген-четвертичных отложениях применяется гидромеханизация. Гидравлическим способом за 60-лет удалено и размещено в 57-ми гидроотвалах более 1 млрд. м³ дисперсных пород. Общая площадь занятых гидротехническими сооружениями территорий в регионе достигла 7000 га, поэтому на фоне ужесточения требований охраны окружающей среды встает вопрос об их возврате после завершения эксплуатации в сферу хозяйственного использования. Однако гидроотвалы сложены «слабыми» породами и характеризуются низкой несущей способностью, что делает их недоступными для выполнения рекультивации. Поэтому одним из наиболее эффективных путей решения данного вопроса является отсыпка на их поверхностях насыпей из прочных пород. Преимущества размещения отвалов на гидроотвалах очевидны и заключаются в сокращении площадей земельного отвода разрезов, а также расходов на рекультивацию нарушенных земель и транспортировку вскрышных пород до отвалов.

Намывные массивы гидроотвалов региона имеет значительную высоту (более 30 м), пылевато-глинистый состав пород, сформированы при достаточно высокой интенсивности, характеризуются неуплотнённым состоянием и низкими прочностными свойствами пород. При взаимодействии с отвальными насыпями они будут подвержены развитию процессов формоизменения, консолидации и упрочнения пород. Обоснование возможности отсыпки отвалов на гидроотвалах требует выполнения специальных исследований в рамках динамической природно-технической системы (ПТС) «отвал+гидроотвал», а также разработки методологии обоснования ее конструкции и технологии формирования.

В 2014 году на поле разреза «Талдинский» завершились гидровскрышные работы и прекращен намыв в гидроотвал на реке Еланный Нарык. Его поверхность с учетом создавшегося на предприятии определенного дефицита земель для размещения вскрышных пород превратилась в перспективную площадь для

размещения отвалов. Гидроотвал на момент вывода из эксплуатации имел высоту более 50 метров и занимал площадь около 127 га. С учетом имеющегося опыта отвалообразования на гидроотвалах Кузбасса на его поверхности можно отсыпать около 90 млн. м³ пород вскрыши. При годовой потребности в размещении вскрышных пород на данном участке предприятия в 9-15 млн. м³ для этого потребуется всего 6-10 лет. Следует отметить, что проектом развития горных работ планируется использовать на вскрышных работах автосамосвалы грузоподъемностью до 320 тонн. В отечественной практике подобных условий отсыпки отвалов на намывных основаниях не было, поэтому научная задача инженерно-геологического обоснования параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ является весьма **актуальной**.

Цель работы – обоснование конструкции и технологии формирования динамической природно-технической системы (ПТС) «отвал+гидроотвал» с учетом интенсивности формирования отвальных насыпей на намывном основании и использования автосамосвалов повышенной грузоподъемности.

Идея работы – безопасность и технико-экономическая эффективность формирования ПТС «отвал+гидроотвал» обеспечивается на основе разработанной методологии инженерно-геологического обеспечения, базирующейся на установленных при изучении взаимодействий насыпных и намывных массивов закономерностях процессов формоизменения, консолидации и упрочнения намывных пород.

Основные задачи исследований:

1. Анализ внешнего отвалообразования на угольных разрезах и инженерно-геологическое обоснование ПТС «отвал+гидроотвал».
2. Изучение закономерностей процессов формоизменения, консолидации и упрочнения намывных пород при взаимодействии насыпных и намывных массивов.

3. Разработка методологического подхода обоснования конструкции ПТС «отвал+гидроотвал» с учетом интенсивности формирования и использования автосамосвалов повышенной грузоподъемности.

4. Обоснование параметров и технологии формирования ПТС «отвал+гидроотвал» с учетом безопасных условий работы на отвалах автосамосвалов повышенной грузоподъемности.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Предложено изменение инженерно-геологических условий природно-технической системы «отвал+гидроотвал» рассматривать с учетом взаимодействия насыпного и намывного массивов при развитии процессов формоизменения, уплотнения и упрочнения намывных пород.

2. Деформационное поведение взаимодействующих элементов природно-техногенной системы «отвал+гидроотвал» оценивается на базе метода конечных элементов путем последовательного решения задач об изменении размеров и формы намывного массива при отсыпке первого отвального яруса и дальнейшего уплотнения намывных пород под действием возрастающей с определенной интенсивностью нагрузки от многоярусного отвала.

3. Сформирован методологический подход к обоснованию параметров отвалообразования на гидроотвалах с применением автосамосвалов повышенной грузоподъемности, базирующийся на численном моделировании нагруженных откосов в плоской и объемной постановках, установленных закономерностях деформационных процессов при отсыпке отвалов на гидроотвале и обязательном применении мониторинга безопасности при отсыпке отвала.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждаются представительным объемом исследований состояния и свойств техногенных и естественных пород, изучением морфологии и механизма гравитационных процессов взаимодействия элементов ПТС, применением методик численного моделирования процессов формоизменения и уплотнения намывных массивов при отсыпке на них насыпей, удовлетворительной сходи-

мостью результатов моделирования и натурных исследований на гидроотвалах Кузбасса.

Методы исследований: лабораторные и натурные методы изучения состава, состояния и свойств техногенных и естественных пород; маркшейдерско-геодезические измерения и гидрогеологические наблюдения на отвалах и гидроотвалах; расчеты устойчивости откосов и консолидации пород ПТС «отвал+гидроотвал»; численное моделирование напряженно-деформационного состояния намывных, насыпных и естественных пород методом конечных элементов.

Научная новизна работы:

- установлены закономерности изменения строения, состояния и свойств намывных пород на различных этапах формирования динамической ПТС «отвал+гидроотвал»;
- выявлены и охарактеризованы основные процессы, развивающиеся при взаимодействии намывных и насыпных техногенных массивов;
- обоснована методология моделирования процессов перестроения намывных массивов и напряженно-деформационного состояния пород при формировании ПТС «отвал+гидроотвал».

Практическая значимость работы:

- установлены расчетные показатели физико-механических свойств техногенных и естественных пород для оценки устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» и обоснования их конструкции;
- разработаны рекомендации по конструкции, интенсивности формирования и обеспечению безопасности ПТС «отвал+гидроотвал» при использовании большегрузных автосамосвалов.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований были представлены и получили одобрение на симпозиумах «Неделя горняка» (2013 – 2016 гг.), заседаниях кафедры геологии МГГУ (2013-2014 гг.), кафедры геологии и маркшейдерского дела Горного института НИТУ «МИСиС» (2015-2016 гг.), научно-технических советах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», III

Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники» (г. Самара, апрель 2016 г.).

Публикации. Результаты диссертации отражены в 4 опубликованных работах, в т.ч. 2 статьи входят в издания по перечню ВАК Минобрнауки России.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 113 наименований, содержит 64 рисунка и 23 таблицы.

Автор выражает благодарность научному руководителю профессору Ю.И. Кутепову, заведующему кафедрой геологии и маркшейдерского дела МИСиС профессору В.В. Мосейкину, профессорам кафедры А.М. Гальперину, Ю.В. Кириченко и М.В. Щекиной, д.т.н. Н.А. Кутеповой, доценту М.А. Карасеву, сотрудникам ООО НПФ «Карбон» и специалистам ОАО «УК «Кузбассразрезголь» за обсуждение отдельных положений работы и помощь при выполнении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых в Кузбассе и КМА на вскрышных работах наряду с отвалообразованием применяется гидромеханизация, включающая процесс гидравлического складирования пород. В некоторых горно-геологических условиях «сухие» отвалы отсыпаются на гидроотвалах. Изучением вопросов формирования гидроотвалов и отвалов сухой на гидроотвалах занимались: Г.А. Нурок, А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, Е.А. Кононенко, В.В. Мосейкин, Ю.В. Кириченко, И.М. Ялтанец, С.П. Бахаева, А.В. Демченко, О.Ю. Крячко, С.И. Протасов, А.В. Могилин, В.П. Жариков, А. В. Киянец и др. Вопросы устойчивости горнотехнических сооружений нашли свое отражение в работах: Г.Л. Фисенко, И.П. Иванова, В.Г. Зотеева, В.Н. Попова, А.Б. Макарова, В.И. Стрельцова, Е.Н. Завориной и др.

Сформировавшаяся к настоящему времени база знаний по вопросам инженерно-геологического изучения уплотнения-упрочнения намывных пород при их нагружении за счет создания гидроотвалов большой высоты или отсып-

ки «сухих» отвалов, отражает в основном состояния изученности отвальных работ на гидроотвалах в стандартных условиях, не в полной мере удовлетворяя требованиям современных задач интенсификации отвалообразования при применении автосамосвалов повышенной грузоподъемности.

Обеспечение безопасности отвалообразования на гидроотвалах достигается выбором оптимальных параметров сооружений и технологии горных работ, которые, в свою очередь, базируются на знаниях их инженерно-геологических условий и рассматривают данные объекты во взаимодействии друг с другом и природной средой. Данная специфика с позиции геосистемного подхода заставляет изучать сложное образование «отвал+гидроотвал» в рамках природно-технической системы (ПТС), состоящей из компонентов природной среды (ПС) и технической среды (ТС). Элементы технической среды включают в себя горнотехнические сооружения - отвал, гидроотвал или их совокупность. Формирование и функционирование ПТС подчиняется «закону внутреннего динамического равновесия», который регулирует взаимосвязи в системе между отдельными её компонентами, не позволяя каждому из них изменяться без последствий для другого. Любые изменения в системе ставят под угрозу ее существование в первоначальном или проектируемом видах.

Инженерно-геологическое обеспечение функционирования ПТС «отвал - гидроотвал» необходимо осуществлять в соответствии с системой инженерно-геологического обеспечения (СИГО), которая включает комплекс работ и исследований, по трем направлениям: 1 – изучение инженерно-геологических условий отвалообразования; 2 – обоснование оптимальных параметров ПТС; 3 – мониторинг состояния ПТС.

Данная система использовалась при эксплуатации гидроотвала на реке Елань Нарык (рис.1). В дальнейшем ее планируют применять при отсыпке здесь «сухих» отвалов. Гидроотвал намывался с 1997 по 2013 год и представляет собой сооружение овражно-балочного типа с двухсторонним обвалованием высотой более 50 м, площадью 127 га, емкостью 62 млн. м³.

В инженерно-геологическом строении гидроотвала принимают участие техногенные намывные и насыпные отложения, а также породы естественного основания. К насыпным отложениям относятся породы дамб первичного и последующего обвалования, экранов и пригрузов, обеспечивающих устойчивость плотин. Они представлены, в основном, дресвяно-щебенистыми образованиями из вскрышной толщи. Противофильтрационные экраны отсыпаны из четвертичных суглинков эолового и делювиально-пролювиального генезиса.



Рис. 1. План гидроотвала на реке Еланный Нарык

Породы основания гидроотвала в тальвеге лога представлены субаквальными суглинками и глинами, в них встречаются линзы и прослои галечников, песков и супесей, характерных для долин рек. По бортам лога встречены лессовидные и делювиально-пролювиальные суглинки и глины неоген-четвертичного возраста.

Намывные техногенные отложения - наиболее важный элемент гидроотвала, поэтому их изучение является достаточно серьезным научным вопросом. При его решении для конкретного намывного объекта следует использовать обоснованную проф. Ю.И. и Н.А. Кутеповыми схему технолитогенеза намывных отложений, которая «отражает последовательность формирования состава, состояния и свойств техногенных пород гидроотвалов, определяющих природные и технологические факторы, их роль и взаимосвязь на различных этапах». Одним из важнейших элементов данной схемы является состав намывных пород, который закономерно изменяется в массиве в результате фракционирования частиц из потока пульпы по мере ее продвижения по поверхности гидроотвала. Это приводит к закономерной смене в намывном массиве гидроотвала зон песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых пород. Исходя из условий гидроотвала на реке Еланый Нарык, установлены протяженности зон: песчано-супесчаных составляют $0,1L$, суглинистых – $0,4L$ и глинистых пород – $0,5L$, где L – длина гидроотвала.

Одной из основных особенностей намывных массивов, сформированных из глинистых пород, является их нестабильное во времени напряженно-деформированное состояние, связанное с развитием и рассеиванием избыточного порового давления. На исследуемом объекте проведены экспериментальные гидрогеологические наблюдения в плотинах по гидрогеомеханическим станциям контроля устойчивости, выполнены расчеты избыточного порового давления в массиве после завершения эксплуатации гидроотвала, произведено сравнение результатов, полученных расчетных и экспериментальных исследований. Также установлен в плотинах и их основаниях гидродинамический режим в водоносных горизонтах, зависящий от условий питания, интенсивности

намыва гидроотвала и нагружения откосов различными насыпями. Так, плотина №2, где находится пруд-отстойник, обводнена на две трети в отличие от плотины №1, где вода отмечается только в нижней части. Выполнены расчеты консолидации для намывного массива (слоя) по одномерной схеме при нахождении его на водоупоре (рис. 2). Они дали возможность сделать вывод о незавершенности процессов рассеивания избыточного порового давления в породах глинистой и суглинистой зон гидроотвала. Сравнение расчетных и натурных значений порового давления, замеренных в намывном массиве рядом с плотиной №2, подтверждают правильность выполненных расчетов.

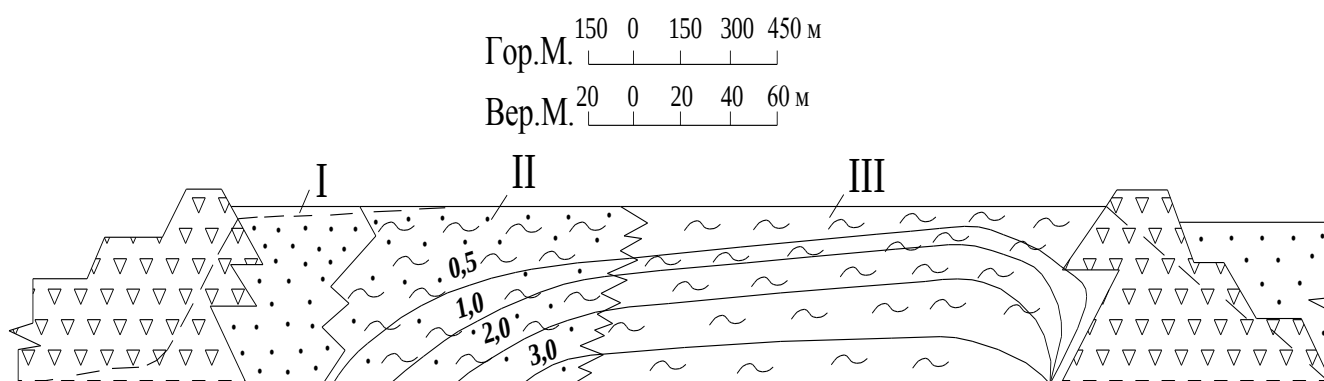


Рис. 2. Изолинии избыточного порового давления в МПа·10⁻¹:
I, II, III – соответственно, песчано-супесчаная, суглинистая и глинистая
зоны в массиве гидроотвала

Нестабильное напряженное состояние намывных массивов сказывается на физико-механических свойствах слагающих их отложений. Выполнено изучение закономерностей изменения свойств при наращивании гидроотвалов и отсыпке на них «сухих» отвалов. Лабораторные исследования параметров плотности, влажности, сжимаемости, сцепления производились при нормальных нагрузках уплотнения от 0,1 до 1,5 МПа. Анализ полученных зависимостей позволил установить диапазон нагрузок 0-0,5 МПа (рис. 3), характеризующийся наиболее интенсивным изменением сцепления намывных пород. Лабораторные исследования физико-механических свойств намывных пород, отобранных в массивах на глубинах, характеризующихся определенными эффективными напряжениями, подтвердили достоверность установленных зависимостей пара-

метров прочности от эффективных напряжений (табл.1). Это позволяет сделать вывод о развитии в нагружаемых намывных массивах процессов уплотнения и упрочнения пород, вызванных возрастанием эффективных напряжений за счет увеличения высоты отвала и рассеивания порового давления. При этом происходит изменение консистенции намывных пород от текучей до мягкопластичной и далее тугопластичной, полутвердой и твердой консистенции. Консистенция пород принята при инженерно-геологическом выделении подзон в намывном массиве.

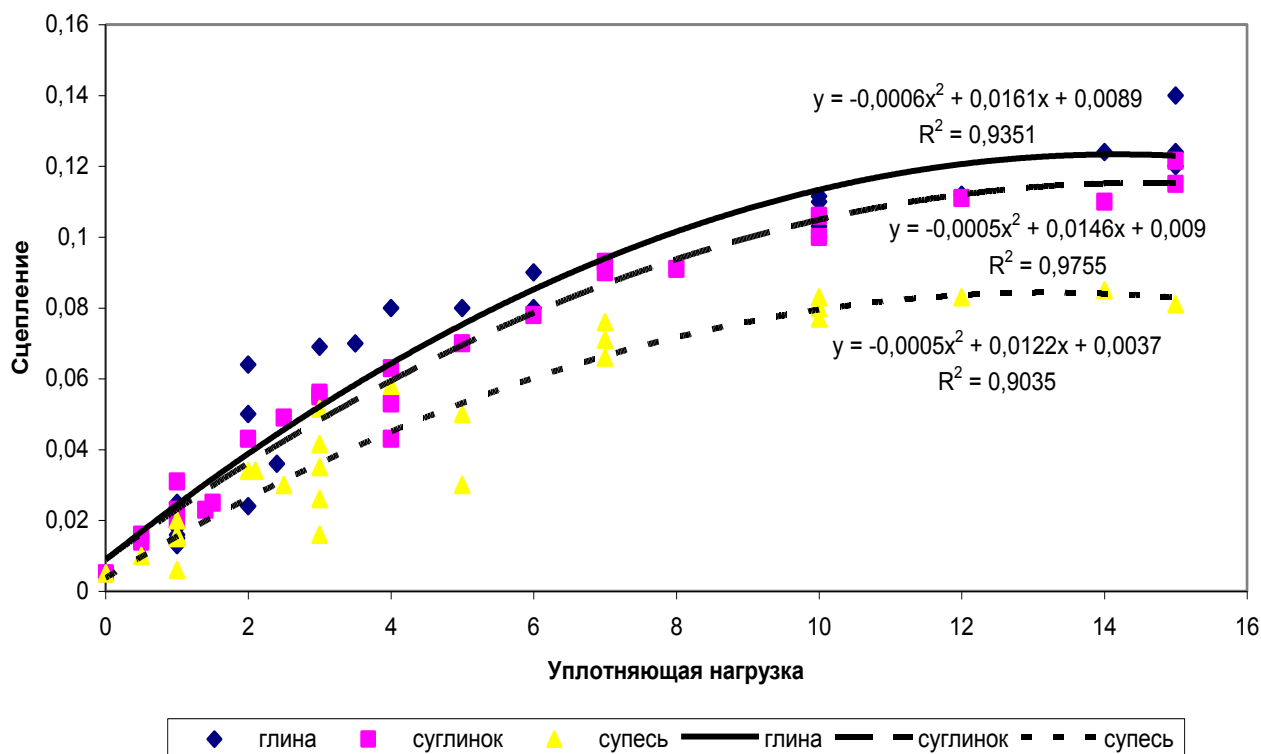


Рис. 3. Изменение сцепления от уплотняющей нагрузки:
 y - сцепление S , МПа; x – уплотняющая нагрузка $\sigma_{упл}$, МПа·10⁻¹

Таблица 1 - Физико-механические свойства намывных глинистых пород

Консистенция пород	$\sigma_{эф}$ в месте отбора образцов, МПа	Влажность, %	Плотность, кг/м ³ · 10 ³	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа
Тугопластичная	0,43	19,5-21,5	1,95	14	0,04
Полутвердая	0,49	18-20,5	1,97	12	0,058

Не менее важным вопросом при инженерно-геологической оценке ПТС «отвал - гидроотвал» являются свойства насыпных пород, которые выполняют активную роль в переформировании намывного массива. Породы «сухих» отвалов Талдинского месторождения представлены обломочным материалом из вскрышных полускальных угленосных отложений кольчугинской (P_2) серии, а также дисперсными отложениями неоген-четвертичного возраста. Основную долю среди них составляют песчаники (31-80%) и алевролиты (14-57%). Выполнены исследования по определению показателей физико-механических свойств, используемых в геомеханических расчетах и при численном моделировании методом конечных элементов (МКЭ). Установлено, что для песчаников, алевролитов и их смесей углы внутреннего трения составляют $28-34^\circ$, сцепление – 0,015-0,025 МПа, плотность – $1,8-1,85 \text{ кг/м}^3 \cdot 10^3$. Для суглинков, смесей полускальных пород и суглинков, а также выветрелых разностей полускальных пород (техногенный элювий) углы внутреннего трения могут снижаться до 10° в зависимости от состава, влажности и соотношения различных фракций пород.

ПТС «отвал+гидроотвал» отличается от простых отвальных сооружений наличием слабого звена - гидроотвала, которое, в большей степени, определяет безопасные условия ее существования. В намывных массивах при нагружении возникают различные процессы и явления, связанные с трансформацией гравитационных полей. Поэтому использование традиционных подходов к обеспечению безопасности ведения отвальных работ на гидроотвалах неприемлемо. Предложенная автором в диссертации система инженерно-геологического обеспечения включает работы по обоснованию оптимальных параметров ПТС с учетом технологических и природных ограничений. Основным инструментарием при этом является расчет устойчивости сооружения при различных условиях нагружения; переменных свойствах пород, структуры и формы намывных массивов; формировании и рассеивании избыточного порового давления; возникновении оползневых смещений и специфических деформаций выдавливания-

замещения при отсыпке первого отвального яруса. Расчеты рекомендуется выполнять с использованием аналитических решений теории предельного равновесия или численного моделирования МКЭ.

Формирование ПТС «отвал+гидроотвал» на равнинных и склоновых участках сопровождается развитием следующих гравитационных геологических процессов и явлений: оползней; оседаний, вызванных вылавливанием пород основания; осадок, связанных с уплотнением пород; оплывин. Каждый из них проявляется при взаимодействии отвалов и гидроотвалов в зависимости от конкретных технологических и инженерно-геологических условий. Выполнен анализ 12 случаев нарушения устойчивости откосов гидроотвалов, девять из которых произошли из-за снижения прочности техногенных пород в откосах при их увлажнении и возрастании избыточного порового давления. Два других нарушения вызваны уменьшением несущей способности пород основания за счет формирования напорного водоносного горизонта, еще одно - связано с нарушением гидрологического режима гидроотвала и образованием прорана.

Анализ опытной отсыпки отвального яруса на гидроотвале на реке Елань Нарык и подобных исследований на других объектах Кузбасса позволил установить основные закономерности деформационного поведения откосов высотой от 7 до 50 м, которые сводятся к следующему:

- протяженность оползающего блока по фронту определяется шириной участка, на котором ведутся интенсивные отвальные работы;
- ширина призмы возможного оползания изменялась от 8 до 50 м в зависимости от высоты отвала (H), составляя $1 - 3H$, и интенсивности подвигания отвального фронта;
- глубина внедрения насыпных пород в намывной массив определяется гранулометрическим составом и, соответственно, прочностью намывных пород, составляет для супесей и суглинков величину менее $0,5H$, а для более слабых глинистых осадков - более $0,5H$, достигая в отдельных случаях H ;
- скорость оползневых смещений отвалов (V), отсыпаемых на «слабом» намывном основании, зависит от высоты отвала; на основании анализа ре-

зультатов наблюдения за изменением скоростей деформаций отколов отвалов различной высоты получена зависимость $V=0,015H$ м/сут.

Основной геомеханической задачей, решение которой необходимо для обоснования ПТС и технологии отвальных работ, является прогноз величины «внедрения-выдавливания» при развитии гравитационных процессов на откосах отвального яруса. В настоящее время отсутствуют методы расчета подобных явлений, что связано, по всей видимости, с необходимостью учета больших величин пластических деформаций, развивающихся в «слабых» намывных породах при нагрузках, значительно превосходящих их несущую способность. В первом приближении в работе разработан метод математического моделирования процесса «внедрения-выдавливания».

Традиционно численное моделирование большинства геомеханических процессов осуществляется методом конечных элементов (МКЭ) в постановке Лагранжа, когда материал жестко связан с узлами элементной сетки. Однако при наличии больших деформаций происходит значительное искажение элементной сетки, что, с определенного момента, приводит к накоплению недопустимых погрешностей при определении первичных (усилия, перемещения) и вторичных переменных (напряжения и деформации), а в последующем - к значительному расхождению решения. Альтернативой этой постановки является постановка Эйлера, в которой узлы элементной сетки остаются неподвижными, а материал перемещается через элементную сетку. Такой подход исключает искажения элементной сетки, качество которой определяется только ее начальным состоянием. Однако отслеживать свободные поверхности, характеризующие границы материала, весьма проблематично, т.к. в Эйлеровой постановке элемент может быть заполнен материалом не полностью.

Представленный выше подход реализован в качестве базового функционала в программном комплексе для выполнения многоцелевых прочностных расчетов Abaqus/Explicit, который использовался для численного моделирования отсыпки отвала высотой 20 м на гидроотвале разреза «Талдинский». Произведено пошаговое моделирование отсыпки отвала на намывном массиве

(рис. 4). Анализ его результатов позволяет установить, что максимальное внедрение, сопоставимое с мощностью насыпи, происходит в глинистой зоне непосредственно у дамбы №2, а минимальное - у дамбы №1 в песчано-супесчаной зоне. Этот результат хорошо согласуется с данными натурного изучения величины «внедрения-выдавливания» на других гидроотвалах Кузбасса.

После завершения отсыпки первого отвального яруса намывной массив изменяет свою мощность на величину «внедрения – выдавливания». При дальнейшем его нагружении следующими отвальными ярусами также происходит неравномерное уменьшение мощности намывных пород, но уже за счет развития процесса фильтрационной консолидации, который сопровождается образованием и рассеиванием во времени избыточного порового давления.

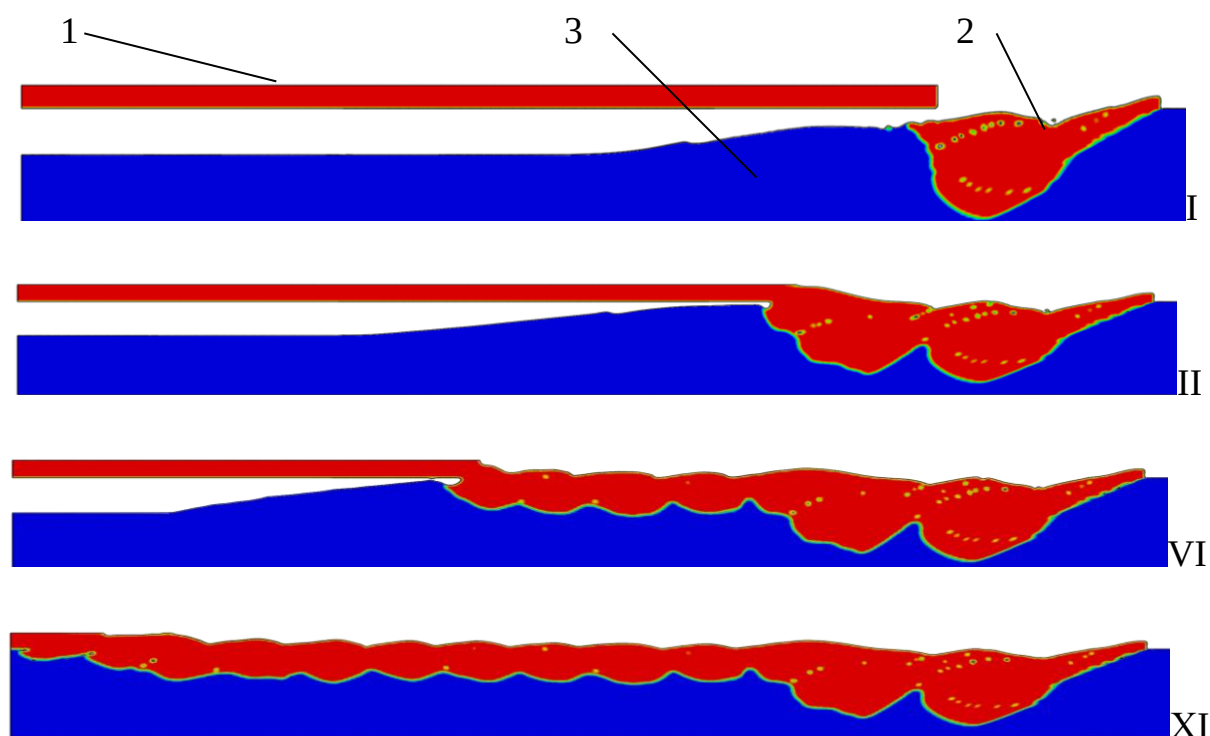


Рис. 4. Моделирование процесса внедрения насыпи в намывной массив при отсыпке отвала на гидроотвале:

I, II, VI, XI – этапы формирования отвального яруса; 1 – верхняя граница отвального яруса; 2 – деформируемый отвальный блок; 3 – намывной массив

В работе выполнен прогноз избыточного порового давления в нагружаемом намывном массиве численным моделированием МКЭ в двухмерной

(плоской) постановке с использованием программного комплекс Abaqus. Определение величин избыточного порового давления в намывных породах производилось для выделенных зон при различных интенсивностях нагружения, а именно: отсыпки 90-метрового отвала за 5, 10, 15 лет. Анализ результатов моделирования (рис. 5) позволяет отметить, что наибольшие значения избыточного порового давления в нагружаемых отвалами намывных массивах возникнут в породах глинистой зоны, а наименьшие – в суглинистой. При отсыпке отвала на участке песчано-супесчаной зоны избыточное поровое давление в намывных породах практически не будет образовываться. Установлены также величины избыточного порового давления при самой высокой интенсивности отвальных работ, обеспечивающей отсыпку отвала за 5 лет.

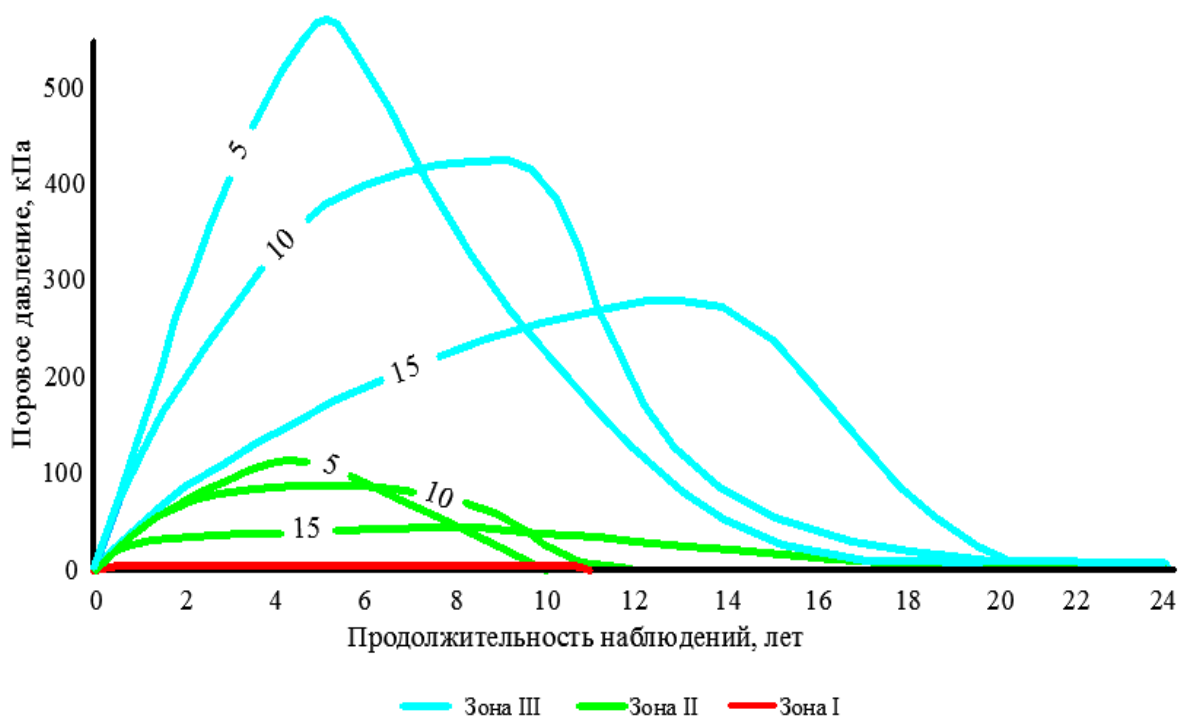


Рис. 5. Графики избыточного порового давления

Полученное в результате моделирования распределение избыточного порового давления в намывном массиве использовалось для оценки устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» на различных этапах формирования. Для геомеханических расчетов применялись методы ВНИМИ и Спенсера, позволяющие учитывать изменения гидродинамических условий в намывном массиве.

Выполненные расчеты показали, что устойчивость ПТС «отвал+гидроотвал» в районе плотины №1 обеспечивается при результирующем угле откоса 15° и последовательной отсыпке четырех ярусов высотой 20, 20, 20 и 30 метров. Устойчивый результирующий угол откосов ПТС в районе плотины №2 в зависимости от интенсивности отвальных работ может изменяться от 12° до 15° .

Установленное в работе деформационное поведение отсыпаемых на гидроотвале отвальных насыпей и произведенные геомеханические расчеты позволили обосновать технологию отвалообразования с применением бульдозеров и автосамосвалов грузоподъемности до 320 тонн, базирующуюся на следующих принципах и ограничениях:

- при формировании первого отвального яруса допускаются деформации отсыпаемых откосов;
- формирование внешних откосов ПТС «отвал - гидроотвал», а также отсыпка второго и последующих отвальных ярусов должна производиться с обеспечением устойчивости откосов;
- не допускается перемещение оползших отвальных масс и выдавленных из-под отвала намывных пород за пределы земельного отвода под гидроотвал.

При обосновании высоты первого отвального яруса использовались установленные на основании опытно-промышленных экспериментов и моделирования МКЭ закономерности гравитационных процессов, проявляющихся при взаимодействии насыпных и намывных массивов. Рекомендовано отсыпку первого яруса осуществлять при высоте 20 метров, которая обеспечит глубину «внедрения-замещения» насыпных пород в намывные до 20 метров при скоростях деформационного процесса в период активной стадии около 0,3 м/сут. В связи с этим направление развития отвальных работ на гидроотвале следует принять от его внешних границ к центру, используя блоковую отсыпку заходками шириной 60-100 м и последовательную их смену по фронту. Работы на каждой заходке следует производить до развития критического состояния, после чего они должны переноситься на следующий отвальный блок и т.д. Последовательное перемещение отвальных работ по периметру сооружения обеспе-

чивает необходимый фронт и запас времени для стабилизации оползневого процесса. Критическое состояние определяется по следующим признакам: 1) происходит полное оконтуривание оползневого тела трещиной отрыва; 2) наблюдается прогрессирующий характер развития деформационного процесса (значительно нарастает скорость смещений) или превышение установленной критической скорости $V = 0,015H$ м/сут, где H – высота отвального яруса. Работы на данном блоке могут быть возобновлены при затухании деформаций и уменьшении скорости до значений $V = 0,0015H$ м/сут.

При формировании ПТС «отвал+гидроотвал» следует обеспечивать устойчивость внешних откосов, в первую очередь, сохраняя целостность существующих плотин – основных подпорных элементов конструкции проектируемого сооружения. Кроме того, необходимо соблюдать устойчивость откосов, формируемых второго и последующих ярусов отвала.

Одной из основных проблем при формировании отвалов на гидроотвалах с использованием автосамосвалов повышенной грузоподъемности является опасность их работы в моменты разгрузки на отвале. В соответствии с «Правилами безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом» (ПБ 05-619-03) автосамосвал при разгрузке на отвале должен находиться у предохранительного вала «вне призмы возможного оползания». В работе с использованием инженерных методов расчета и численного моделирования МКЭ в плоской и объемной постановках выполнена оценка устойчивости откосов отвалов при разгрузке автосамосвалов БелАЗ 75306 и БелАЗ 75600 грузоподъемностью 220 и 320 тонн. Анализ результатов исследований позволяет отметить следующее:

- при формировании предохранительного вала высотой 2 метра (что равно половине высоты колеса автосамосвала БелАЗ 75600) его размеры понизу будут составлять 6,5 м; при наличии призмы возможного оползания таких размеров коэффициент запаса устойчивости превышает нормативное значение равное 1,2; это позволяет производить разгрузку автосамосвалов у предохранительного вала за пределами призмы возможного оползания;

- нагрузку от автосамосвала можно рассматривать как отдельно передаваемую с каждого его колеса, так и в виде равномерно распределенной по всей площади его основания; для рассмотренных условий отличие в результатах расчетов составило не более 2-3%;

- при выполнении расчетов в плоско-деформационной постановке коэффициент запаса устойчивости имеет меньшее значение на 5-7 %, чем в случае объемного нагружения;

- при расстоянии задних колес автосамосвала до бровки откоса, равном 6,5 м и полной загрузке автосамосвала его влияние на устойчивость откоса незначительно.

Обязательным условием обеспечения безопасности формирования и функционирования ПТС «отвал+гидроотвал» является организация и выполнение мониторинга безопасности (МБ) на всех этапах ее существования. Основные задачи МБ - контроль состояния устойчивости внешних откосов динамической ПТС «отвал+гидроотвал» и безопасности технологических процессов отвалообразования, а также наблюдения за деформациями откосов первого отвального яруса. МБ ПТС «отвал+гидроотвал» должен включать периодические наблюдения и измерения, обеспечивающие технические службы предприятий качественной и достоверной информацией о ее состоянии в необходимых объемах для принятия управленческих решений по обеспечению устойчивости системы в целом и безопасности выполнения горных работ. МБ использует методы и средства гидрогеологической, маркшейдерской, инженерно-геологической и технологической направленности.

Результаты работы могут быть использованы организациями при разработке проектов ликвидации гидротехнических сооружений, производственными предприятиями, осуществляющими отсыпку отвалов на гидроотвалах, а также научными учреждениями, разрабатывающими обоснование функционирования сложных ПТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи инженерно-геологического обоснования параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ для обеспечения промышленной и экологической безопасности отвалообразования при формировании и функционировании сложных природно-техногенных систем «отвал+гидроотвал».

Выводы и результаты, принадлежащие лично автору:

1. Выполнен анализ применяемых при открытой разработке месторождений полезных ископаемых технологий отвальных работ на гидроотвалах, параметров ПТС «отвал+гидроотвал» и их инженерно-геологических условий. Обосновано применение при отвалообразовании на гидроотвалах наиболее технико-экономически обоснованной и эффективной схемы автомобильно-бульдозерного отвалообразования. Показано, что функционирующие в настоящий момент времени в Кузбассе ПТС «отвал+гидроотвал» имеют высоту менее 100 м и сформированы при низкой интенсивности горных работ.

2. Установлены закономерности формирования ПТС «отвал + гидроотвал» посредством теоретического рассмотрения вопросов технолитогенеза, гидрогеомеханики и геодинамических процессов, а также экспериментального их изучения на конкретном объекте. Выявлены основные факторы, определяющие устойчивость внешних откосов ПТС, выделены инженерно-геологические элементы и обоснованы показатели физико-механических свойств для выполнения геомеханических расчетов и численного моделирования.

3. Изучены закономерности деформационного поведения отвальных насыпей при их отсыпке непосредственно на поверхность гидроотвала и в откосных частях сооружения. Разработана методология прогноза изменения формы и строения намывного массива гидроотвала при отсыпке на нем сухого отвала в режиме постоянного деформирования откосов, предполагающая использование численного моделирования методом конечных элементов в Эйлеровой постановке. Показаны формоизменение и трансформирование структуры намывного массива гидроотвала на реке Еланный Нарык в зависимости от интенсивности его нагружения.

4. Выполнен прогноз напряженно-деформированного состояния намывного массива при его нагружении отвалами «сухой» вскрыши в зависимости от интенсивности горных работ с применением двухмерной схемы консолидации и использованием численного моделирования МКЭ. Получены зависимости распределения избыточного порового давления в намывном массиве при различном режиме нагружения и установлены максимальные его значения в породах глинистой зоны. Данная гидрогеомеханическая информация использовалась в расчетах устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» при определении ее максимальных параметров.

5. Обоснована технология отвальных работ на гидроотвалах с применением бульдозеров и автосамосвалов повышенной грузоподъемности, учитывающая специфику намывных пород и особенности деформационного поведения намывных массивов при отсыпке на них отвалов. Определены высоты и порядок формирования отвальных ярусов, при этом допускается осуществлять отсыпку первого яруса в режиме контролируемого деформирования откосов, а последующих - при их обязательном обеспечении.

6. Определена с использованием расчетов устойчивости нагруженных откосов методами предельного равновесия и численного моделирования МКЭ на основе решения плоских и объемных задач призма возможного оползания и обосновано безопасное расстояние между верхней бровкой откоса и задними колесами автосамосвалов грузоподъемностью до 320 тонн. Это позволяет производить разгрузку автосамосвалов на отвале у предохранительного вала высотой 2 м.

7. Предложено в качестве обязательного мероприятия обеспечения безопасности формирования и функционирования ПТС «отвал+гидроотвал» на всех этапах существования производить мониторинг промышленной и экологической безопасности. Определены цели, задачи и виды мониторинга при отсыпке отвалов на гидроотвале.

8. Результаты работы могут быть использованы организациями при разработке проектов ликвидации гидротехнических сооружений, производственными предприятиями, осуществляющими отсыпку отвалов на гидроотвалах, а

также научными учреждениями, разрабатывающими обоснование функционирования сложных ПТС.

Публикации по теме диссертации:

1. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Карасев М.А., Фоменко Н.Г. Геомеханическое обоснование отсыпки отвалов «сухих» пород на гидроотвалах. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. - № 3. - С. 220-225.

2. Фоменко Н.Г. Обоснование параметров отвальных насыпей, размещаемых на гидроотвалах. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - №5. – 2015. – С. 401-405.

3. Фоменко Н.Г. Геологическое обеспечение отсыпки отвалов сухих пород на гидроотвале «Еланный Нарык» в Кузбассе. // Деп. рук. №1069/6-16 от 14.03.16 (6 с.) //Горный информационно-аналитический бюллетень. - №6.

4. Фоменко Н.Г. Инженерно-геологическое обоснование формирования отвальных насыпей на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ // Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники» (г.Самара, апрель 2016 г., (<http://izron.ru/conference>)). – Самара: 2016. – вып.III. – С.65-69.