

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»**

На правах рукописи



МИРОНЕНКО ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
КОМБИНИРОВАННОЙ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕУКЛАДКИ ПОРОД ГИДРООТВАЛОВ**

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук
доцент С. И. Протасов

Кемерово 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПЕРЕУКЛАДКИ ПОРОД ГИДРООТВАЛОВ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА.....	10
1.1. Опыт разработки и перспективы перемещения пород, намытых в гидроотвалы Кузбасса	10
1.2. Закономерности формирования гидроотвалов, состав и физико- механические свойства намытых горных пород.....	18
1.3. Возможности существующих гидромеханизированных технологий и технических средств для разработки и перемещения пород, намытых ранее в гидроотвал.....	27
1.3.1. Разработка пород землесосными снарядами.....	27
1.3.2. Разработка пород гидромониторно-землесосным комплексом....	30
1.3.3. Гидромониторно-землесосный комплекс с применением экскаваторного рыхления.....	31
1.4. Выводы, цель и задачи исследования.....	34
2. ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЗОНИРОВАНИЯ НАМЫВНОГО МАССИВА ГИДРООТВАЛА ПО ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПОРОД И РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ИХ БЕЗОПАСНУЮ И ЭФФЕКТИВНУЮ ПЕРЕУКЛАДКУ	38
2.1. Алгоритм выбора технических и технологических решений по разработке и перемещению пород гидроотвалов.....	38
2.2. Обоснование критериев зонирования намывного массива по физико-механическим свойствам пород.....	47
2.3. Разработка способов комбинированной гидромеханизированной переукладки пород гидроотвалов.....	50
Выводы.....	56
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЕЙ ГИДРОМОНИТОРА И ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСАРЯДА ОТ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД НАМЫВНОГО МАССИВА.....	59
3.1. Теоретические зависимости производительностей гидромонитора и грунтового насоса земснаряда.....	59
3.2. Анализ факторов, влияющих на производительность гидрокомплекса при совместной работе гидромонитора и земснаряда	68
3.3. Теоретические зависимости производительности гидрокомплекса от напора гидромонитора и удельного расхода воды.....	75
Выводы	80

4.	РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПЕРЕУКЛАДКИ ПОРОД ГИДРООТВАЛОВ.....	83
4.1.	Алгоритм расчета параметров комбинированной гидромеханизированной технологии.....	83
4.2.	Внедрение результатов исследований по применению гидрокомплекса для переукладки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец»	90
4.3.	Технико-экономические показатели внедрения результатов исследований на разрезе АО «Черниговец».....	101
	Выводы	103
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	105
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	109
	Приложение 1. Распределение грунтов на группы по трудности их разработки средствами гидромеханизации.....	118
	Приложение 2. Справка о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы в учебном процессе.....	122
	Приложение 3. Акт ООО «СИГД» об использовании результатов диссертационной работы.....	123

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Известно, что экономически более целесообразно вводить в отработку промышленные запасы полезного ископаемого, расположенные в непосредственной близости от успешно работающих предприятий, для которых создана современная производственная и транспортная инфраструктура, способная обеспечить их дальнейшую устойчивую работу. Препятствием для такого направления развития угледобычи является то, что на целом ряде угольных карьеров Кузбасса доступ к промышленным запасам угля перекрыт гидроотвалами с намытыми в них ранее четвертичными породами, которые в связи с этим требуется переуложить в новые емкости.

Примером таких объектов является гидроотвал №2 разреза АО «Черниговец», расположенный над промышленными запасами угля в объеме 14 млн т, для добычи которого требуется переуложить из гидроотвала №2 в новую емкость более 19 млн м³ пород, находящихся большей частью в неконсолидированном состоянии. Потребность переукладки пород из гидроотвалов существует и у ряда других разрезов Кузбасса, которые в первые годы своей эксплуатации смогли быстро освоить производственную мощность разрезов за счет гидромеханизированной технологии разработки четвертичных отложений, которые разместили в гидроотвалы, расположенные, как правило, вблизи первоначальных границ карьера над промышленными запасами угля.

Первый опыт разработки и перемещения на новое место пород, намытых ранее в гидроотвал № 3 разреза «Кедровский», показал, что в процессе традиционной для Кузбасса гидромониторно-землесосной разработки пород ядерной неконсолидированной зоны гидроотвала неоднократно происходили оползневые явления, которые приводили к аварийным ситуациям и выходу из строя оборудования. Анализ ранее проведенных исследований показал, что это происходило в первую очередь из-за того, что технология и оборудование, принятые для разработки пород гидроотвала, не соответствовали свойствам разрабатываемых пород. При этом было подтверждено различие свойств пород в зонах по длине гидроотвала от точки сброса пульпы, выяв-

ленное ранее рядом ученых. Однако обоснованных рекомендаций по безопасной и эффективной технологии отработки пород разных зон гидроотвала, в первую очередь неконсолидированных пород, до сих пор не предложено.

В этой связи исследования по обоснованию технологии и оборудования для безопасной и эффективной разработки пород, намытых ранее в гидроотвал, и переукладки их в новую емкость являются актуальной научно-практической задачей. Исследования выполнены в соответствии с планом НИР КузГТУ, зарегистрированном в ЕГИСУ НИОКТР АААА-А20-120030700002-7, с учетом Программы развития угольной промышленности России на период до 2030 года и плана НИР АО «СДС-Уголь».

Целью работы является разработка и обоснование параметров комбинированной гидромеханизированной технологии переукладки пород гидроотвалов, обеспечивающей безопасность и эффективность ведения горных работ.

Идея работы заключается в учете зональности физико-механических свойств намывного массива гидроотвала при выборе земснаряда и гидромонитора и технологических параметров их применения для разработки и переукладки пород гидроотвала.

Объектом исследований являются гидроотвалы четвертичных вскрышных пород разрезов Кузбасса.

Предмет исследования:

Параметры технологии комбинированной гидромеханизированной разработки четвертичных вскрышных пород, ранее намытых в гидроотвал.

Задачи исследования:

1. Обосновать критерии зонирования намывного массива гидроотвала по физико-механическим свойствам пород и способы, обеспечивающие безопасную и эффективную комбинированную технологию их разработки.

2. Установить зависимости производительностей гидромонитора и грунтового насоса земснаряда от физико-механических свойств намывного массива.

3. Разработать алгоритм расчета рациональных параметров комбинированной технологии гидромеханизированной разработки и переукладки пород гидроотвалов.

Основные научные положения, выносимые на защиту

1. Безопасная и эффективная технология разработки намывного массива гидроотвала обеспечивается разделением его объема на три зоны: песчано-супесчаных пород мягко-пластической консистенции с диапазоном угла внутреннего трения $\varphi = 17\text{--}27^\circ$ (I); суглинистых пород текучей и мягко-пластической консистенции, $\varphi = 13\text{--}16^\circ$ (II); неконсолидированных глинистых пород, $\varphi = 5\text{--}10^\circ$ (III), при этом в первую очередь разрабатывают породы III зоны землесосным снарядом; II зоны – гидромониторно-землесосным комплексом; на стыке III и II зон – комбинированным способом при совместном применении земснаряда и гидромонитора, а породы I зоны – гидромониторно-землесосным комплексом после рыхления экскаватором.

2. Повышение производительности переукладки пород III и II зон гидроотвала в 1,2–1,84 раза и сокращение затрат более чем на 50 % обеспечивается рациональным сочетанием производительностей грунтового насоса земснаряда и гидромонитора, которые определяют по установленным нелинейным зависимостям от пористости пород и удельного расхода воды на их разработку.

3. Алгоритм определения рациональных параметров комбинированной технологии разработки и переукладки пород гидроотвала включает расчет суммарной величины удельных затрат при различных типах земснарядов и гидромониторов, физико-механических свойств пород с учетом их зональности с использованием нелинейных зависимостей производительности гидрокомплекса от напора на насадке гидромонитора и удельного расхода воды,

выбор технологических параметров, соответствующих минимуму этих затрат.

Новизна научных положений состоит в следующем:

1. Установлены количественные критерии пространственного зонирования намывного массива гидроотвала по показателям консистенции и величины угла внутреннего трения, обеспечивающие рациональную комбинацию оборудования для гидромеханизированной разработки и переукладки пород гидроотвала.

2. Обоснованы принципы рационального сочетания производительности грунтового насоса земснаряда и гидромонитора, основанные на комплексе нелинейных зависимостей от пористости пород и удельного расхода воды на их разработку.

3. Разработан общий алгоритм определения рациональных параметров комбинированной технологии гидромеханизированной разработки пород гидроотвалов, обеспечивающий минимизацию удельных затрат за счет совместного использования земснаряда и гидромонитора с учетом зональности свойств намывных пород и использования нелинейной зависимости производительности гидрокомплекса от напора на насадке гидромонитора и удельного расхода воды.

Теоретическое значение заключается в установлении зависимостей изменения основных параметров гидромеханизированной технологии разработки пород гидроотвала при совместном применении земснарядов и гидромониторов от горнотехнических условий работы оборудования.

Практическое значение заключается в разработке методики расчета параметров гидромеханизированной технологии разработки и переукладки пород, намывных ранее в гидроотвал, землесосным снарядом и гидромонитором.

Методы исследований. В работе использован комплекс методов: анализ результатов выполненных ранее теоретических и экспериментальных работ по инженерно-геологическим изысканиям свойств пород гидроотвалов;

обобщение сведений, содержащихся в научно-технической и специальной литературе, а также опыта применения гидромеханизации при разработке четвертичных вскрышных пород на карьерах; методы прикладной математики и математической статистики; технико-экономический анализ с использованием стоимостных параметров.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечиваются корректной постановкой задач исследований, использованием апробированных методов расчетов гидромеханизации и математической статистики, а также положительным опытом апробации разработанной комбинированной гидромеханизированной технологии в проекте разработки и переукладки пород из гидроотвала №2 на разрезе АО «Черниговец».

Личный вклад автора заключается в анализе и обобщении результатов анализа опыта работы гидроотвалов Кузбасса, а также исследований физико-механических свойств пород, намытых в гидроотвалы; в проведении патентных исследований по вопросам новизны предлагаемых в работе технических решений; в аналитическом исследовании взаимосвязи параметров технологии при комбинированной совместной разработке пород гидромонитором и землесосным снарядом, когда параметры технологических схем и оборудования соответствуют свойствам пород отрабатываемых зон гидроотвала; в разработке методики и алгоритма обоснования рациональных параметров гидромеханизированной технологии переукладки пород гидроотвалов.

Апробация работы. Содержание и основные положения диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на научных конференциях: VI Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (г. Прокопьевск, 2018 г.), VII и VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» (г. Екатеринбург, 2018 и 2019 гг.), XVI и XVIII Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс» (г. Кемерово, 2018-2020 гг.), , на совещаниях в

ООО «СИГД» (г. Кемерово, 2019 г.) и АО «Черниговец» (г. Березовский, 2019, 2020 гг.) и АО «СДС-Уголь» (г. Кемерово, 2020 г.), XI, XII и XIII Всероссий. науч.-практ. конф. «Россия молодая» (г. Кемерово, 2019-2021 гг.), на заседаниях кафедры ОГР КузГТУ (г. Кемерово, 2017-2021 гг.).

Публикации. Основные результаты диссертации содержатся в 17 опубликованных работах, в том числе 5 из них в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 2 – в изданиях, индексируемых международной базой данных Scopus, получены также 3 патента РФ на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 124 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 113 наименований, содержит 28 рисунков, 24 таблицы и три приложения.

Автор выражает признательность коллективу кафедры «Открытые горные работы» КузГТУ за ценные советы и поддержку при выполнении исследований.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПЕРЕУКЛАДКИ ПОРОД ГИДРООТВАЛОВ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

1.1. Опыт разработки и перспективы перемещения пород, намытых в гидроотвалы Кузбасса

Известно, что наиболее эффективно вводить в отработку промышленные запасы полезного ископаемого, расположенного в непосредственной близости от успешно работающих предприятий, на которых создана производственная и транспортная инфраструктура, работает грамотная команда профессионалов. При этом на целом ряде угольных карьеров Кузбасса доступ к промышленным запасам угля перекрыт гидроотвалами с намытыми в них ранее четвертичными породами, которые в связи с этим требуется переуложить в новую емкость.

Одним из таких объектов является гидроотвал №2 разреза АО «Черниговец», расположенный над промышленными запасами угля, объем которых составляет порядка 14 млн т, для добычи которого потребуются переуложить из гидроотвала №2 в новую емкость более 19 млн м³ пород (рисунок 1.1), находящихся большей частью в неконсолидированном состоянии. Аналогичная потребность переукладки пород из гидроотвалов существует и у целого ряда других разрезов Кузбасса, которые в первые годы своей эксплуатации смогли быстро освоить производственную мощность и обеспечить безопасность работы горнотранспортного оборудования за счет гидромеханизированной технологии разработки на верхних горизонтах четвертичных отложений, размещаемых в гидроотвалах, расположенных, как правило, вблизи первоначальных границ карьера над промышленными запасами угля.

При рассмотрении вопроса о перемещении четвертичных вскрышных пород, уложенных ранее в гидроотвал, необходимо:

– проанализировать передовой производственный опыт ведения подобных горных работ;

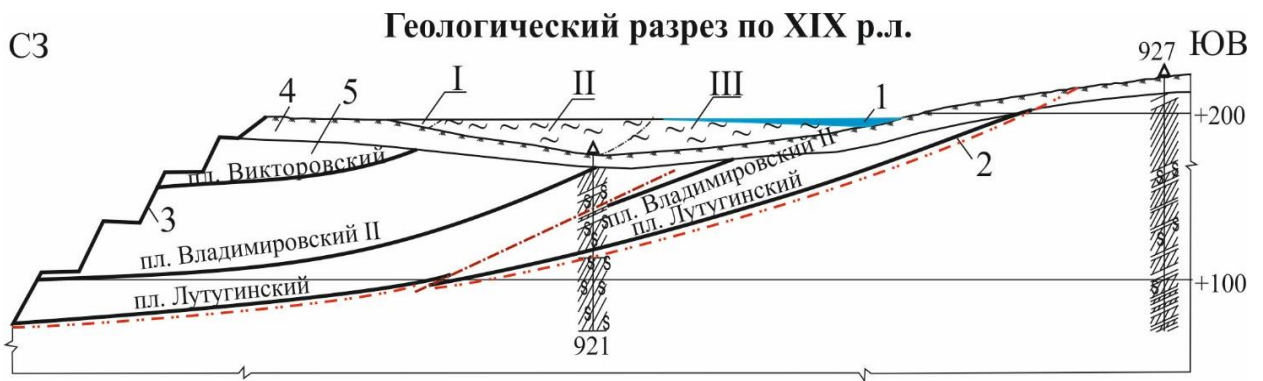


Рисунок 1.1 – Схема расположения гидроотвала №2 АО «Черниговец» над промышленными запасами угля:

1 – вода в прудке гидроотвала №2; 2 – границы карьера; 3 – борт карьера; 4 – четвертичные отложения; 5 – коренные скальные породы; I – зона песчано-супесчаных пород; II – зона суглинистых пород; III – зона обводненных неконсолидированных глинистых пород

– учитывать результаты исследований, которые связаны с изучением сегрегации намываемых пород, их гранулометрического состава в различных зонах намыва, динамики несущей способности поверхности намывных отложений;

– при реализации проекта использовать, при необходимости, существующие методы натурного контроля состояния разрабатываемого массива.

При этом необходимость обеспечения безопасности горных работ при разработке и перемещении пород гидроотвалов требуют актуализированные Федеральные Законы № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [104] и № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [105], введенные в действие 21.07.1997 г.

Специалистам известно, что гидроотвалы – сооружения повышенной опасности в плане устойчивости их откосов и возможного негативного воздействия на окружающую среду: загрязнение воздуха, подземных и поверхностных вод, а также почвенного покрова прилегающих территорий [12].

Гидроотвал № 3 разреза «Кедровский» одним из первых подвергся переукладке из него пород и стал своеобразным испытательным полигоном [81,

106, 107]. Он расположен в пойме реки Чесноковка и представляет собой сооружение овражно-балочного типа (рисунок 1.2).

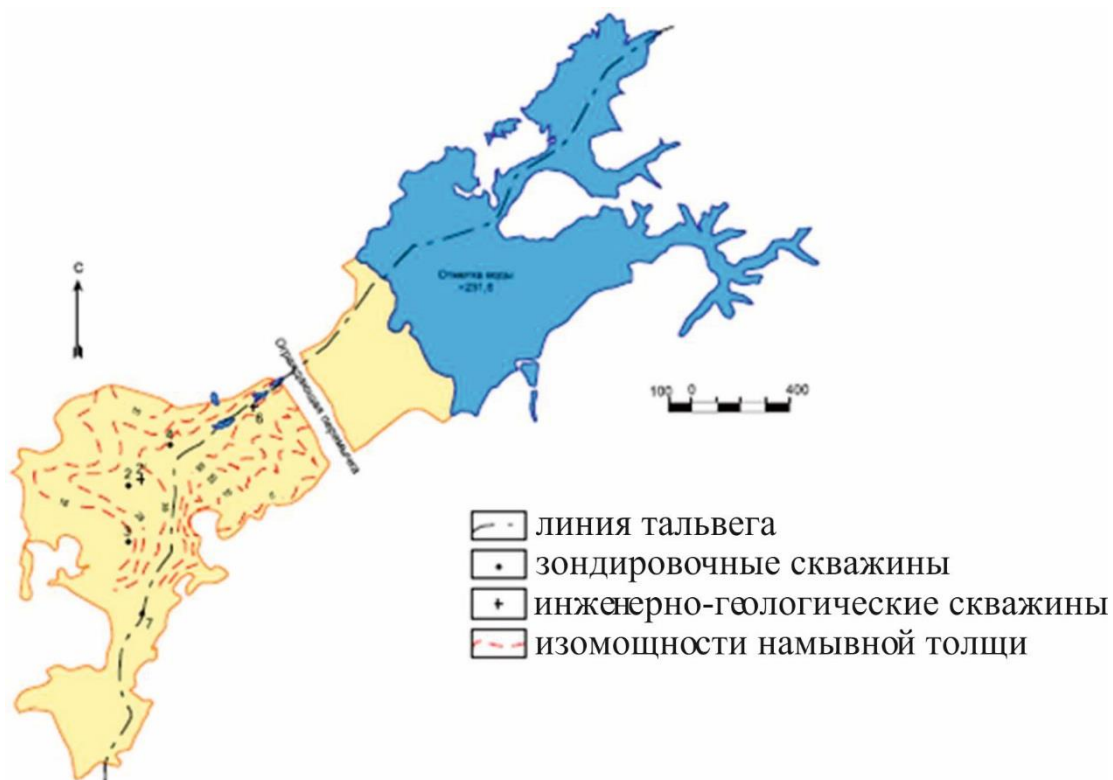


Рисунок 1.2 – Гидроотвал № 3 разреза «Кедровский» с нанесенными точками зондирования и отбора проб

В 1958 г. после одностороннего обвалования была начата его эксплуатация, которая продолжалась до 1979 г. Намыв гидроотвала производился от дамбы.

В период 1970–1972 гг. в породах естественного основания вдоль гидроотвала был построен канал (пульповодная канава), по которому осуществляли выпуск гидросмеси в северо-восточную часть гидроотвала. В последующие годы выпуск пульпы осуществлялся со склона вдоль западной части гидроотвала. Таким образом, за годы эксплуатации выпуск пульпы осуществлялся со всех сторон, кроме восточной, поэтому по всему контуру гидроотвала, кроме восточной стороны, образовалась песчано-супесчаная зона, шириной до 300 м, характеризующаяся грубо дисперсионным составом намывных отложений мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения $\varphi = 17\text{--}27^\circ$). Непосредственно за песчано-супесчаной зоной идет зона сугли-

нистых отложений, которая характеризуется наличием пород текучей и мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения $\varphi = 13\text{--}16^\circ$) и занимает значительную часть площади гидроотвала. Пруд-отстойник на протяжении всего периода эксплуатации располагался в средней части сооружения и вдоль восточной стороны гидроотвала, поэтому на этом участке гидроотвала сформировалась глинистая зона с породами текучей и мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения $\varphi = 5\text{--}10^\circ$).

На момент окончания намыва дамба гидроотвала № 3 представляла собой сооружение, состоящее из дамбы первичного обвалования и восьми дамб наращивания, общей высотой 53 м. Площадь гидроотвала составляла 292 га, его емкость 48 млн м³, мощность намывных отложений достигала 45 м. В таком состоянии гидроотвал был законсервирован в 1990 г. [82, 89, 90].

В 1999 г. при рассмотрении планов перспективного развития горных работ разрезом «Кедровский» было принято решение о расконсервации 37 млн т промышленных запасов угля в целике под гидроотвалом № 3, так как горные работы на юге участка «Основное поле», обеспечивающего большую часть добычи разреза, подошли вплотную к границе целика под гидроотвалом №3 и это стало сдерживать дальнейшее развитие горных работ и поддержание производственной мощности разреза.

Поэтому для увеличения срока службы предприятия и своевременной подготовки запасов, руководством разреза было принято решение о проведении комплекса работ по изучению возможности выемки запасов угля под замытыми ранее рыхлыми четвертичными отложениями на площади гидроотвала № 3.

В 2000 г. с применением гидромониторно-землесосных комплексов стали разрабатывать породы, которые были уложены в этот гидроотвал, и в первые несколько лет перемещать их по трубопроводу за разделительную переемычку, отсыпанную поверх намывных пород гидроотвала (рисунок 1.3) [34, 35, 82].

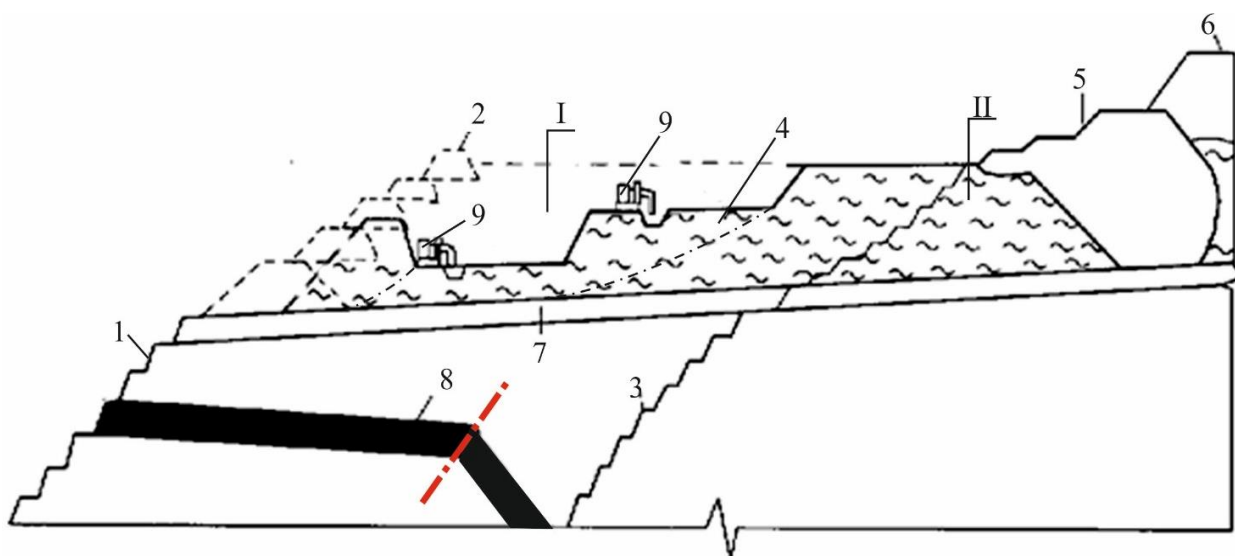


Рисунок 1.3 – Схема отработки пород гидроотвала №3 разреза «Кедровский»: I–II – участки гидроотвала соответственно переукладываемой и оставляемой частей гидроотвала; 1 – борт действующего разреза; 2 – контур гидроотвала до начала его переукладки; 3 – борт проектируемого карьера; 4 – разрабатываемые гидромониторно-землесосными установками намывные породы гидроотвала; 5 – насыпная конструкция (перемычка) для разделения гидроотвала на переукладываемую и оставляемую части; 6 – вскрышные породы карьера; 7 – четвертичные отложения в основании гидроотвала; 8 – пласт угля, предназначенный к отработке; 9 – землесосная установка

В настоящее время завершается разработка части намывного массива в гидроотвале и уже осуществляется добыча запасов угля, законсервированных ранее под гидроотвалом.

В результате ведения горных работ при разработке пород гидроотвала был получен ценный производственный опыт, который следует досконально изучить и обобщить.

Первое, на что следует обратить внимание – это наличие довольно значительных по размеру деревьев, которые успели вырасти на поверхности гидроотвала (рисунок 1.4) и создавали помехи в работе системы гидротранспорта гидрокомплекса разреза (скапливались в зумпфе и осложняли процесс забора гидросмеси) [23].

Кроме того, возникла необходимость формирования разделительной дамбы для исключения переукладки той части пород гидроотвала, которые

не препятствуют отработке запасов угля, ставших причиной осуществления достаточно специфичных горных работ.



Рисунок 1.4 – Гидромонитор ГД-300, размывающий вскрышные породы, уложенные в гидроотвал № 3 разреза «Кедровский»

Однако принятое решение создавало трудности по обеспечению устойчивости данной системы, хотя первоначальные прогнозные оценки [34, 35] свидетельствовали о том, что «устойчивость будет обеспечена с коэффициентом запаса выше нормативного при результирующем угле наклона 14° ».

Анализ работ по переукладке пород из гидроотвала №3 на разрезе «Кедровский» показал, что в процессе гидромониторной разработки ядерной неконсолидированной зоны гидроотвала неоднократно происходили оползневые явления, которые приводили к авариям и простоям оборудования. Только вовремя принятые организационные и технологические решения [23, 81] по порядку опережающего размыва гидромонитором первого подступа разрабатываемого массива намывных горных пород и специальная направленность струи гидромонитора при подрезке забоя обеспечили необходимую безопасность ведения горных работ.

Средствами гидромеханизации за весь прошедший период в Кузбассе разработано свыше 1 млрд. м^3 покровных неоген-четвертичных вскрышных пород, которые были размещены в гидроотвалы, количество которых в нача-

ле 80-х гг. прошлого века составляло не менее 50 гидротехнических сооружений [14, 22, 28, 30]. В работе [15] приведена характеристика ряда гидроотвалов, которые рассматривались в качестве объектов для последующего использования (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Основные характеристики гидроотвалов разрезов Кузбасса

№ п/п	Наименование разреза	Гидроотвал	Параметры		
			площадь, га	максимальная высота дамбы, м	емкость, млн м ³
1.	Кедровский	№1	72,0	15,0	7,2
		№2	96,0	24,0	8,6
		№3	315,0	54,0	47,81
		№4	157,0	38,0	26,04
		На реке Бусалаиха	245,0	19,0	21,8
2.	Краснобродский	Новобачатский	262,0	25,0	30,0
		Новоалександровский	41,2	23,0	4,0
3.	Бачатский	Бековский	302,6	74,0	61,4
		Свободный	60,0	24,0	4,5
		Сагарлыкский	600,0	45,0	96,0
4.	Черниговский	Западный	270,0	4,6	13,6
		№1	640,4	43,0	67,3
		№2	282,0	61,0	57,6
		№3	370,0	57,0	49,9
5.	Новосергеевский	Прямой Ускат	334,5	51,5	38,9
		Бахтыхта	98,0	19,0	10,2
		Безымянный	28,0	6,0	0,7
		Змеинский	27,0	10,0	1,0
		Шаровский	7,0	4,0	-
6.	Моховский	На реке Еловка	358,0	48,0	76,0
		№1	395,0	34,0	40,0
		№18	195,0	14,0	13,0
		№22	51,0	45,0	7,0
7.	Колмогоровский	на реке Черновой Уроп	480,0	26,0	38,0
		Южный	200,0	16,5	15,4
		на реке Иня	152,0	14,0	16,0
8.	Киселевский	№1	35,0	32,0	3,8
		№4	63,0	36,0	7,5
9.	Имени Вахрушева	Акташский	160,0	60,0	25,6
		Абинский	35,0	35,0	3,6
10.	Байдаевский	Коровихинский	640,0	55,0	19,39
11.	Листвянский	№4	70,0	20,0	6,2
12.	Ерунаковский	Коровихинский	64,0	32,0	19,4
	Всего:		7230,7		838,64

Большая часть гидроотвалов Кузбасса представляет собой гидротехнические сооружения овражно-балочного типа с одно-, двух- и трехсторонним обвалованием.

В работах [89, 90] дается характеристика действующих гидроотвалов вскрышных пород АО «УК «Кузбассразрезуголь» (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Характеристика действующих гидроотвалов вскрышных пород АО «УК «Кузбассразрезуголь»

№ п/п	Наименование гидроотвала и предприятия, его эксплуатирующего	Высота дамбы гидроотвала (глубина выработки), м	Площадь, га	Емкость, млн м ³
1.	Бековский, Бачатский филиал	76,5	280,0	129,9
2.	Прямой Ускат, Краснобродский филиал	56,0	223,9	57,8
3.	Еланный Нарык, Талдинский филиал	55,0	127,5	62,0
4.	Коровихинский, Талдинский филиал	67,0	98,8	30,7
5.	На реке Еловка, Моховский филиал	54,0	668,0	196,0
6.	В выработке пластов 4, 5 и 6, Моховский филиал	61,0	50,0	17,8
7.	В выработке пласта «Красногорский-II», Моховский филиал	30,0	44,8	9,0
8.	В выработке участка №5, Кедровский филиал	111,0	68,8	50,9
	Итого:		1561,8	554,1

Сопоставляя данные, приведенные в таблицах 1.1 и 1.2, следует отметить, что площадь земель, которая была занята действующими гидроотвалами, значительно сократилась с 7230,7 до 1561,8 га, при этом лишь незначительная часть ранее эксплуатировавшихся гидроотвалов была рекультивирована.

Хорошо известно, что добыча угля в Кузбассе сопровождается изъятием земель из сфер лесного и сельскохозяйственного производства [7, 21, 56]. Исследования, направленные на рекультивацию гидроотвалов, проводились весьма интенсивно [6, 27, 32, 36, 85]. При этом, провозглашая одну из важнейших научно-технических задач – обоснование рекомендаций по рациональному ведению рекультивационных и горных работ для создания комплексных горнотехнических сооружений, – в регионе фактически повсе-

местно занимаются формированием отвалов «сухих пород» на гидроотвалах с целью размещения на них дополнительных объемов вскрышных пород [38].

Весьма вероятно, что при проектировании отработки участка «Иганинский-2» филиала АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез» уже в ближайшее время возникнет необходимость переукладки пород намывного массива из гидроотвала на реке Еловка мощностью до 30 м, который находится на поле лицензионного участка горных работ.

Учитывая реальную возможность в ближайшей перспективе возникновения необходимости переукладки четвертичных вскрышных пород, уложенных в гидроотвалы на других разрезах Кузбасса и других регионов России, как с целью расконсервации запасов, так и использования потенциально плодородных пород из гидроотвалов для работ по эффективной рекультивации земли, нарушенной открытыми горными работами и отвалами «сухих пород», возникает необходимость научного обоснования безопасной и экономически эффективной технологии реализации этого направления для всей горнодобывающей промышленности.

1.2. Закономерности формирования гидроотвалов, состав и физико-механические свойства намывных горных пород

Как уже отмечалось выше, большая часть гидроотвалов Кузбасса представляет собой гидротехнические сооружения овражно-балочного типа с одно-, двух- и трехсторонним обвалованием. Формирование этих гидроотвалов осуществлялось по традиционной технологии: для создания первоначальной емкости отсыпалась дамба первичного обвалования, затем в образовавшуюся емкость намывалась гидросмесь четвертичных вскрышных пород [57, 58]. По мере заполнения яруса гидроотвала производили отсыпку последующих дамб обвалования и во вновь сформированную емкость осуществлялся дальнейший намыв, в основном безэстакадным способом из торцов пульповодов. Интенсивность намыва в среднем составляла 1–2 м/год при максимальном

значении порядка 3–6 м/год на первых этапах эксплуатации, а в завершающий период – 0,5–1,0 м/год.

Исследования намывных техногенных массивов (НТМ) – гидроотвалов и хвостохранилищ угледобывающих предприятий Кузбасса, Канско-Ачинского угольного бассейна, а также КМА, Оленегорского и Удачненского ГОКов и ряда других горнорудных предприятий регулярно производились учеными и сотрудниками вузов и специализированных институтов с 60-х гг. прошлого века [6–8, 21, 26]. В результате установлены закономерности формирования НТМ, выполнено их инженерно-геологическое районирование (по составу, несущей способности и осадкам на определенный момент времени), что позволяет планировать направление использования гидротехнического сооружения.

Состав намывных грунтов, уложенных в гидроотвалах, определяется свойствами вскрышных пород, которые разрабатываются средствами гидро-механизации. Угольные месторождения центрального Кузбасса практически повсеместно перекрыты отложениями неоген-четвертичного возраста мощностью до 80 м. Стратиграфически они разделяются на свиты: Еловская, Бачатская, Кедровская, Сергеевская, Сагарлыкская, Моховская и Меретская. Породы относятся в основном к суглинкам и глинам. Их особенностью является высокая пористость и большое содержание пылеватой фракции (до 96 %). Породы нижних свит – Сагарлыкской, Меретской и Моховской – характеризуются увеличением с глубиной степени уплотнения и пластичности.

Усредненный гранулометрический состав пород всех свит центрального Кузбасса представлен в таблице 1.3.

По минеральному составу песчаная и пылеватая фракции состоят в основном из зерен кварца и полевых шпатов; глинистые частицы представлены гидрослюдой, но в небольших количествах также есть каолинит и монтмориллонит [36]. Инженерно-геологическая характеристика неоген-четвертичных отложений Кузбасса приведена в таблице 1.4 [81].

Таблица 1.3 – Усредненный гранулометрический состав пород свит центрального Кузбасса

Свита	Выход крупных фракций, % + 0,25 мм	Содержание фракции, %		
		0,25–0,1 мм	0,1–0,01 мм	< 0,01 мм
Еловская	0,2	0,4	4,0	95,4
Бачатская	0,2	0,5	3,6	95,7
Кедровская	0,2	0,7	3,6	96,4
Сергеевская	0,1	0,5	2,7	96,8
Сагарлыкская	0,2	0,7	3,6	95,5
Моховская	0,1	1,3	2,2	96,2
Меретская	0,2	2,7	2,6	94,5

Если проанализировать показатели физико-механических свойств пород всех вышеперечисленных свит, можно сделать следующие выводы:

– влажность пород изменяется в широких пределах от 11,0 до 25,0 %, наибольшие колебания характерны для пород Бачатской и Сагарлыкской свит;

– субаквальные отложения в целом имеют средние значения влажности больше, чем субэральные; наименьшие значения характерны для пород Меретской свиты;

– по степени водонасыщения породы Еловской свиты относятся к маловлажным; Краснобродской, Кедровской, Сергеевской – к влажным; Бачатской – от маловлажных до насыщенных; Сагарлыкской, Моховской и Меретской – к насыщенным влагой, т. е. со стратиграфической глубиной практически все поры заполняются водой, а влажность увеличивается;

– наиболее плотными являются отложения Меретской свиты, а наименьшие значения характерны для лессовидных суглинков Еловской свиты;

– по коэффициенту уплотнения, определяющему состояние пород, отложения Еловской свиты характеризуются как неуплотненные; Краснобродской, Бачатской, Сергеевской и Сагарлыкской – пластичные, а Меретские и Моховские – пластичные, переходящие в переуплотненные;

Таблица 1.4 – Физико-механические свойства неоген-четвертичных пород Кузбасса

Свита	Влажность, W , %	Плотность, ρ , г/см ³	Плотность минер. части, ρ_s , г/см ³	Пористость, n , %	Коэффициент пористости, e , дол. ед.	Степень водонасыщения	Полная влагоемкость, %	Пределы пластичности			Показатель консистенции	Показатели сопротивления сдвигу	
								влажность на границе текучести, W_t , %	влажность на границе раскатывания, W_p , %	число пластичности I_p , %		угол внутреннего трения φ , град.	сопротивление недренированному сдвигу, c , МПа
Еловская	14–16	1,62–1,65	2,73	48	0,923	0,42–0,46	34	28–32	19	9–13	–0,36	26	0,040
Краснобродская	22	1,81–1,86	2,73	44–46	0,601–0,645	0,72–0,79	29–31	35–42	21–15	14–17	–0,016 +0,18	28	0,028–0,045
Бачатская	15–25	1,63–1,92	2,70–2,74	43–48	0,745–0,936	0,46–0,89	27–34	27–38	18–23	9–16	–0,25 – +0,26	16–30	0,03–0,052
Кедровская	17–22	1,70–1,92	2,71–2,75	41–46	0,707–0,882	0,53–0,79	26–33	30–40	18–25	12–13	0 – +0,59	21–31	0,045–0,084
Сергеевская	15–24	1,82–1,88	2,74–2,76	43–45	0,747–0,815	0,55–0,80	27–30	33–40	20–23	13–17	–0,39 – +0,07	21–25	0,026–0,042
Сагарлыкская	22–24	1,83–1,96	2,72	42–48	0,673–0,845	0,75–0,92	25–31	32–37	19–23	13–16	+0,02 – +0,37	22–23	0,050–0,094
Моховская	20–23	1,86–1,98	2,71–2,76	40–45	0,680–0,821	0,76–0,92	26–29	41–48	21–26	17–20	–0,04 – +0,37	19–31	0,039–0,075
Меретская	11–13	2,06–2,22	2,74–2,76	27–34	0,377–0,525	0,72–0,82	14–19	35	19	16	–0,33	21	0,126

– сцепление пород закономерно увеличивается в направлении сверху вниз, а угол внутреннего трения изменяется в широких пределах ($16\text{--}31^\circ$) и зависит от влажности;

– коэффициент пористости с глубиной уменьшается, а значит, размокаемость пород увеличивается с увеличением коэффициента пористости; хорошо размокают породы Еловской (1–2 мин), Бачатской (1–10 мин), Кедровской (3–6 мин), Сергеевской (до 8 мин) свит; плохо размокают Сагарлыкские, Моховские и Меретские отложения.

Грансостав всех разрабатываемых средствами гидромеханизации пород достаточно однородный: содержание пылеватой фракции ($< 0,01$ мм) составляет $95,6\text{--}96,9$ %; мелких песчаных фракций ($0,1\text{--}0,01$ мм) – $2,7\text{--}4,0$ %; средних песчаных ($0,25\text{--}0,1$ мм) – $0,4\text{--}0,7$ %.

Свойства разрабатываемых пород предопределяет формирование в намывном массиве гидроотвалов грунтов пылевато-глинистого состава, полностью водонасыщенных, с низкими фильтрационными и прочностными свойствами, склонных к длительным неравномерным деформациям во времени за счет развития в них процессов фильтрационной консолидации [1, 58, 93].

Способ выпуска пульпы на карту намыва определяет условия устойчивости гидротехнического сооружения за счет формирования в приоткосной части гидроотвалов (в призме упора) особой зоны, что оказывает наиболее важное влияние на формирование состава и свойств всего намывного массива. При рассредоточенном способе выпуска происходит равномерное осаждение наиболее крупных частиц вдоль дамбы в пределах пляжа намыва. Мелкодисперсные фракции выносятся на значительное расстояние от дамб в переходную зону, а самые мелкие – в пруд-отстойник. Сосредоточенный намыв, когда выпуск пульпы производится из торца пульповода с постоянно-го места на дамбе, приводит к тому, что около дамбы откладываются не только песчаные, супесчаные, но и суглинистые и глинистые фракции.

После завершения намыва очередного яруса гидроотвала на намывных породах упорной призмы формируется следующая дамба обвалования. Для уложенных пород наступает этап технолитогенеза, т. е. изменения их состояния и свойств. Этот процесс вызван прежде всего факторами изменения водного баланса и непрерывно возрастающего давления из-за отсыпки дамб наращивания и продолжающегося процесса намыва следующего яруса. Намывные породы теряют воду, приобретают плотное сложение. Их физическое состояние изменяется от текучего до полутвердого без образования прочных цементационных контактов, т. е. происходит процесс консолидации намывных пород. В массиве формируется неоднородная по физико-механическим свойствам толща пород со снижением с глубиной влажности и повышением плотности [89].

В ряде исследований для гидроотвалов высотой более 30 м выделяют осадки текуче-пластичной консистенции, слагающие верхние 15–20 м намывного массива, постепенно сменяемые с глубиной мягко-пластичными, туго-пластичными, а иногда и полутвердыми отложениями [22, 37, 40].

Проведенные исследования позволили установить закономерности формирования состава, состояния и свойств пород гидроотвалов, произвести инженерно-геологическое районирование, что должно служить методической основой выбора способа, технических средств и технологии их переукладки для обеспечения доступа к минеральным ресурсам, расположенным под ними. При этом одним из важнейших критериев выбора является фракционный состав уложенных пород, который закономерно изменяется в массиве в результате сегрегации частиц при намыве из потока гидросмеси по мере ее продвижения по поверхности пляжа. Это приводит к характерной смене в намывном массиве зон песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых пород. В ряде работ рекомендуются эмпирические зависимости для расчета протяженности этих зон в зависимости от длины гидроотвала L : для песчано-супесчаных – $0,1L$, суглинистых – $0,4L$ и глинистых пород – $0,5L$ [37, 42, 85, 86] (рисунок 1.5). Более точно

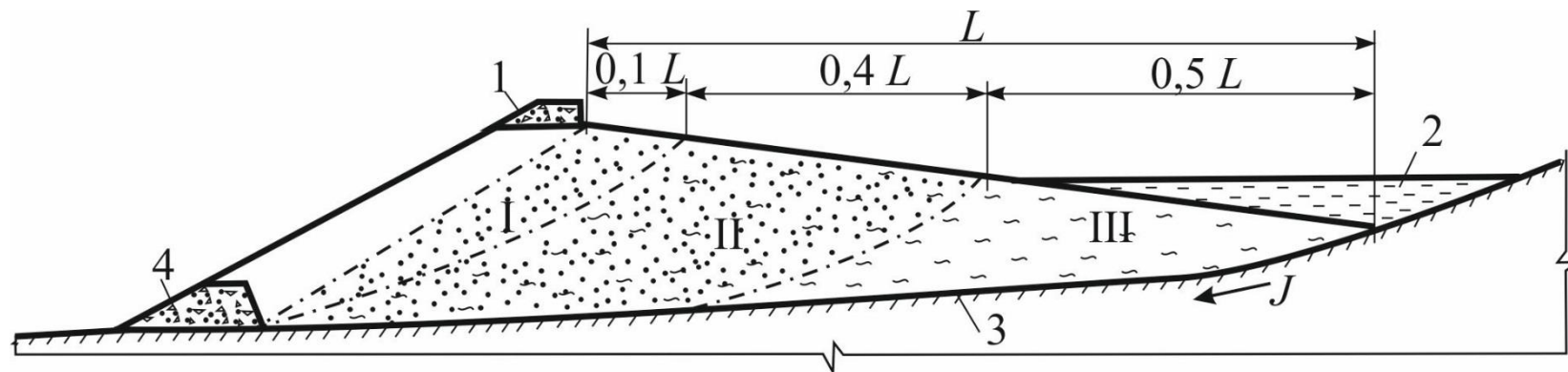


Рисунок 1.5 – Размеры зон гидроотвала с различными по свойствам породами:
 песчано-супесчаные – $0,1L$, суглинистые – $0,4L$, глинистые породы – $0,5L$, L – длина гидроотвала;
 I – зона песчано-супесчаных пород; II – зона суглинистых пород; III – зона обводненных глинистых пород;
 1 – дамба наращивания; 2 – заболоченные участки в верховьях гидроотвала; 3 – тальвег долины с уклоном J ;
 4 – дамба первичного обвалования

определить размеры зон, когда достоверно известно количество пород различных фракций, можно в соответствии с методическими указаниями [47].

Физико-технические свойства пород, которые были получены на конкретных объектах при непосредственном исследовании намывных там пород, представлены в таблице 1.5 [9].

Характерной особенностью намывных пород гидроотвалов Кузбасса (суглинков и глин) является высокая пористость и большое содержание пылевой фракции (до 96 %). Она становится причиной низкой скорости их консолидации, не только затягивающей процесс рекультивации и возвращения земель гидроотвалов в сельскохозяйственное использование на срок от 10 до 30 лет, но и ограничивающей возможность применения технических средств для их разработки и перемещения. В этой связи возникает необходимость обеспечить определенное «время отдыха», которое необходимо для консолидации пород гидроотвала и достижения поверхностью гидроотвала определенной величины несущей способности. В работе [3] приведена методика для определения времени отдыха в зависимости от мощности намыва, литологического состава пород, коэффициента консолидации и степени уплотнения грунта.

Следует учитывать, что степень уплотнения 30 %, как правило, соответствует несущей способности поверхности в $1,5 \text{ кг/см}^2$, достаточной для гусеничной техники, а при степени уплотнения 50 % ее величина приблизительно равна $2,0 \text{ кг/см}^2$, что позволяет использовать некоторые виды колесной сельскохозяйственной техники.

Особенность традиционного способа гидроотвалообразования (при намыве пород со стороны дамбы обвалования) заключается в том, что в результате намыва образуется контруклон поверхности гидроотвала по отношению к уклону долины, в которой он расположен.

Таблица 1.5 – Физико-механические свойства пород гидроотвалов Кузбасса [9]

Гидроотвал	Зона	Содержание фракций, %			Плотность минеральных частиц, г/см ³	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Влажность, %	Начальный коэффициент Пористости	Коэффициент водонасыщения
		>0,05	0,05–0,005 мм	< 0,005 мм						
Новобачатский разреза «Краснобродский»	Пляжная	–	–	–	2,65	1,90	0,45	31,0	0,83	1,00
	Промежуточная	12,8	56,0	31,2	2,70	1,90	0,47	32,5	0,88	1,00
	Прудковая (ядерная)	8,9	50,0	41,1	2,75	1,88	0,50	34,9	0,97	1,00
№3 разреза «Кедровский»	Пляжная	23,4	58,1	18,5	2,66	1,90	0,46	31,2	0,84	0,97
	Промежуточная	19,7	57,3	23,0	2,70	1,88	0,48	34,0	0,93	0,99
	Прудковая (ядерная)	14,8	53,2	32,0	2,73	1,87	0,49	35,2	0,97	1,00
Бековский разреза «Бачатский»	Пляжная	17,6	76,4	6,0	2,67	2,00	0,45	36,0	0,83	1,00
	Промежуточная	14,3	69,2	16,5	2,72	1,94	0,48	36,0	0,92	1,00
	Прудковая (ядерная)	11,8	58,4	29,8	2,76	1,90	0,49	34,8	0,96	1,00

1.3. Возможности существующих гидромеханизированных технологий и технических средств для разработки и перемещения пород, намывных ранее в гидроотвал

1.3.1. Разработка пород землесосными снарядами

Для разработки неконсолидированных обводненных горных пород при добыче песчано-гравийных горных пород из обводненных месторождений, вскрытии железорудных месторождений КМА, строительстве гидротехнических сооружений, и не только у нас в стране (Египет, Сирия, Ирак, Вьетнам), успешно применялись землесосные снаряды. Землесосный снаряд является плавучей землеройно-транспортной машиной непрерывного действия (рисунок 1.6).

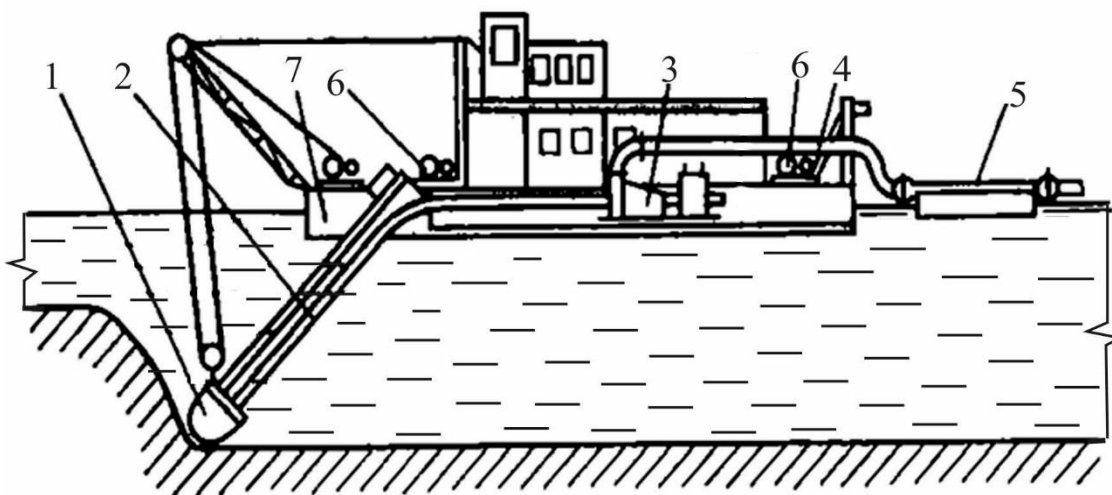


Рисунок 1.6 – Принципиальная схема работы землесосного снаряда:
 1 – грунтососное устройство; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – грунтососный насос; 4 – пульповод на pontone; 5 – плавучий пульповод; 6 – лебедки для рабочих перемещений; 7 – корпус земснаряда

Земснаряд предназначен для разработки обводненных пород (или пород, находящихся под слоем воды в естественных или искусственных водоемах), формирования и транспортировки гидросмеси на карты намыва, в обогатительные установки или гидроотвалы. Землесосные снаряды применяются для добычи песчано-гравийных смесей (ПГС), подводной разработки пород гидравлическим способом, расчистки дна рек, дноуглубительных работ, а

также с целью формирования и доставки гидросмеси к месту намыва территорий [1, 2, 93].

Схема разработки пород – проходка прорези – приведена на рисунке 1.7. Разрабатывают прорези в основном двумя способами: папильонажным (поперечным) с помощью якорного, свайно-безъякорного и свайно-якорного папильонирования и траншейным (продольным). Папильонированием называются рабочие перемещения землесосного снаряда в определенной последовательности, при которых обеспечивается постоянный контакт грунтоприемника с забоем и наиболее эффективный забор гидросмеси разрабатываемого грунта [1, 2, 93].

При разработке глубоких котлованов и при условии, что есть возможность понижать уровень воды в котловане, работу можно вести в несколько ярусов. В этих случаях оптимальная глубина разработки земснарядом должна увязываться с глубиной одного яруса. При разработке вскрышных пород карьеров глубину разработки определяют геологические условия залегания пород, подлежащих отработке данным способом.

Типы пород, которые разрабатывают землесосные снаряды, и классификация грунтов по трудности их разработки приведены в СНиП IV-5-84, которые служат, кроме всего прочего, нормативным документом для установления одного из главных параметров данной технологии – удельного расхода воды

(см. Приложение 1) [77]. Перечень пород, представленных в СНиП IV-5-84, и их гранулометрический состав полностью соответствуют четвертичным вскрышным породам, которые намыты в гидроотвалы Кузбасса. Учитывая опыт работы при вскрытии железорудных карьеров КМА, с уверенностью можно сказать, что переукладку обводненных пород, намытых в гидроотвалы, возможно эффективно осуществлять землесосными снарядами.

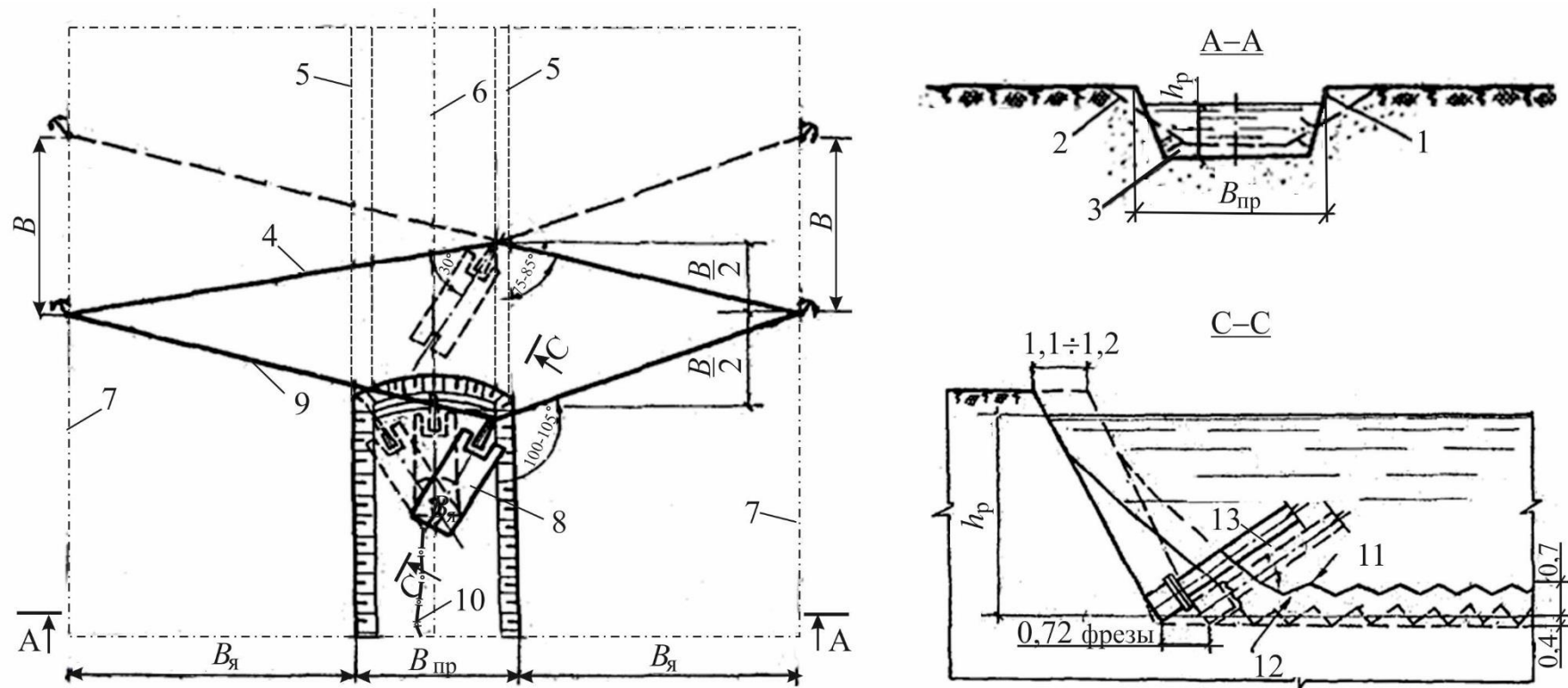


Рисунок 1.7 – Проходка прорези земснарядом свайно-якорным способом:

1 – сечение прорези, вырабатываемое землесосным снарядом; 2 – откос после обрушения; 3 – просоры и недобор; 4 – конечное положение папильонажных тросов перед перекладкой; 5 – граница прорези; 6 – ось прорези; 7 – линия переукладки якорей;

8 – земснаряд; 9 – первоначальное положение папильонажных тросов; 10 – плавучий пульпопровод; 11 – поверхность разработки; 12 – слой разрушенного грунта; 13 – всас земснаряда; $B_{пр}$ – ширина прорези; B – шаг установки якорей;

$B_{я}$ – расстояние между земснарядом и береговым якорем

1.3.2. Разработка пород гидромониторно-землесосным комплексом

Гидромониторно-землесосным комплексом принято называть совокупность энергомеханического оборудования, предназначенного для гидравлической разработки и транспортирования горных пород на карьерах [16]. Он включает насосно-гидромониторную и гидротранспортную установку.

Насосно-гидромониторная установка – система насосов и трубопроводов, осуществляющих подачу воды к гидромониторам (система водоснабжения) в совокупности с самими гидромониторами [91].

Гидротранспортная установка – система насосов, предназначенных для транспортирования гидросмесей (грунтовые насосы, землесосы) и трубопроводов, по которым гидросмесь перемещается от забоя до места складирования – гидроотвала, карт намыва и т. п. (система гидротранспортирования) [91].

Технологическая схема ведения гидровскрышных работ с применением гидромониторно-землесосного комплекса представлена на рисунке 1.8. Подобными гидрокомплексами в Кузбассе разработано 838,64 млн м³ четвертичных вскрышных пород, поэтому также с уверенностью можно сказать, что переукладку части пород, намывных в гидроотвалы, возможно осуществлять с применением гидромониторно-землесосного комплекса.

На эффективность разработки пород гидромониторно-землесосными комплексами прежде всего влияют их физико-механические свойства. Распределение грунтов на группы по трудности разработки их гидромониторами согласно СНиП IV-5-84 приведено в Приложении 1 [77, 78].

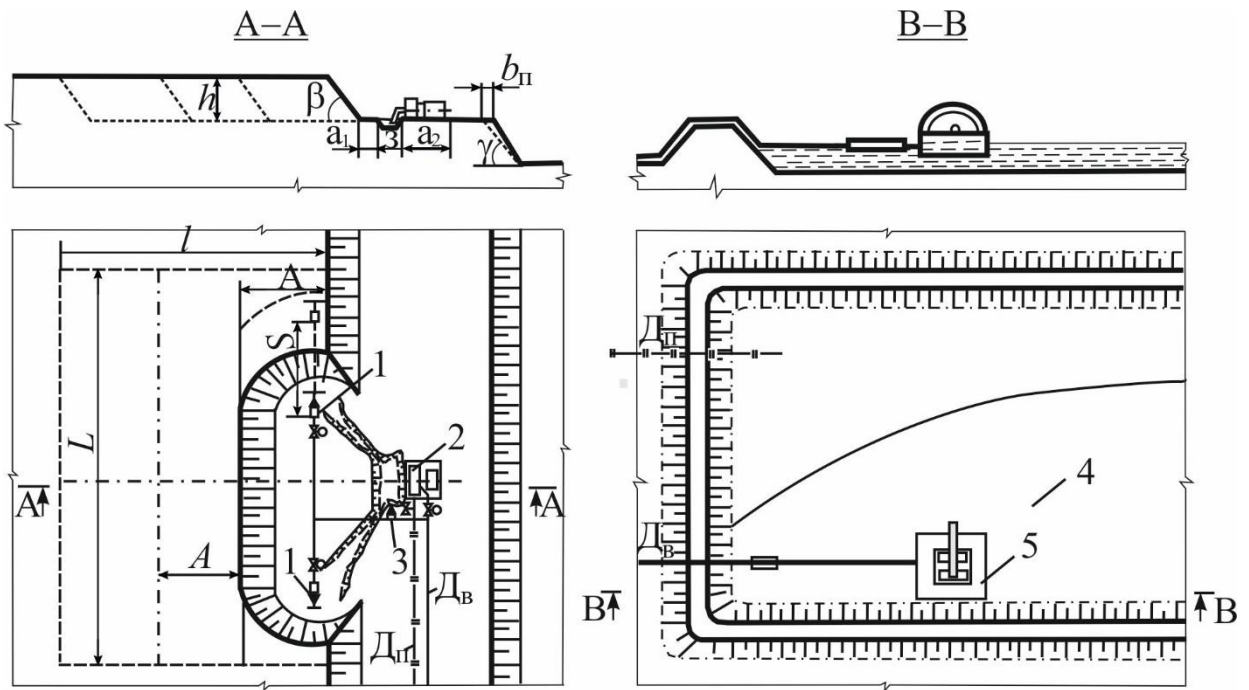


Рисунок 1.8 – Разработка пород гидромониторно-землесосным комплексом:
 1 – забойный гидромонитор; 2 – землесосный агрегат; 3 – зумпфовой гидромонитор;
 4 – прудок; 5 – водозаборная насосная станция; S – шаг передвижки гидромонитора; h – высота забоя; A – ширина гидромониторной заходки; $Дв$ – водовод;
 $Дп$ – пульповод; $b_{п}$ – берма безопасности; β – угол откоса уступа; γ – угол устойчивого откоса уступа; a_1 – расстояние от нижней бровки откоса уступа до зумпфа; 3 – ширина зумпфа; a_2 – ширина площадки для размещения землесосной установки; L – длина блока гидромеханизации; l – ширина блока гидромеханизации

1.3.3. Гидромониторно-землесосный комплекс с применением экскаваторного рыхления

На рисунке 1.9 представлена типовая технологическая схема гидромониторно-землесосного комплекса с применением экскаваторного рыхления [16, 78].

Типовыми технологическими схемами [78] предусматривается ведение вскрышных работ по наносам, тяжелым глинам и полускальным породам от зумпфа гидротранспортной установки, расположенного ниже подошвы разрабатываемого уступа, к границам блока.

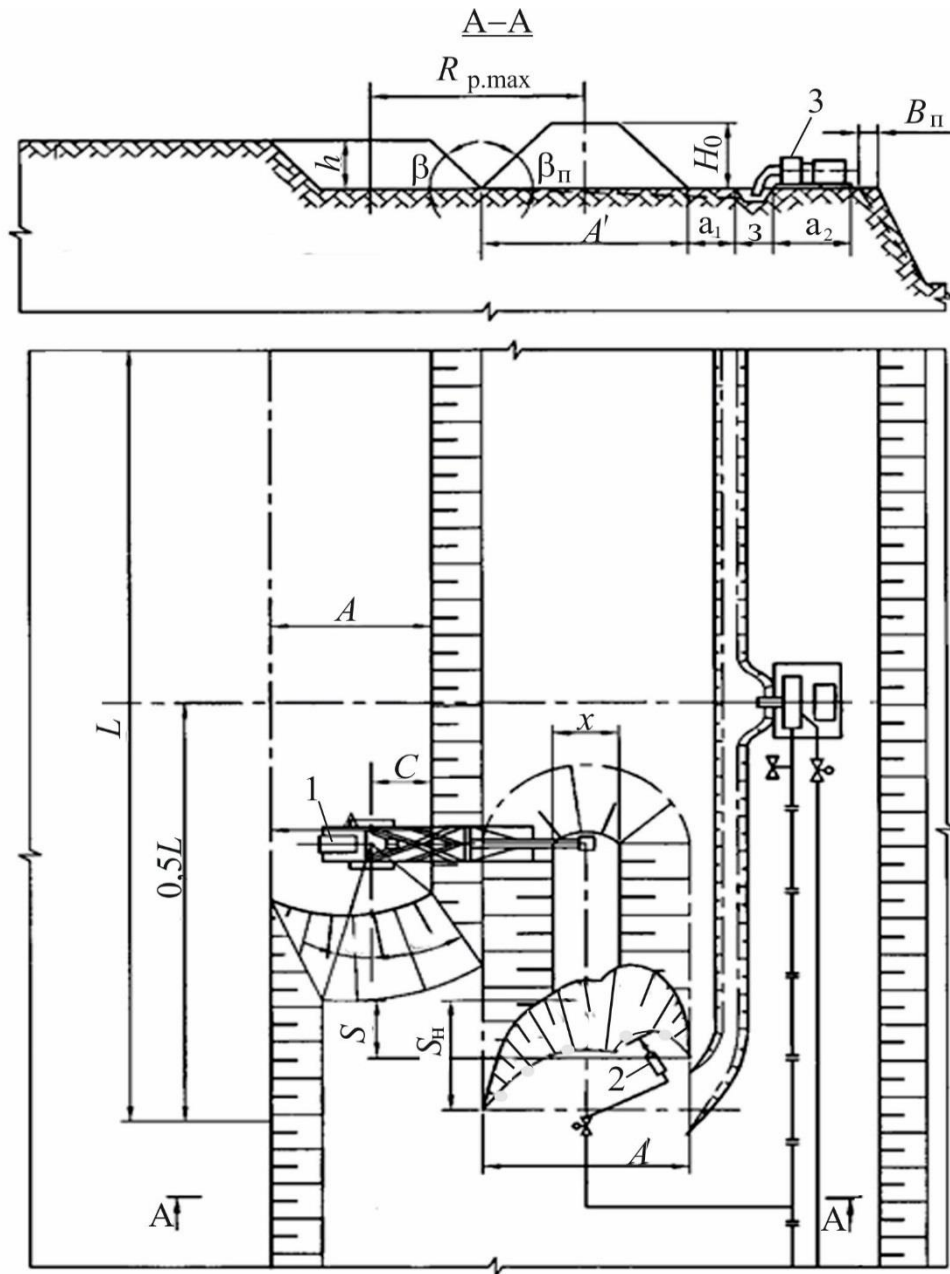


Рисунок 1.9 – Технологическая схема разработки тяжелых глин гидромониторно-землесосным комплексом с применением экскаваторного рыхления: 1 – экскаватор типа драглайн; 2 – гидромонитор; 3 – землесосная установка; a_1 – расстояние от нижней бровки откоса уступа до зумпфа; a_2 – ширина площадки для размещения землесосной установки; L – длина блока гидромеханизации; x – ширина отвала по верху; C – расстояние от оси хода экскаватора до верхней бровки откоса уступа

Расчеты процесса подготовки глин к размыву механическим способом с применением экскаваторов заключаются в обосновании параметров технологической схемы и системы водоснабжения гидромониторно-землесосного

комплекса для обеспечения пульпоприготовления и гидротранспортирования того количества породы, которое разрабатывает (рыхлит) экскаватор. При этом известно, что нахождение разрыхленной породы в навале более 6 часов до момента размыва гидромониторной струей снижает эффективность рыхления на 80 % [78]. Следовательно, часовая производительность гидрокомплекса по твердому должна быть равна производительности экскаватора.

Типовая технологическая схема [78] гидромониторно-землесосного комплекса с применением экскаваторов ЭШ-10/60 и ЭШ-15/90 рекомендует следующие параметры (таблицы 1.6–1.7). Условия применения: группа пород – VII (тяжелые глины); число пластичности – 14–22; угол откоса уступа, градус – 60; устойчивый угол откоса уступа, градус – 40; угол откоса отвала, градус – 35.

Таблица 1.6 – Элементы системы разработки пород гидромониторно-землесосным комплексом с применением экскаваторов

Показатели	Обозначения	Экскаватор	
		ЭШ 10/60	ЭШ 15/90
Ширина заходки драглайна, м	A	33	57
Ширина заходки гидромонитора, м	A'	71	93
Шаг передвижки гидромонитора, м	S	14	14
Длина блока, м	L	273	296
Ширина блока, м	l	165	228
Число заходов	–	5	4
Шаг наростки водовода, м	S_n	39	37
Высота отвала, м	H_o	25	25
Ширина отвала по верху, м	λ	0	23
Расстояние экскаватора до бровки уступа, м	c	10	14
Определение экскаваторного забоя, м	S'	18	18
Угол разворота экскаватора от его оси при черпании, градус	ω_1	20	34
	ω_2	40	28

Таблица 1.7 – Расчетные показатели

Наименование показателя	Экскаватор	
	ЭШ 10/60	ЭШ 15/90
Сезонная производительность по твердому, тыс. м ³	900	1350
Производительность по твердому, м ³ /ч	260	390
Производительность по воде, м ³ /ч	1880	1700
Скорость подвигания забоя, м/смену	2,5	2,2
Объем, разрабатываемый на одно положение гидромонитора, тыс. м ³	7	13,8
Время работы гидромонитора на одно положение, ч	26,6	35,4
Число положений гидромонитора на одно подключение к водоводу	5	7
Объем, разрабатываемый на одно подключение, тыс. м ³	34,6	96,7
Время работы на одно подключение, ч	133	248
Число наросток водовода	35	35

1.4. Выводы, цель и задачи исследования

В процессе изучения опыта переукладки пород гидроотвалов, закономерностей их формирования, разработки пород гидромониторно-землесосными комплексами и землесосными снарядами, а также анализа материалов научных исследований по вопросам гидроотвалообразования установлены следующие результаты.

1. Для поддержания стабильной добычи угля требуется периодически осуществлять ввод в эксплуатацию новых участков угольных месторождений, расположенных в непосредственной близости от действующих разрезов. Препятствием для реализации этого направления развития угледобычи на ряде действующих угольных карьеров становится наличие гидроотвалов над промышленными запасами угля. Суммарная площадь, занимаемая гидроотвалами разрезов АО «УК «Кузбассразрезуголь», составляет 1561,8 га.

Впервые эта проблема в Кузбассе возникла на разрезе «Кедровский» при разработке и перемещении на новое место пород, намывтых ранее в гидроотвал № 3, расположенный над запасами ценных каменных углей. Однако в процессе гидромониторной разработки ядерной неконсолидированной зоны гидроотвала в нем неоднократно происходили оползневые явления, которые

приводили к аварийным ситуациям и выходу из строя оборудования. Сейчас подобная задача должна быть решена на разрезе АО «Черниговец», где под гидроотвалом №2 также находятся промышленные запасы угля. Для отработки этих запасов угля требуется обоснование безопасной и эффективной технологии разработки и перемещения водонасыщенных, с низкими показателями прочности и несущей способности пород, ранее намывных в гидроотвал. Аналогичные задачи возникнут в ближайшие годы на других разрезах Кузбасса и Сибири.

2. Гранулометрический состав разрабатываемых средствами гидромеханизации пород характеризуется содержанием пылеватой фракции ($< 0,01$ мм) 95,6–96,9 %, что предопределяет формирование в намывном массиве гидроотвалов грунтов пылевато-глинистого состава, полностью водонасыщенных, с низкими фильтрационными и прочностными свойствами, склонных к длительным неравномерным деформациям во времени за счет развития в них процессов фильтрационной консолидации.

В результате сегрегации частиц при намыве из потока гидросмеси при ее протекании по поверхности пляжа происходит смена состава и физико-механических свойств намывных горных пород в намывном массиве и образование соответствующих зон: песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых пород. Протяженности этих зон в зависимости от длины гидроотвала L составляют: для песчано-супесчаных – $0,1L$, суглинистых – $0,4L$ и глинистых пород – $0,5L$.

3. Для переукладки пород гидроотвалов может быть использован комплекс гидромеханизированных технологий: землесосные снаряды (зона глинистых пород), гидромониторно-землесосные комплексы (зона суглинистых пород) и гидромониторно-землесосный комплекс с предварительным экскаваторным рыхлением пород в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромонитора (зона песчано-супесчаных пород). Выбор вариантов наиболее эффективного применения гидромеханизированных технологий базируется на использовании двух критериев:

– несущая способность основания, определяющая возможность осуществить безопасное функционирование принятой технологии в каждой из упомянутых зон гидроотвала с учетом физико-технических свойств находящихся там пород;

– удельный расход воды как индикатор энергопотребления.

4. Отсутствие несущей способности пород третьей зоны гидроотвала однозначно определяет возможность осуществить безопасное функционирование гидромеханизированной технологии только при применении землесосных снарядов. Прочностные свойства пород песчано-супесчаной и суглинистой зон позволяют там безопасно использовать традиционные для Кузбасса гидромониторно-землесосные комплексы и гидрокомплекс с предварительным экскаваторным рыхлением пород в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромонитора.

Поскольку научных рекомендаций по эффективной и безопасной гидромеханизированной технологии разработки пород гидроотвала выявить не удалось, актуальным представляется развитие этой технологии на основе учета зональности физико-механических свойств намывного массива при определении расстановки гидромонитора и землесосного снаряда при расчете основных технологических параметров оборудования.

Цель работы – разработка и обоснование параметров комбинированной гидромеханизированной технологии переукладки пород гидроотвалов, обеспечивающей безопасность и эффективность ведения горных работ.

Задачи исследований:

1. Обосновать критерии зонирования намывного массива по физико-механическим свойствам пород и способы, обеспечивающие безопасную и эффективную комбинированную технологию их разработки.

2. Установить зависимости производительностей гидромонитора и земснаряда от физико-механических свойств намывного массива.

3. Разработать алгоритм расчета рациональных параметров комбинированной технологии гидромеханизированной разработки и переукладки пород гидроотвалов.

2. ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЗОНИРОВАНИЯ НАМЫВНОГО МАССИВА ГИДРООТВАЛА ПО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПОРОД И РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ИХ БЕЗОПАСНУЮ И ЭФФЕКТИВНУЮ ПЕРЕУКЛАДКУ

2.1. Алгоритм выбора технических и технологических решений по разработке и перемещению пород гидроотвалов

В ходе решения поставленной задачи разработан алгоритм выбора вариантов технических и технологических решений по гидромеханизированной переукладке пород гидроотвала, в основу которого положены два критерия (рисунок 2.1): безопасность ведения горных работ и величина затрат на разработку и перемещение пород, намывных ранее в гидроотвал, на новое место [50, 52-54]. Критерием безопасности, который определяет условия безаварийного функционирования технических средств переукладки намывных в гидроотвал пород и сам выбор оборудования, является несущая способность намывного массива, определяемая его физико-механическими свойствами.

Известно [7, 34, 90], что фракционный состав уложенных пород изменяется в результате сегрегации частиц при намыве из потока гидросмеси при ее протекании по поверхности пляжа гидроотвала. Это определяет несущую способность основания (поверхности гидроотвала) и характерную смену состава и физико-механических свойств намывных горных пород в намывном массиве, т. е. к образованию соответствующих зон: песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых пород. Следовательно, несущая способность основания и зоны гидроотвала становятся факторами безопасности. Для разработки, перемещения и складирования пород вышеперечисленных зон гидроотвала с целью обеспечения безопасности ведения горных работ должны применяться землесосные снаряды (зона глинистых пород), гидромониторно-землесосные комплексы (зона суглинистых пород) и гидрокомплекс с предварительным экскаваторным рыхлением пород в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромонитора (зона песчано-супесчаных пород).

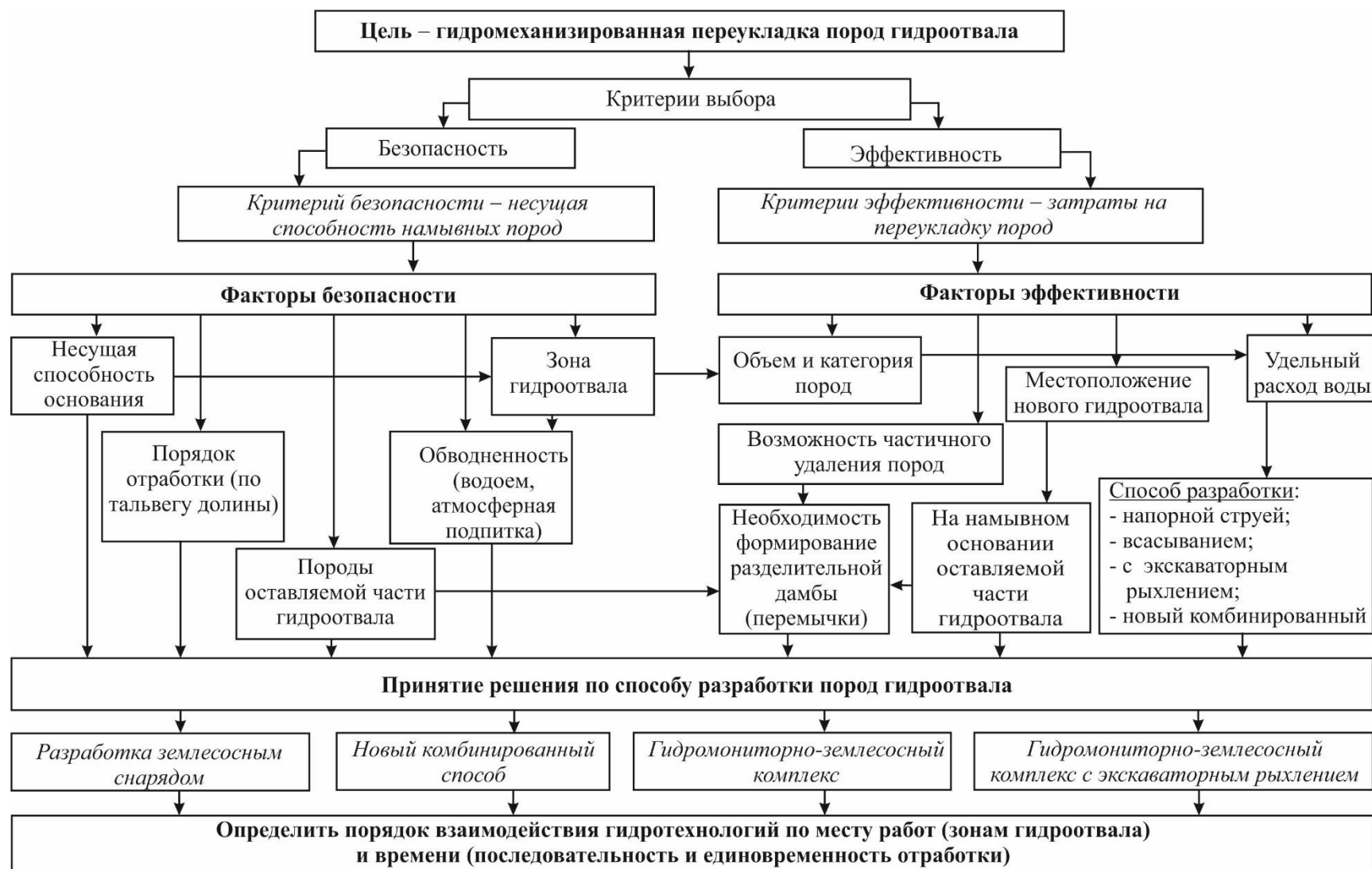


Рисунок 2.1 – Алгоритм выбора вариантов технических и технологических решений по разработке и перемещению пород гидроотвала

При переукладке пород гидроотвала очередность ввода в эксплуатацию гидрокомплексов и порядок отработки зон гидроотвала должны обеспечивать исключение возможности негативного воздействия обводненных неконсолидированных глинистых горных пород, которые расположены в его верховьях и фактически «нависают» по тальвегу долины над зонами песчано-супесчаных и суглинистых пород. Таким образом, порядок отработки разных зон гидроотвала принят в качестве фактора безопасности, который должен быть учтен при выборе вариантов технических решений по разработке и перемещению пород гидроотвала на новое место [51, 52].

Критерий эффективности, предполагает учет целого ряда факторов. Прежде всего это объем горных пород, которые следует переуложить из гидроотвала для обеспечения доступа к ресурсам, находящимся под ним. При этом горные породы имеют различные свойства, и для экономической оценки затрат на их разработку и перемещение необходимо знать соотношение всех категорий пород, составляющих общий объем работ. Немаловажным фактором эффективности является возможность частичного перемещения пород гидроотвала, однако реализация этого преимущества во многом зависит от издержек на формирование разделительной дамбы (перемычки) [48].

От местоположения нового гидроотвала зависят затраты на транспортирование и укладку пород. Наиболее благоприятным является возможность размещения переукладываемых пород на оставляемой части гидроотвала, причем это зависит от степени консолидации пород основания и ряда других особенностей (экологии, перспектив использования территории и т. п.).

Кроме того, при применении гидромеханизации удельный расход воды, который требуется для разработки пород и зависит от их категории, определяется способом разрушения массива – всасыванием, напорной струей или с предварительным рыхлением экскаватором. Этот фактор также влияет на процесс транспортирования, энергозатраты и, следовательно, экономически значим.

Рассмотрим более детально факторы, влияющие на несущую способность намывного массива.

Так, для реализации гидромониторно-землесосного комплекса для разработки песчано-супесчаных пород гидроотвала потребуются (как и для традиционного гидромониторно-землесосного комплекса) несущая способность поверхности в диапазоне $1,5-2,0 \text{ кг/см}^2$, при этом необходимо обеспечить величину среднего удельного давления на грунт, который создают драглайны, например, ЭШ-10/70 и ЭШ-15/90. Для указанных типов драглайнов эта величина давления составляет соответственно 0,166 и 0,148 МПа или 1,69 и 1,51 кг/см^2 [79]. При передвижении драглайна величина давления несколько больше, чем во время работы. При отработке отдельных участков для обеспечения необходимой величины удельного давления на грунт, который создают драглайны, производят подсыпку пород из карьерного забоя карьерными автосамосвалами, которые имеют относительно невысокое удельное давления колеса на грунт в зависимости от давления воздуха в шинах, как показано в работе [87]:

Давление в шинах, МПа	0,3	0,45	0,5	0,8
Контактные давления, МПа	0,3	0,45	0,45	0,6

Современные карьерные автосамосвалы типа БелАЗ имеют давление в шинах и оказывают давление на грунт в следующих пределах:

Грузоподъемность автосамосвала, т	Давление в шинах, МПа	Давление на грунт, МПа
75	0,57	0,51
110	0,55	0,50
180	0,58	0,513

Что касается давления на грунт гусеничных экскаваторов, то оно редко превышает значения 0,25 МПа. Следовательно, для функционирования гидромониторно-землесосного комплекса, а также аналогичного комплекса в со-

четании с экскаваторным рыхлением пород под струю гидромонитора требуется несущая способность поверхности $2,0 \text{ кг/см}^2$.

Анализ опыта применения различного гидромеханизированного оборудования показал, что для разработки и перемещения пород третьей обводненной зоны гидроотвала (зона глинистых и обводненных пород) с целью обеспечения безопасности ведения горных работ целесообразно применять землесосные снаряды. Земснаряды предназначены для разработки обводненных пород или пород, находящихся под слоем воды в естественных или искусственных водоемах (см. пункт 1.2). Землесосный снаряд является плавучей землеройно-транспортирующей техникой непрерывного действия, для которого не требуется несущая способность основания – поверхности разрабатываемых пород.

Величину несущей способности основания каждой из указанных выше зон гидроотвала определим в соответствии с современными и проверенными на практике научными методами. Величина максимальной несущей способности основания определяется по формуле Прандтля-Рейснера [7, 9, 54]:

$$\frac{P_{\text{пр}}}{c} = \frac{[(\dot{\alpha} + \text{ctg}\varphi) \cdot (1 + \sin\varphi) \exp(\pi \text{tg}\varphi) - \text{ctg}(1 - \sin\varphi)]}{(1 - \sin\varphi)}, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{пр}}$ – предельное критическое значение несущей способности основания, МПа; φ – угол внутреннего трения, град.; c – сцепление пород, МПа; $\dot{\alpha}$ – коэффициент, определяемый из соотношения $q_1 = \dot{\alpha} \cdot c$; q_1 – предварительно приложенное к основанию уплотняющее давление, МПа.

В нашем случае $q_1 = 0$ (массив не уплотнялся), $\dot{\alpha} = 0$.

Значения предельной критической несущей способности основания (поверхности зоны гидроотвала) могут быть определены по графику (рисунок 2.2) в зависимости от угла внутреннего трения и величины сцепления пород для каждой зоны гидроотвала [9, 84].

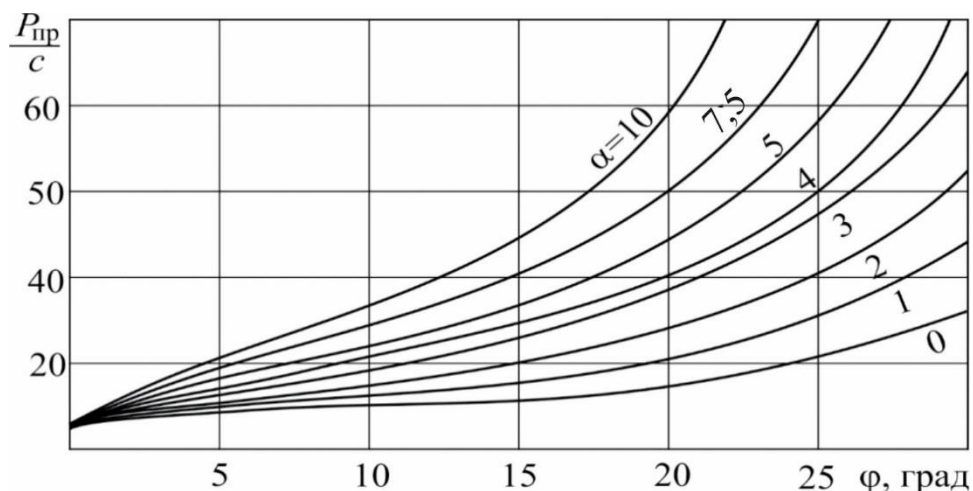


Рисунок 2.2 – Графическая зависимость для определения величины предельной критической несущей способности основания

Проведены гидромеханические расчеты для гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец», схема переукладки пород которого представлена на рисунке 2.3. Результаты расчета представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета несущей способности поверхности зон гидроотвала №2 разреза «Черниговец»

Зоны гидроотвала	Песчано-супесчаная, зона I		Суглинистая, зона II		Глинистая, зона III	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
Сцепление, c , МПа	0,013	0,055	0,035	0,063	0,003	0,015
Угол внутреннего трения, φ , град.	25	32	14	23	0	3,0
Отношение $P_{гр}/c$	21,4	40,9	10,9	17,6	5,0	9,0
Несущая способность пород, $P_{гр}$, кг/см ² (МПа)	2,84 (0,28)	22,94 (2,29)	3,89 (0,39)	11,31 (1,13)	0,15 (0,02)	1,38 (0,14)

Они показали, что несущая способность пород песчано-супесчаной и суглинистой зон гидроотвала соответственно составляют не менее 2,84 и 3,89 кг/см². Сопоставим эту величину с величиной среднего удельного давления на грунт, который создают драглайны ЭШ-10/70 и ЭШ-15/90 (при передвижении, т. к. оно больше, чем во время работы). Для указанных типов драглайнов эта величина давления составляет соответственно 0,166 и 0,148 МПа или 1,69 и 1,51 кг/см² [79].

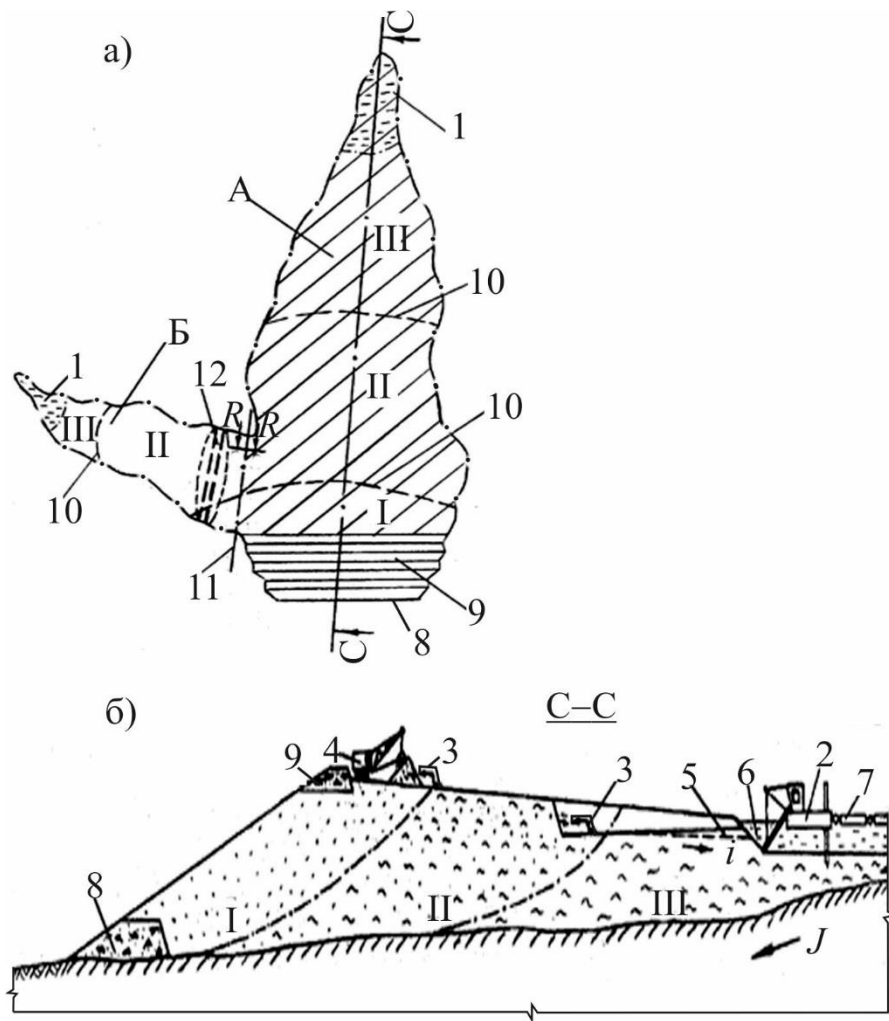


Рисунок 2.3 – Схема комбинированной переукладки пород гидроотвала комплексом гидромеханизированных технологий:
 а) схема переукладки пород гидроотвала; б) продольный разрез гидроотвала;
 А – часть гидроотвала, породы которой подлежат обработке; Б – часть гидроотвала, породы которой не подлежат обработке; I – зона песчано-супесчаных пород; II – зона суглинистых пород; III – зона обводненных неконсолидированных глинистых пород; 1 – заболоченные участки в верховьях гидроотвала; 2 – землесосный снаряд; 3 – гидромониторный размыв пород; 4 – экскаваторная выемка пород с перемещением их в навал и последующим размывом струей гидромонитора; 5 – пульповодная канава с уклоном i ; 6 – выработанное пространство в третьей зоне гидроотвала; 7 – плавучий пульповод землесосного снаряда; 8 – дамба первичного обвалования; 9 – дамба наращивания; 10 – границы зон гидроотвала в плане; 11 – створ разделительной дамбы; 12 – разделительная дамба

Для построения графической зависимости изменения величины предельного критического значения несущей способности поверхности трех зон гидроотвала приняты соотношения несущей способности пород по длине гидроотвала, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Величины предельного критического значения несущей способности поверхности трех зон гидроотвала

Несущая способность	Расстояние от дамбы, дол. ед.						
	0	0,05	0,1	0,3	0,5	0,75	1,0
	макс для зоны I	ср. для зоны I	ср. знач.: мин. зоны I + макс. зоны II	ср. для зоны II	ср. знач.: мин. зоны II + макс. зоны III	ср. для зоны III	мин. для зоны III
Величина несущей способности пород, МПа	0,28 2,29	0,5(0,28+ +2,29) = =1,29	0,5(0,28+ +1,13) = =0,71	0,5(0,39+ +1,13) = =0,76	0,5(0,14+ 0,39) = 0,27	0,5(0,02+ +0,14) = =0,08	0,02

Графическая зависимость изменения величины предельного критического значения несущей способности основания трех зон гидроотвала (3) приведена на рисунке 2.4.

В соответствии с перечнем пород, представленном в СНиП IV-5-84 (см. П.1), которые полностью соответствуют четвертичным вскрышным породам, намытым в гидроотвалы Кузбасса, на рисунке 2.4 представлены значения величины удельного расхода воды при разработке пород трех основных зон гидроотвала соответственно земснарядом (1), гидромониторно-землесосным комплексом (2) и гидромониторно-землесосным комплексом с экскаваторным рыхлением (4).

На рисунке 2.4 нанесена также горизонтальная линия, обозначающая значение несущей способности поверхности гидроотвала – 0,2 МПа (2,0 кг/см²). Ее точка пересечения с графиком зависимости изменения величины предельного критического значения несущей способности поверхности гидроотвала (3) находится на расстоянии, примерно составляющем 0,6L от дамбы, и определяет границы еще одного характерного участка гидроотвала на стыке III и II зон гид-

роотвала, на котором находятся обводненные породы суглинистой и глинистой зон.

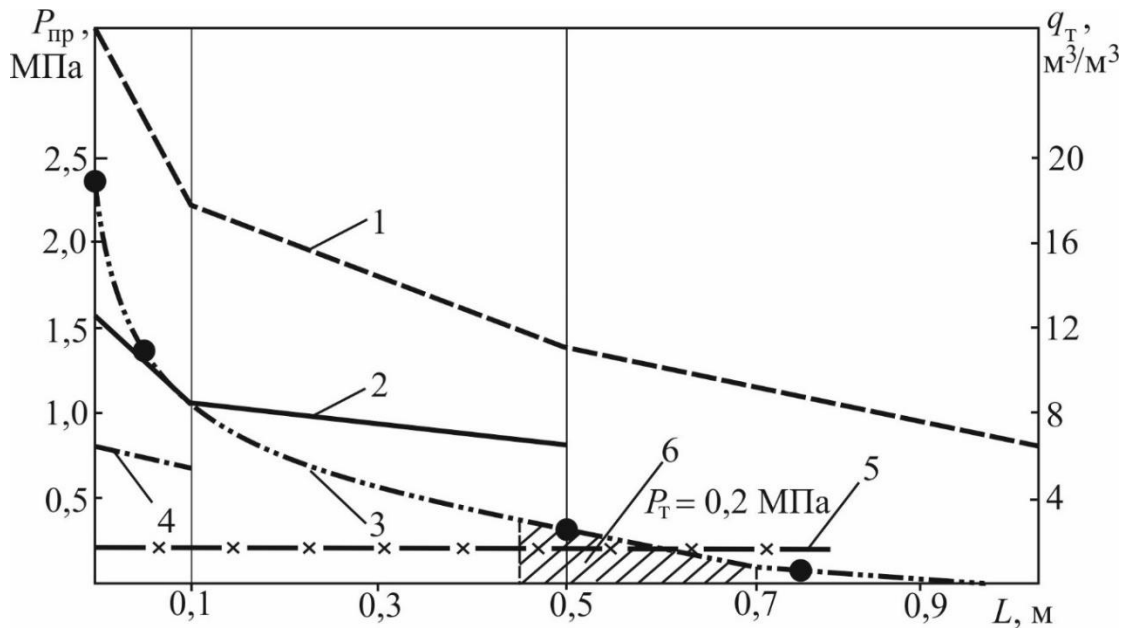


Рисунок 2.4 – Графическая зависимость изменения величины несущей способности поверхности зон гидроотвала и удельного расхода воды при их разработке: 1 – земснарядом, 2 – гидромониторно-землесосным комплексом, гидромониторно-земснарядным комплексом; 3 – график зависимости изменения величины предельного критического значения несущей способности поверхности гидроотвала с учетом физико-механических свойств пород в разных зонах; 4 – гидромониторно-землесосным комплексом с экскаваторным рыхлением; 5 – несущая поверхность гидроотвала, достаточная для обеспечения безопасной работы бульдозерного и транспортного оборудования для обслуживания участка гидромеханизации, $P_{пр} = 0,2$ МПа; 6 – зона обводненных пород суглинистой и глинистой зон гидроотвала

Сложность их отработки заключается в том, что несущая способность поверхности гидроотвала не превышает $2,0 \text{ кг/см}^2$, что не позволяет эффективно применить гидромониторно-землесосный комплекс. В тоже время прочностные свойства пород потребуют значительного удельного расхода воды при их разработке землесосными снарядами (вместо $6,5$ не менее $11 \text{ м}^3/м^3$), что приведет к увеличению затрат на их разработку.

2.2. Обоснование критериев зонирования намывного массива по физико-механическим свойствам пород

Для намывного массива гидроотвалов характерна пространственно-временная изменчивость физико-механических свойств. Выполнен анализ результатов инженерно-геологических изысканий, проведенных на гидроотвалах разрезов Кузбасса.

В результате многолетних исследований гидроотвалов Кузбасса были получены обобщенные параметры и характеристики физико-механических свойств намывных грунтов, которые приведены в таблице 2.3 [37, 39, 42, 89].

Как было отмечено выше, намывной массив гидроотвала по мере удаления от места выпуска гидросмеси принято разделять на зоны: песчано-супесчаную, суглинистую и глинистую (см. рисунок 1.5). В таблице приведена характеристика пород по таксономическим единицам, которые обычно приводятся при инженерно-геологическом изучении и районировании гидроотвалов.

Таблица 2.3 – Физико-механические свойства намывных отложений гидроотвалов Кузбасса

Физико-механические свойства пород	Песчано-супесчаная зона	Суглинистая зона			Глинистая зона		
		подзоны по консистенции			подзоны по консистенции		
		текучие	мягко-пластичные	тугопластичные	текучие	мягко-пластичные	тугопластичные
Влажность, д. ед.	0,14–0,30	0,27–0,40	0,25–0,31	0,22–0,26	0,37–1,00	0,31–0,38	0,28–0,31
Плотность, г/см ³	1,70–2,10	1,80–1,92	1,90–2,00	2,00–2,02	1,61–1,88	1,88–1,96	1,96–2,01
Пористость, %	33,7–43,7	44,0–52,5	38,5–46,6	40,0–41,6	50,0–71,0	44,5–50,0	41,0–44,0
Угол внутреннего трения, град.	25–32	14–23	19–25	22	0–6	8–16	8–16
Сцепление, МПа	0,013–0,055	0,015–0,026	0,025–0,043	0,035–0,063	0,003–0,015	0,015–0,035	0,040–0,060
Коэффициент сжимаемости, см ² /кг	0,060–0,008	0,140–0,040	0,080–0,020	0,020–0,009	–	0,010–0,0030	0,003–0,001
Коэффициент фильтрации, м/с	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁸	10 ⁻⁸ – 10 ⁻⁹			10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻¹¹		

Подразделение намывной толщи на подзоны (инженерно-геологические элементы по глубине) основано на изменении консистенции пород, т.к. доказана четкая дифференциация механических характеристик от физического состояния пород, которое оценивается по показателю консистенции [52].

Для отложений суглинистой зоны характерно постепенное снижение влажности с глубиной от 27–40 % (подзона текучих осадков) до 22–26 % (подзона тугопластичных пород). Изменение других параметров физико-механических свойств также характеризуется повышением: плотности от 1,80–1,92 т/м³ до 2,00–2,02 т/м³, сцепления от 0,015–0,026 МПа до 0,04–0,078 МПа, угла внутреннего трения от 14 до 22° при увеличении глубины залегания.

Для песчано-супесчаных пород первой зоны характерен грубодисперсионный состав намывных отложений мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения $\varphi = 17–27^\circ$). Вторая зона суглинистых пород характеризуется наличием отложений текучей и мягко-пластичной консистенции ($\varphi = 13–16^\circ$), а третья зона обводненных неконсолидированных глинистых пород – отложениями текучей и мягко-пластичной консистенции ($\varphi = 5–10^\circ$).

Результаты исследования свойств пород, уложенных в дамбу гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец», показали, что она сложена пятью дамбами наращивания, отсыпанных в период с 1962 по 1970 гг. с частичным перекрытием друг друга. За период эксплуатации дамбы никаких серьезных подвижек и осадок не наблюдалось. Но в то же время через тело дамбы, особенно в ее средней части, постоянно происходит фильтрация воды из гидроотвала, что объясняется, по-видимому, недостаточным уплотнением грунтов. В летнее время на поверхности тела дамбы наблюдаются «мокрые» участки, в зимнее время образуются наледи.

Тело дамбы (слой 2) сложено насыпными грунтами, представленными коренными породами вскрыши карьера с примесью угля. Указанные крупно-обломочные грунты представлены самыми различными фракциями, от валу-

нов до дресвы. В составе насыпных грунтов преобладают песчаники. На поверхности дамбы указанные грунты довольно быстро подвергаются выветриванию и разрушаются до песчано-глинистого и мелкообломочного материала. В процессе эксплуатации гидроотвала грунты в нижней части дамб наращивания также интенсивно подвергаются разрушению и фактически представляют собой более или менее плотный песчано-глинистый материал, либо при наличии крупнообломочных фракций играют роль заполнителя. В таблице 2.4 приведены показатели свойств таких вторичных (разложившихся) грунтов (слой 2) тела дамбы.

Таблица 2.4 – Показатели свойств грунтов гидроотвала №2
АО «Черниговец»[64]

№ п/п	Наименование показателей	слой 2	слой 3	слой 5
		от–до	от–до	от–до
1	Естественная влажность, %	22,8–26,1	24,8–40,0	25,4–27,6
2	Число пластичности	9–12	7–12	12–17
3	Консистенция	–0,16–0,53	0,94–2,28	–0,04–0,38
4	Степень влажности, д.ед.	0,82	0,91–1,00	0,88–0,97
5	Объемный вес, г/см ³	1,68–1,89	1,85–2,01	1,92–2,00
6	Объемный вес скелета грунта, г/см ³	1,34–1,53	1,40–1,59	1,50–1,59
7	Удельный вес, г/см ³	2,71	2,68–2,72	2,72–2,73
8	Коэффициент пористости	0,771	0,667–0,929	0,710–0,82
9	Коэффициент уплотнения, см ² /кг	н.д.	н.д.	0,022–0,048
10	Сцепление, кг/см ²	н.д.	н.д.	0,200–0,500
11	Угол внутреннего трения, град.	н.д.	н.д.	17–22
12	Коэффициент фильтрации, м/с	4,8 10 ⁻⁵	4,3 10 ⁻⁵	6,9 10 ⁻⁵ –1,9 10 ⁻⁴

Намывные грунты призмы гидроотвала (пульпа) слоя 3 представлены в основном суглинками легких и средних разностей, водонасыщенными, текучей консистенции. Суглинки по составу неоднородны, с примесью песчаного материала, обломков коренных пород. Крупнообломочный материал в намытом грунте распределен крайне неравномерно, и его содержание колеблется в пределах 5–10 %. Наибольшее количество обломочного материала наблюдается в непосредственной близости откосов дамб к пласту гидроотвала.

Песчаный материал распространен в пульпе также крайне неравномерно, в основном в виде линз и тонких прослоев.

Основание дамб (слой 5) представлено серовато-бурыми суглинками, плотными, от твердой до тугопластичной консистенции.

Углы внутреннего трения и сил сцепления определить в намывных грунтах не представлялось возможным. Консистенция их в основном выше единицы, грунт находится в текучем состоянии, поэтому практически сцепление и углы внутреннего трения в таких грунтах будут приближаться к нулю. Для грунтов гидроотвала характерно то, что намываемый материал обладает крайне слабой водоотдачей, медленно уплотняется, что, по-видимому, обуславливает состояние грунта (текучая консистенция).

2.3. Разработка способов комбинированной гидромеханизированной переукладки пород гидроотвалов

На рисунке 2.3 показана общая схема переукладки пород на примере гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец». Обводненные неконсолидированные глинистые породы третьей зоны разрабатывают землесосными снарядами (далее – земснарядами) 2; суглинистые породы второй зоны – гидромониторным размывом 3; песчано-супесчаные породы первой зоны, включая породы дамб обвалования 9, гидрокомплексом с экскаваторной 4 выемкой пород и перемещением их в навал с последующим размывом струей гидромонитора 3.

При этом безопасность ведения горных работ обеспечивается не только за счет использования комплекса гидромеханизированных технологий, каждая из которых применяет технические средства, соответствующие физико-механическим свойствам пород разрабатываемых зон гидроотвала, но и последовательностью их применения и сочетания.

На первом этапе работ производят разработку пород третьей зоны обводненных неконсолидированных глинистых пород земснарядом. Для этого осуществляют строительство котлована, который заполняют водой и в него спускают землесосный снаряд, один или несколько, в зависимости от требуемой производительности и срока выполнения работ по переукладке пород

гидроотвала на новое место. Разработка землесосным снарядом обводненных неконсолидированных глинистых пород гидроотвала в третьей зоне обеспечивает безопасность работ.

После того, как в третьей зоне гидроотвала выработанное пространство 6 позволит обеспечить самотечный гидротранспорт пульпы от гидромониторов, расположенных на верхней площадке уступа, целесообразно начинать разработку этого характерного участка гидроотвала на стыке III и II зон гидроотвала по комбинированной технологии, которая включает одновременно гидромониторный размыв пород и их разработку землесосным снарядом. В этом случае гидросмесь от гидромонитора 1 по пульповодной канаве 2 с уклоном i (рисунок 2.5) перемещается в выработанное пространство 3, откуда ее забирает рабочий орган 4 и с помощью грунтового насоса 5 землесосного снаряда 6 и транспортирует к месту складирования сначала по плавучему пульповоду 7, а затем по магистральному пульповоду в новый гидроотвал.

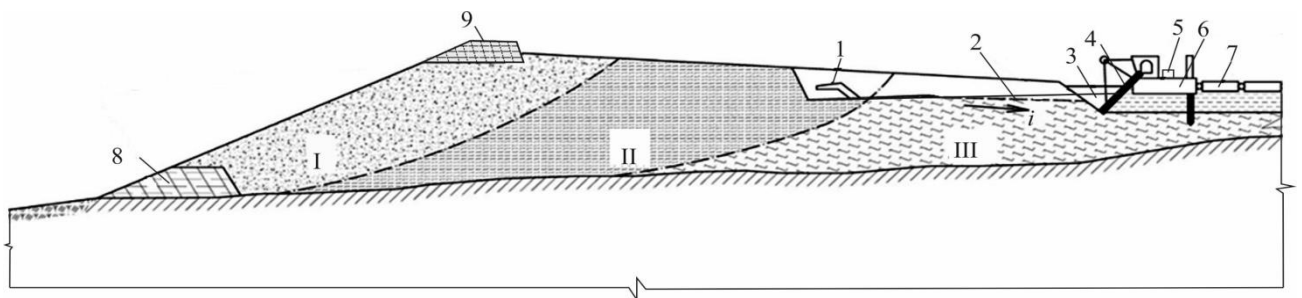


Рисунок 2.5 – Схема работы гидромонитора и земснаряда с организацией двухступенчатой системы повышения концентрации твердого в гидросмеси: I, II, III – зоны намыва соответственно песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых четвертичных вскрышных горных пород; 1 – гидромонитор; 2 – пульповодная канава с уклоном i ; 3 – забой земснаряда; 4 – рабочий орган и всасывающий трубопровод; 5 – грунтовой насос земснаряда; 6 – корпус земснаряда; 7 – плавучий трубопровод; 8 – дамба первичного обвалования; 9 – дамба наращивания

Такая последовательность комбинированной технологии разработки пород этого характерного участка гидроотвала на стыке III и II зон гидроотвала исключает возможность возникновения аварии и выхода из строя гидротранспортного оборудования при оползнях или выпорах (землесосы не тре-

буются), которые образуются в результате размыва гидромониторами неконсолидированной части пород гидроотвала [23, 81]. Функцию землесосов по транспортированию пульпы из гидромониторного забоя выполняют в этом случае землесосные снаряды, количество которых должно соответствовать суммарной производительности гидрокомплекса по породе, которая складывается из объемов, разрабатываемых земснарядами и гидромониторным размывом.

В результате совместной разработки пород земснарядами и гидромониторным размывом повышается плотность гидросмеси переукладываемых из гидроотвала пород, которая затем транспортируется по трубопроводу и намывается в новый гидроотвал. Это достигается тем, что вместо осветленной воды в выработанное пространство к земснаряду подается гидросмесь из гидромониторного забоя. Известно, что при подводной разработке пород всасыванием удельный расход воды больше, чем при размыве струей гидромонитора. Таким образом значительно уменьшается количество воды, находящейся в технологическом кругообороте, что сокращает затраты на переукладку гидроотвала.

В том случае, когда полезное ископаемое залегает в недрах только одной части гидроотвала, экономически целесообразна частичная его отработка, которая требует формирования разделительной дамбы. Створ 9 разделительной дамбы, подлежащие А и неподлежащие Б отработке части гидроотвала, а также границы основных зон гидроотвала 10 в плане показаны (см. рисунок 2.3). Для создания разделительной дамбы обычно используют гидросмесь из песчано-супесчаных пород первой зоны гидроотвала, которые разрабатывают гидромониторно-землесосным комплексом 5 с экскаваторной выемкой пород и перемещением их в навал с последующим размывом струей гидромонитора.

Снижение затрат на переукладку гидроотвала обеспечивается использованием гидрокомплекса с экскаваторной выемкой пород и перемещением их в навал с последующим размывом струей гидромонитора, гидросмесь от

которого используют для формирования разделительной дамбы и оградительной дамбы на не подлежащей перемещению части гидроотвала при недостаточной степени консолидации ранее намывных пород. Затем землесосным снарядом формируют разделительную дамбу, для чего по линии, которая разделяет намывные в гидроотвал породы на подлежащие и не подлежащие отработке, земснарядом формируют прорезь-траншею, которую замыкают гидросмесью пород первой зоны гидроотвала, а извлеченную при этом породу в виде гидросмеси намывают за оградительную дамбу, которую при достаточной степени консолидации ранее намывных пород в не подлежащей перемещению части гидроотвала формируют из их поверхностного слоя.

При отсутствии в дамбе обвалования полускальных пород или когда дамба обвалования не подлежит переукладке, для отработки песчано-супесчаных пород первой зоны применяют гидромониторно-землесосный комплекс вместо гидрокомплекса с экскаваторной выемкой пород и перемещением их в навал с последующим размывом струей гидромонитора.

Дополнительным фактором эффективности является использование вместо пород, привезенных из карьера, песчано-супесчаных пород первой зоны, включая породы дамб обвалования, из гидросмеси которых формируют разделительную дамбу и оградительную дамбу на не подлежащей перемещению части гидроотвала при недостаточной степени консолидации ранее намывных там пород.

Предлагаемый способ позволяет обеспечить безопасный доступ к георесурсам, которые залегают под гидроотвалом, открытым способом их разработки, а применение гидромеханизации вносит значительный вклад в снижение затрат на переукладку гидроотвала. В результате гидросмесь пород переукладываемого гидроотвала перемещают по трубопроводу и укладывают в новый гидроотвал, обеспечивая доступ к георесурсам. Учитывая потенциальное плодородие входящих в ее состав пород, возможен также ее намыв на нарушенные горными работами земли после проведения там горнотехнического этапа рекультивации. В условиях разреза АО «Черниговец» ось перемишки на гидроотвале №2 показана на рисунке 2.6.

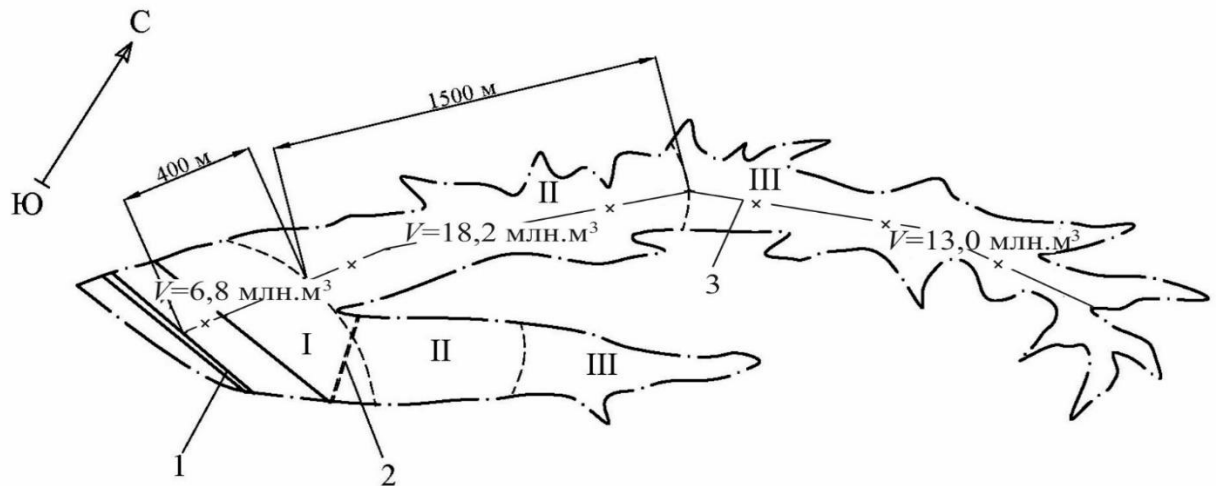


Рисунок 2.6 – Сооружение разделительной дамбы на гидроотвале №2 разреза АО «Черниговец»:

I, II, III – зоны гидроотвала с разными свойствами пород; 1 – дамба гидроотвала; 2 – разделительная дамба (перемычка); 3 – ось тальвега лога

Местоположение перемычки определено исходя из следующих требований:

- она находится за границами планируемых открытых горных работ (ОГР), но как можно ближе к ней для обеспечения максимальной приемной способности нового гидроотвала на не подлежащей перемещению части гидроотвала;

- параметры перемычки (прежде всего ее ширина) зависят от ряда факторов, таких как глубина гидроотвала в месте ее возведения, физико-механические свойства пород, из которых ее формируют.

Для строительства перемычки на гидроотвале №2 требуется извлечение намытых пород до основания гидроотвала. В районе ее формирования мощность намытых пород составляет порядка 30 м, следовательно, если строительство перемычки будет возможно производить драглайном, то его тип может быть определен по таблице 2.3.

Необходимую для строительства перемычки на гидроотвале №2 глубину траншеи обеспечит применение драглайнов ЭШ-10/70 или ЭШ-15/90.

Проверка возможности применения этих экскаваторов по величине несущей способности поверхности гидроотвала показала (см. рисунок 2.2), что несущая способность поверхности 1,5–2,0 кг/см² выдерживает среднее удельное давление на грунт, который создают драглайны ЭШ-10/70 и ЭШ-15/90.

Таблица 2.3 – Параметры траншей для проведения их драглайнами и размещения породы на одном борту
(при ширине предохранительной бермы 3 м) [79]

Драглайн	Угол наклона стрелы, градус	Радиус разгрузки, R_p , м	Радиус черпания, $R_ч$, м	Высота разгрузки, H_p , м	Глубина H_n и ширина траншеи B поверху при ширине траншеи понизу, м					Высота отвала H_o , м
					19	21	23	24	25	
ЭШ-5/40	25	44,5	46,0	13,0	8,4	8,0	7,7	7,4	7,2	7,0
					39,4	40,4	41,7	42,0	42,5	43,0
ЭШ-5/40	35	40,5	46,0	19,5	14,1	13,7	13,3	13,0	12,8	12,3
					53,0	54,3	55,3	55,6	56,1	56,0
ЭШ-8/60	35	54,0	62,0	28,0	21,0	21,0	20,4	20,2	19,8	19,8
					70,0	72,0	72,6	73,1	73,1	74,1
ЭШ-8/60	25	60,0	53,0	19,0	14,6	13,8	13,4	13,0	13,0	12,8
					54,5	54,5	55,6	55,6	55,6	57,1
ЭШ-10/60	35	54,0	62,0	28,0	21,0	21,0	20,4	20,2	19,8	19,8
					70,0	72,0	72,6	73,1	73,1	74,1
ЭШ-10/70	30	65,7	66,7	29,0	24,8	24,2	23,7	23,5	23,0	22,8
					79,3	80,0	80,6	81,0	81,0	81,4
ЭШ-15/90	30	83,0	81,0	42,0	32,9	32,4	31,7	31,3	31,3	31,0
					99,0	100,0	100,0	100,1	100,1	100,4

В том случае, когда требуется произвести разработку неконсолидированных тонкодисперсных пород, прорезь траншеи целесообразно проходить землесосным снарядом. Породы намывается по схеме со свободным откосом, если требуется его фракционирование, или складироваются при двухстороннем безэстакадном способе намыва (рисунок 2.7).

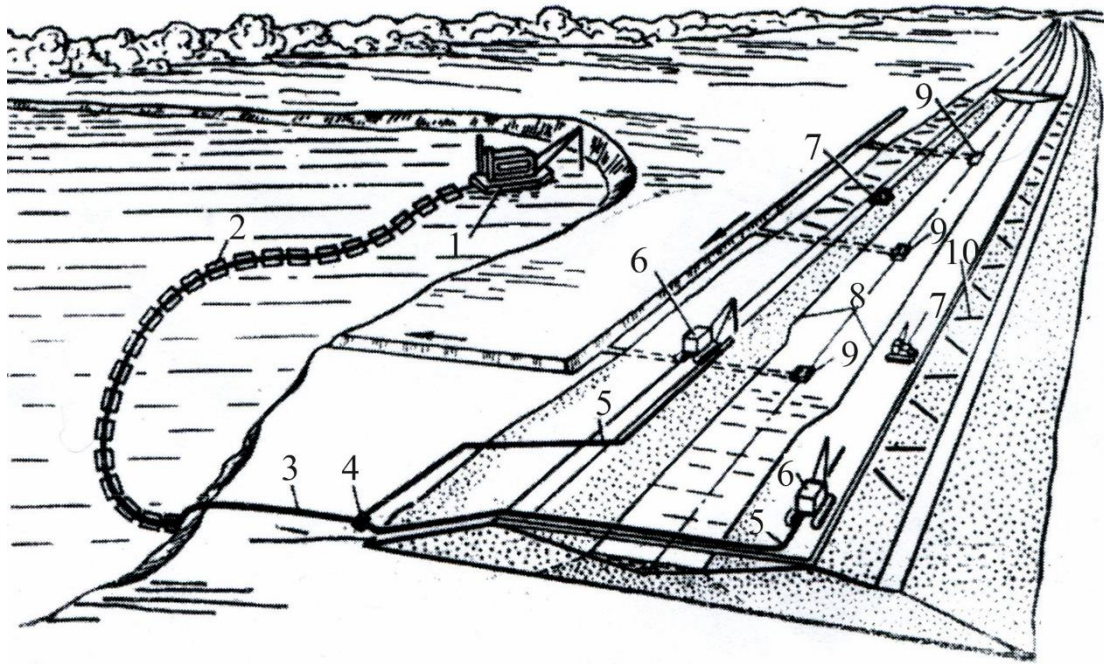


Рисунок 2.7 – Схема организации работ при двухстороннем безэстакадном намыве насыпи:

1 – земснаряд; 2, 3 и 5 – плавучий магистральный и намывной пульпопроводы; 4 – пульпопереключатель; 6 – трубоукладчики; 7 – бульдозеры; 8 – границы прудка-отстойника; 9 – водосбросные колодцы с трубами; 10 – трубы для наращивания пульпопровода

На способы комбинированной совместной разработки пород земснарядом и гидромониторным размывом, разработанные в ходе выполнения диссертационной работы, получены патенты РФ [67, 68, 69].

Выводы

1. В основе алгоритма выбора технических и технологических решений по разработке и перемещению пород гидроотвала лежат два критерия:

– безопасности, который определяет условия безаварийного функционирования технических средств и определяется несущей способностью основания зон гидроотвала, полностью зависящей от физико-механических свойств намывного массива;

– эффективности, включающей целый ряд факторов (объем горных пород, подлежащих переукладке, соотношение всех категорий пород, возможность частичного перемещения пород, расход воды, способы разрушения массива непосредственным всасыванием и размывом напорной струей или с предварительным рыхлением экскаватором).

2. Прогноз несущей способности $P_{пр}$ поверхности намывного массива показал, что для песчано-супесчанистой и суглинистой зон эта величина превышает соответственно 0,28 и 0,39 МПа, что вполне достаточно для работы драглайнов. При расстоянии от дамбы, равном 0,6 L , величина $P_{пр}$ снижается до уровня 0,2 МПа, что соответствует границе обводненных пород суглинистой и глинистой зон. Эта точка является границей эффективного применения гидромониторно-землесосного комплекса, что требует перехода к применению земснарядов и увеличению удельного расхода воды с 6,5 до 11 м³/м³.

3. Анализ физико-механических свойств намывных отложений гидроотвалов Кузбасса показал, что наиболее информативным параметром, позволяющим детализировать характерные зоны гидроотвалов, является угол внутреннего трения φ , величина которого изменяется от 0 до 32° в ряду «глинистая – суглинистая – песчано-супесчанистая зоны».

Кроме того, намывная толща по глубине при переходе от вторичных грунтов тела дамбы к намывному слою (пульпе) и основанию надежно дифференцируется по показателю консистенции, изменяющемуся в диапазоне 0,16–2,28.

4. Применение соответствующего комплекса гидромеханизированной технологии определяется границами извлекаемых объемов и разделением гидроотвала на три зоны: для песчано-супесчаных пород зоны I характерен

грубодисперсионный состав намывных отложений мягко-пластичной консистенции (угол внутреннего трения $\varphi = 17-27^\circ$); II зона суглинистых пород характеризуется наличием отложений текучей и мягко-пластичной консистенции

($\varphi = 13-16^\circ$); зона III обводненных неконсолидированных глинистых пород – отложениями текучей и мягко-пластичной консистенции ($\varphi = 5-10^\circ$).

При намыве пород со стороны дамбы обвалования образуется контруклон поверхности гидроотвала по отношению к уклону тальвега долины, в которой он расположен. При этом формируется замкнутое понижение, подпитываемое водой естественного долинного стока, что способствует заболачиванию верховьев гидроотвала. Отработка пород этой зоны гидромониторами характеризуется повышенной опасностью.

5. Разработку пород начинают с III зоны обводненных неконсолидированных глинистых пород путем применения землесосного снаряда, технология работы которого обеспечивает безопасность работ за счет того, что разрушенные породы откачиваются земснарядом из-под воды и по пульповоду подаются к месту сброса в новую емкость.

Когда глубина горных выработок, пройденных земснарядом в зоне III, позволит обеспечить самотек гидросмеси от гидромонитора, работающего на вышерасположенном уступе, начинают производить гидромониторный размыв суглинистых пород зоны II. При этом гидросмесь от гидромонитора перемещается в выработанное пространство, откуда ее забирают землесосным снарядом и транспортируют к месту складирования сначала по плавучему пульповоду, а затем по магистральному пульповоду в новый гидроотвал.

Совместная работа гидромонитора и земснаряда обеспечивает двухступенчатую систему повышения концентрации твердого в гидросмеси.

6. В случае отсутствия необходимости переукладки всего объема пород из гидроотвала часть гидроотвала, например, отдельный отрог оврага, может на этом этапе отделяться разделительной дамбой.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЕЙ ГИДРОМОНИТОРА И ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСАРЯДА ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД НАМЫВНОГО МАССИВА

3.1. Теоретические зависимости производительностей гидромонитора и грунтового насоса земснаряда

Повышение эффективности и безопасности горных работ при переукладке пород гидроотвалов происходит за счет повышения концентрации твердого в гидросмеси, перемещаемой земснарядом по напорному пульповоду к новому месту укладки путем последовательного соединения в одной технологической цепи процессов гидромониторного размыва пород и процесса разработки пород землесосным снарядом. При этом формирование гидросмеси, транспортируемой по пульповоду в гидроотвал, осуществляется последовательно в две стадии. На первой гидромонитор, работающий на технически чистой воде, который устанавливают на верхнем уступе, состоящем из консолидированных пород, производит их размыв. Гидросмесь от него самотеком по пульповодной канаве направляют в забой земснаряда, который разрабатывает породу и дополнительно увеличивает концентрацию пульпы (вторая стадия), перемещаемой по напорному пульповоду к новому месту укладки.

Таким образом, использование гидросмеси от гидромонитора вместо воды для обеспечения работы земснаряда и дополнительная порода, разработанная земснарядом, позволяют повысить концентрацию твердого в гидросмеси, транспортируемой в новый гидроотвал.

При этом безопасность горных работ достигается за счет того, что земснаряд разрабатывает неконсолидированные глинистые породы гидроотвала, а гидромонитор устанавливается на верхнем уступе, состоящем из консолидированных пород, и работает на технически чистой воде. Разрабатывать эти породы земснарядом неэффективно из-за высокого удельного расхода воды.

Условие устойчивой работы оборудования достигается в том случае, когда гидросмесь, поступающая от гидромонитора, и дополнительно разработанная земснарядом порода в виде гидросмеси, повышающей общую концентрацию пульпы, транспортируемой в новый гидроотвал, соответствуют возможности грунтового насоса (землесоса), который установлен на земснаряде. При этом гидросмесь, поступающая в забой земснаряда в результате гидромониторного размыва, должна обеспечивать нормативный удельный расход воды, необходимой для работы земснаряда. Учитывая сравнительно небольшой диапазон изменений величины пористости пород суглинистой и глинистой зон гидроотвала, в целях упрощения принимаем допущение о равенстве их значений.

Параметры процессов гидромониторной и земснарядной разработки пород, обеспечивающие их баланс и устойчивую работу оборудования с учетом физико-механических свойств пород, определяют из системы уравнений:

$$\begin{cases} Q_{ТГ}(1-m+q_{Г})+Q_{ТЗ}(1-m+q_{З})=Q_{Г\Sigma}; \\ Q_{ТГ}q_{З}=Q_{ТГ}(1-m+q_{Г}), \end{cases} \quad (3.1)$$

где $Q_{ТГ}$ – производительность гидромонитора по породе, м³/ч; $Q_{ТЗ}$ – производительность земснаряда по породе, м³/ч; $Q_{Г\Sigma}$ – производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси, м³/ч; $q_{З}$ – удельный расход воды при разработке пород земснарядом, м³/м³; $q_{Г}$ – удельный расход воды при гидромониторном размыве, м³/м³; m – пористость породы, дол. ед.

На стадии проектирования способа переукладки пород гидроотвалов требуется определить соотношение параметров основных процессов гидромониторной и земснарядной разработки пород, которые обеспечивают баланс и устойчивую работу оборудования гидрокомплекса, а также осуществить выбор оборудования.

Система уравнений необходима для того, чтобы была возможность оценить получаемый результат комбинированной разработки пород в двух возможных случаях формирования комплекса:

– когда известна производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси $Q_{Г\Sigma}$, для него выбирают производительность гидромонитора по породе $Q_{ТГ}$, их тип и количество;

– если требуется обеспечить определенный годовой объем разрабатываемых пород гидроотвала (срок его переукладки), что определяет необходимость эксплуатации нескольких гидромониторов, то становится известна величина их суммарной производительности по породе $Q_{ТГ}$, а из системы уравнений определяют необходимую производительность земснаряда по гидросмеси $Q_{Г\Sigma}$, т. е. выбирают их тип и количество.

В первом случае, когда известна производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси $Q_{Г\Sigma}$, решая систему уравнений относительно величины производительности гидромониторного размыва по твердому – основного параметра процесса размыва пород гидромонитором – получим формулу для ее расчета $Q_{ТГ}$:

$$Q_{ТГ} = \frac{Q_{Г\Sigma} q_3}{(1 - m + q_Г) + Q_{ТЗ} (1 - m + 2q_3)}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3.2, \text{ а})$$

Формула (3.2, а) позволяет при воспроизведении данного способа переукладки пород гидроотвалов, определить производительность гидромониторного размыва, которая соответствует производительности грунтового насоса, установленного на земснаряде, и учитывает горнотехнические условия работы, обеспечивая устойчивую работу оборудования всего комплекса.

Во втором случае, когда известна величина производительности гидромониторов по породе $Q_{ТГ}$, определяем необходимую производительность земснаряда по гидросмеси $Q_{Г\Sigma}$:

$$Q_{Г\Sigma} = \frac{Q_{ТГ}}{q_3} [(1 - m + q_Г) + Q_{ТЗ} (1 - m + 2q_3)], \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.2, \text{ б})$$

Формула (3.2, б) позволяет при воспроизведении заявляемого способа переукладки пород гидроотвалов определить производительность земснаряда

да, его тип и необходимое количество, а также учитывает горнотехнические условия работы, обеспечивая устойчивую работу оборудования всего комплекса.

Дальнейший расчет параметров процессов, таких как суммарная производительность гидрокомплекса по породе $Q_{Г\Sigma}$, производительность земснаряда по породе $Q_{ТЗ}$, расход и напор технически чистой воды для гидромонитора, удельный расход воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом q_{Σ} и т.п., которые необходимы при выполнении проекта ведения горных работ, а также выбор оборудования и значений величин удельных расходов воды в зависимости от горнотехнических условий работы производят по хорошо известным специалистам методикам [59, 60, 61, 78, 91].

При проведении совместной последовательной разработки пород гидромониторной струей и землесосным снарядом параметры этих процессов, которые обеспечивают устойчивую работу оборудования, определяют из системы уравнений (3.1).

Один из наиболее важных параметров этой технологии – производительность гидрокомплекса при совместной разработке пород гидромонитором и землесосным снарядом – определяется величиной подачи грунтового насоса, который установлен на земснаряде, т. к. только он в этой технологической цепи осуществляет главную задачу – удаление пород в виде гидросмеси из забоя в новый гидроотвал. Причем эта производительность гидрокомплекса должна быть $Q_{ТЗ}$, т. е. производительностью грунтового насоса земснаряда по породе, а не величиной подачи по гидросмеси $Q_{Г\Sigma}$. Известно, что на этот параметр оказывает непосредственное влияние консистенция пульпы, которая при одном и том же значении величины подачи грунтового насоса по гидросмеси весьма существенно влияет на технико-экономические показатели всей технологии. Зависимость производительности гидроком-

плекса по твердому (по породе) от величины подачи земснаряда по гидросмеси имеет вид:

$$Q_{Г\Sigma} = \frac{Q_{Г\Sigma}}{1 - m + q_{\Sigma}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.3)$$

где q_{Σ} – удельный расход воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом, $\text{м}^3/\text{м}^3$; m – пористость породы, дол. ед.

Для установления степени влияния факторов, определяющих производительность гидрокомплекса, нужно в математическую зависимость (3.3) подставить их значения, которые соответствуют различным горнотехническим организационным условиям функционирования технологии совместной и последовательной разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом.

Параметр $Q_{Г\Sigma}$ – производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси (см. формулу 3.2, б) является технической характеристикой грунтового насоса, который установлен на земснаряде, и принимается на стадии проектирования в зависимости от организационно-технических факторов (требуемого срока отработки пород гидроотвала и их общего объема). Величина q_3 (удельный расход воды, необходимый для разработки пород земснарядом), m (пористость породы) и $q_Г$ (удельный расход воды при гидромониторном размыве) принимаются в соответствии с горнотехническими условиями эксплуатации.

Величина удельного расхода воды, необходимая для разработки пород гидромониторным размывом и земснарядом, в зависимости от их свойств определена нормативными документами [77, 78]. В том случае, когда требуется оптимизировать параметры комплексной гидромеханизированной технологии совместной разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом, следует использовать в качестве фактора дополнительного регулирования величину давления воды на насадке гидромонитора. Для этого воспользуемся нормативной величиной удельного расхода воды, кото-

рый необходим для разработки пород гидромониторным размывом [16, 77, 78] и показывает изменение этого параметра в зависимости от величины давления воды на насадке гидромонитора.

Когда определены основные факторы и параметры, влияющие на производительность гидрокомплекса, становится возможным произвести оценку результата от применения способа совместной разработки пород гидромонитором и землесосным снарядом при переукладке гидроотвалов, сравнить величину его суммарной производительности по породе $Q_{T\Sigma}$ с традиционной земснарядной разработкой $Q_{TЗ1}$ и установить эффективность его работы. Сравнение новой предлагаемой технологии с традиционной определяется из условия, что только плавающий землесосный снаряд может обеспечить безопасность ведения горных работ при разработке обводненных неконсолидированных глинистых пород гидроотвала. Результаты расчета представлены в таблице 3.1.

Для принятых значений производительности по гидросмеси грунтового насоса, который установлен на землесосном снаряде $Q_{Г\Sigma}$ (см. таблицу 3.1), по формуле (3.2, а) определим производительность гидромонитора по породе, которая учитывает горнотехнические условия работы и обеспечивает устойчивую работу всего комплекса. Результат расчета приведен в таблице 3.1. Когда известна величина $Q_{ТГ}$, из системы уравнений (3.1) можно определить соответствующие значения $Q_{ТЗ}$ – производительности грунтового насоса земснаряда по породе при совместной разработке пород гидроотвалов гидромониторами и землесосными снарядами по формуле

$$Q_{ТЗ} = \frac{[Q_{Г\Sigma} - Q_{ТГ}(1 - m + q_{Г})]}{(1 - m + q_{З})}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3.4)$$

Из условия, что $Q_{Г\Sigma} = (Q_{ТГ} + Q_{ТЗ}) \cdot (1 - m + q_{\Sigma})$ с учетом установленных зависимостей (3.3) и (3.4), величину удельного расхода воды в гидросмеси,

которая перемещается по трубопроводу на новое место укладки, можно представить в виде:

$$q_{\Sigma} = \frac{[(1-m+q_{\Gamma}) \cdot q_3]}{(1-m+q_3+q_{\Gamma})}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (3.5)$$

где q_{Σ} – удельный расход воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Подставив формулу (3.5) в (3.1), получим зависимость для расчета величины производительности гидрокомплекса по твердому (по породе):

$$Q_{T\Sigma} = \frac{Q_{\Gamma\Sigma}(1-m+q_3+q_{\Gamma})}{[(1-m) \cdot (1-m+2q_{\Gamma}) + q_3(1-m+2q_{\Gamma})]}. \quad (3.6)$$

Результаты расчета величин $Q_{T\Sigma}$, Q_{T3} и q_{Σ} по формулам (3.2, а); (3.4); и (3.5) для условий гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» представлены в таблице 3.1. При традиционной земснарядной технологии разработки производительность земснаряда по породе рассчитывается по известной формуле [2, 18, 60, 93]

$$Q_{T31} = \frac{Q_{T\Sigma}}{(1-m+q_3)}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (3.7)$$

Величина дополнительной производительности по породе при совместной разработке пород земснарядом и гидромонитором по сравнению с традиционной для таких горнотехнических условий земснарядной технологией определяется зависимостью $\Delta Q_{T\Sigma} = Q_{T\Sigma} - Q_{T31}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$), а относительная величина – $\Delta Q_{T\Sigma} / Q_{T31}$. В таблице 3.1 также приведены результаты расчета величин Q_{T31} , $\Delta Q_{T\Sigma}$ и $\Delta Q_{T\Sigma} / Q_{T31}$.

Минимальные значения дополнительной производительности по породе при совместной разработке пород земснарядом и гидромонитором по сравнению с традиционной земснарядной технологией для условий гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» составляют $91,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $Q_{T\Sigma} = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $182,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $Q_{T\Sigma} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$, а относительная величина – $\Delta Q_{T\Sigma} / Q_{T31}$ изменяется в пределах от 79,6 до 84,4 % (см. таблицу 3.1).

Таблица 3.1 – Технологические параметры переукладки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом в сравнении с традиционной земснарядной разработкой пород в условиях гидроотвала № 2 разреза АО «Черниговец»

№ п/п	$Q_{Г\Sigma}$, м ³ /ч	Удельный расход земснаряда		Удельный расход гидромонитора		$Q_{П}$, м ³ /ч	$Q_{ТЗ}$, м ³ /ч	q_{Σ} , м ³ /м ³	$Q_{Т\Sigma}$, м ³ /ч	$Q_{ТЗ1}$, м ³ /ч	$\Delta Q_{Т\Sigma}$, м ³ /ч	$Q_{Т\Sigma} /$ $Q_{ТЗ1}$, дол. ед.	$\rho_{ГЗ}$, кг/м ³	$\rho_{Г\Sigma}$, кг/м ³	$\rho_{Г\Sigma} - \rho_{ГЗ}$, кг/м ³	e_2 / e_1 , дол. ед.
		группа породы	q_3 , м ³ /м ³	группа породы	$q_Г$, м ³ /м ³											
1	4000	VI	22,0	IV	8,1	229,0	89,9	12,0	318,8	177,5	141,3	1,80	1040	1073	33	0,52
2		V	18,0	III	6,3	288,6	109,6	9,5	398,2	215,9	182,3	1,84	1049	1091	42	0,53
3		IV	14,0	IV	8,1	227,4	140,3	10,35	367,7	275,3	92,4	1,34	1063	1084	21	0,76
4		III	11,0	III	6,3	285,9	166,1	8,32	452,0	346,9	105,1	1,30	1079	1103	24	0,78
5		II	8,5	III	6,3	284,0	228,2	7,28	512,2	443,0	69,2	1,16	1101	1117	16	0,87
6	3000	VI	22,0	IV	8,1	171,7	67,4	12,0	239,1	133,2	105,9	1,80	1040	1073	33	0,52
7		V	18,0	III	6,3	216,5	82,3	9,5	298,6	161,9	136,7	1,84	1049	1091	42	0,53
8		IV	14,0	IV	8,1	170,6	105,3	10,35	275,9	137,7	69,3	1,34	1063	1084	21	0,76
9		III	11,0	III	6,3	214,5	124,7	8,32	339,0	260,2	78,8	1,30	1079	1103	24	0,78
10		II	8,5	III	6,3	213,0	171,2	7,28	384,2	332,3	51,9	1,16	1101	1117	16	0,87
11	2000	VI	22,0	IV	8,1	114,5	45,0	12,0	159,4	88,8	70,6	1,80	1040	1073	33	0,52
12		V	18,0	III	6,3	144,3	54,9	9,5	199,1	108,0	91,1	1,84	1049	1091	42	0,53
13		IV	14,0	IV	8,1	113,7	70,2	10,35	183,9	91,8	46,2	1,34	1063	1084	21	0,76
14		III	11,0	III	6,3	143,0	83,1	8,32	226,0	173,5	52,6	1,30	1079	1103	24	0,78
15		II	8,5	III	6,3	142,0	114,1	7,28	256,1	221,5	34,6	1,16	1101	1117	16	0,87

Дополнительная производительность по породе при совместной разработке пород земснарядами и гидромонитором по сравнению с традиционной земснарядной технологией разработки определяет величину соотношения $\Delta Q_{T\Sigma} / Q_{T31}$, которое позволяет снизить металлоемкость гидрокомплекса и эксплуатационные издержки, необходимые на разработку пород.

Наиболее энергоемким процессом гидромеханизированной технологии разработки горных пород, как известно, является гидротранспортирование, а величина удельных энергозатрат определяется по формуле [19]:

$$e = \frac{\rho_{\Gamma} \cdot g \cdot H_{\Gamma} \cdot Q_{\Gamma}}{3,6 \cdot 10^6 \cdot Q_T \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3, \quad (3.8)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; H_{Γ} – напор, развиваемый грунтовым насосом, м вод.ст. ; η_1 – коэффициент полезного действия (КПД) грунтового насоса; η_2 – КПД электродвигателя; η_3 – КПД электросети; ρ_{Γ} – плотность гидросмеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; Q_{Γ} – величина подачи землесоса по гидросмеси, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Q_T – производительность гидротранспортной установки по породе, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Подставив в зависимость (3.8) вместо Q_{Γ} величину подачи землесоса по гидросмеси $Q_{\Gamma\Sigma}$, а вместо Q_T значение Q_{T3} и $Q_{T\Sigma}$, получим величину удельных энергозатрат при разработке пород соответственно земснарядом e_1 и при совместной разработке пород гидромонитором и землесосным снарядом e_2 . Снижение потребления электроэнергии целесообразно оценивать по величине их отношения. Разделив e_2 на e_1 , после преобразований получим:

$$e_2 / e_1 = \frac{\rho_{\Gamma\Sigma}}{Q_{T\Sigma}} \cdot \frac{Q_{T3}}{\rho_{T3}}, \text{ дол. ед.}, \quad (3.9)$$

где ρ_{T3} , $\rho_{\Gamma\Sigma}$ – плотность гидросмеси соответственно при применении земснаряда и совместной разработке пород гидромонитором и землесосным снарядом, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для расчета по формуле (3.9) необходимо определить значения плотности гидросмеси. В общем виде расчетная формула имеет вид [1, 59, 91]:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{\rho_0 \cdot q + \rho_{\Gamma}(1 - m)}{(1 - m + q)}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.10)$$

где q – удельный расход воды, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ρ_{Γ} – плотность минеральных частиц породы (твердого), 2718 кг/м^3 ; m – пористость породы, $0,47$; ρ_0 – плотность воды, кг/м^3 .

Подставляя в зависимость (3.10) величину удельного расхода воды при разработке пород земснарядом q_3 и q_{Σ} (при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом), по формуле получим зависимости для определения величины $\rho_{\Gamma 3}$ и $\rho_{\Gamma \Sigma}$:

$$\rho_{\Gamma 3} = \frac{\rho_0 \cdot q_3 + \rho_{\Gamma}(1 - m)}{(1 - m + q_3)}, \text{ кг/м}^3; \quad (3.11)$$

$$\rho_{\Gamma \Sigma} = \frac{\rho_0 \cdot q_{\Sigma} + \rho_{\Gamma}(1 - m)}{(1 - m + q_{\Sigma})}, \text{ кг/м}^3. \quad (3.12)$$

Расчет изменения их величины, а также соотношения e_2 / e_1 в условиях гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» Кузбасса представлены в (таблице 3.1).

Проведенные расчеты свидетельствуют о том, что энергозатраты на гидротранспортирование при совместной разработке пород гидромониторами и землесосными снарядами будут меньше, чем при работе земснаряда, а величина снижения достигает 48 %.

3.2. Анализ факторов, влияющих на производительность гидрокомплекса при совместной работе гидромонитора и земснаряда

Анализ основных факторов и параметров, влияющих на результаты работы при совместной разработке пород гидромониторным размывом и земснарядом, показал, что главным фактором повышения эффективности является увеличение плотности, транспортируемой по пульповоду гидросмеси

$\rho_{\Gamma\Sigma}$ на 16–42 кг/м³, которая достигается за счет снижения величины суммарного удельного расхода воды q_{Σ} . Статистическая обработка полученной базы данных позволила установить ряд корреляционных зависимостей.

На рисунке 3.1 представлена графическая зависимость изменения плотности, транспортируемой по пульповоду гидросмеси, от величины суммарного удельного расхода воды. При его снижении с 12 до 7,5 м³/м³ плотность гидросмеси повышается с 1073 до 1117 кг/м³, т. е. на 42 кг/м³.

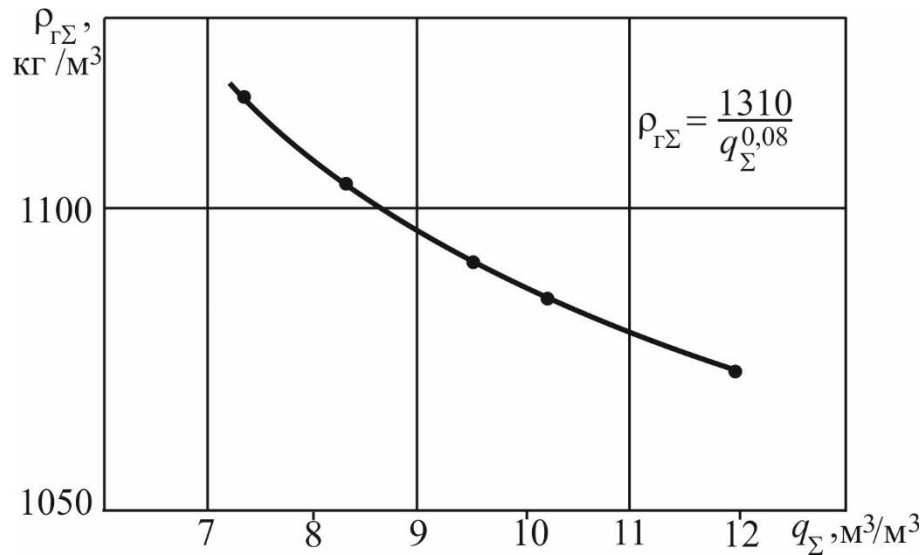


Рисунок 3.1 – Зависимость изменения плотности, транспортируемой по пульповоду гидросмеси, от величины суммарного удельного расхода воды

В результате применения метода наименьших квадратов установлена эмпирическая зависимость [4, 11, 24, 44]:

$$\rho_{\Gamma\Sigma} = \frac{1310}{q_{\Sigma}^{0,08}} \quad (3.13)$$

Точность эмпирической зависимости была оценена по следующей методике [4, 11, 24, 44]:

– ошибку зависимостей определяем по формуле:

$$\Delta y = y_i - f(x_i),$$

где Δy – ошибка опыта; y_i – расчетное по эмпирической формуле; $f(x_i)$ – теоретическое значение;

– среднеквадратическое отклонение

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum [y_i - f(x_i)]^2}{n-1}},$$

величина которого, как показывают результаты расчетов (таблица 3.2), составила $\sigma = 2,51 \text{ г/см}^3$.

Таблица 3.2 – Расчетные данные и статистическая оценка зависимости (3.13)

№ П/ П	QГΣ; м ³ /ч	Уд. расход земсн. q _з ; м ³ /м ³	Уд. расход гидром. q _г ; м ³ /м ³	qΣ; м ³ /м ³ (x _i)	ρ _г Σ; м ³ / м ³ (y _i)	Расчет f(x _i)	Δy	Δy ²	Относи- тельная ошибка Δy/ y _i , %
1	4000	22,0	8,1	12,0	1073	1073,8	0,83	0,69	0,077
2		18,0	6,3	9,5	1091	1094,1	3,09	9,55	0,283
3		14,0	8,1	10,35	1084	1086,6	2,62	6,84	0,242
4		11,0	6,3	8,32	1103	1105,8	2,76	7,63	0,250
5		8,5	6,3	7,28	1117	1117,6	0,64	0,41	0,057
						Средн. арифм. 1095,58	Σ=9,94	Σ=25,12	Средн. арифм. 0,182
Среднеквадратическое Отклонение								2,51	

Для оценки общего качества предлагаемой регрессии, т.е. степени соответствия аппроксимирующей функции набору фактических значений, использовался традиционный подход регрессионного анализа, в частности, определялось значение индекса детерминации R^2 . Индекс детерминации определялся следующим образом:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

где y_i – фактическое «точное» функции параметра в i -ой точке; \tilde{y}_i – значение функции по предлагаемой аппроксимирующей зависимости в i -ой точке; \bar{y} – среднее значение функции из n точек; n – число точек, в которых вычислялись значения функции.

Значение индекса детерминации для функции (3.13) составило $R^2=0,978$. В соответствии со своим статистическим смыслом индекс детерминации показывает долю объясненной дисперсии зависимой переменной при использовании данной регрессионной модели и соответствует коэффи-

циенту детерминации в линейных моделях. Таким образом, на долю необъясненной дисперсии, связанную с наличием в модели неучтенных переменных, неадекватность предлагаемой регрессионной зависимости и пр. приходится не более 3 % от общей дисперсии, что свидетельствует о высокой степени соответствия предлагаемой приближенной зависимости фактическим подсчитанным «точным» значениям.

С целью определения зависимости изменения величины дополнительной производительности по породе при совместной разработке пород земснарядом и гидромонитором (при $Q_{T\Sigma} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$) по сравнению с традиционной земснарядной технологией на основании данных таблицы 3.1 построена графическая зависимость, где аргументом является отношение величины удельного расхода воды при разработке пород гидромониторным разрывом и земснарядом к традиционной, земснарядной, т. е. q_3 / q_T , величина которых определяется физико-механическими свойствами разрабатываемых пород (рисунок 3.2).

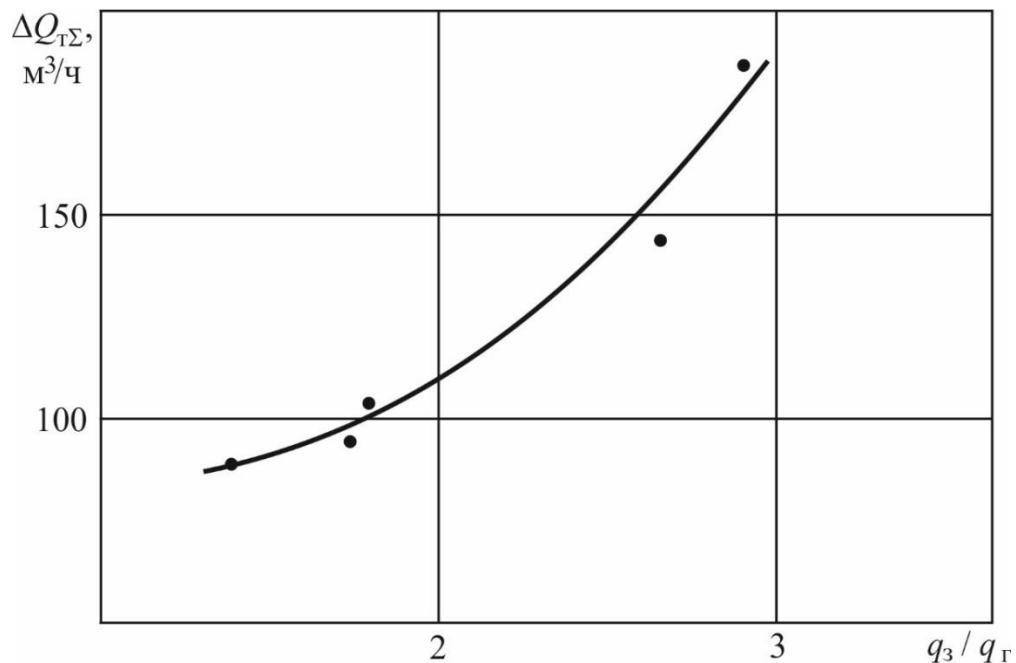


Рисунок 3.2 – Зависимости изменения величины дополнительной производительности по породе при совместной разработке пород земснарядом и гидромонитором (при $Q_{T\Sigma} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$) по сравнению с традиционной земснарядной технологией

Как видно из графика, при величине соотношения $q_3/q_T = 3$ производительность комплекса по породе увеличивается на 182,3 м³/ч (при $Q_{T\Sigma} = 4000$ м³/ч). В результате применения метода наименьших квадратов установлена эмпирическая зависимость:

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 30(q_3/q_T)^{1,8}. \quad (3.14)$$

Принятые параметры и результаты расчета при статистической оценке полученной зависимости (3.14) представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Принятые параметры и результаты расчета при статистической оценке полученной зависимости (3.14)

№ вар.	Аргумент q_3/q_T	Функция $\Delta Q_{T\Sigma}$, м ³ /ч	Расчет $\Delta Q_{T\Sigma}^1$, м ³ /ч	$\Delta y = \Delta Q_{T\Sigma}^1 - \Delta Q_{T\Sigma}$, м ³ /ч	Δy^2	Относительная ошибка $\Delta y/Q_{T\Sigma}$, %
1	1,35	69,2	51,49	-17,71	313,65	25,59
2	1,73	92,4	80,46	11,94	142,46	12,92
3	1,75	105,1	82,15	-22,95	526,86	21,84
4	2,72	141,3	181,70	40,39	1631,83	28,59
5	2,86	182,3	198,87	16,57	274,73	9,09
			Среднеарифм. 118,93	$\Sigma = 109,56$	$\Sigma = 2889,53$	Среднеарифм. 19,61
Среднеквадратическое отклонение					26,88	

Таким образом, статистические оценки полученной зависимости – среднеквадратическое отклонение $\sigma = 26,88$ м³/ч и индекс детерминации $R^2 = 0,633$ – характеризуют достаточно высокую степень достоверности результатов расчета по эмпирической формуле, учитывая значительный разброс данных при определении физико-механических свойств горных пород.

Установлена также эмпирическая зависимость изменения величины отношения часовой производительности гидромониторного размыва к земснарядной разработке пород от соотношения удельных расходов воды:

$$\Delta Q_{ТГ} / Q_{ТЗ} = 0,94(q_3/q_T) - 0,01. \quad (3.15)$$

График зависимости изменения отношения часовой производительности по породе гидромониторного размыва к земснарядной разработке пород от со-

отношения удельных расходов воды (при $Q_{T\Sigma} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$) показан на рисунке 3.3, а статистическая оценка зависимости представлена в таблице 3.4.

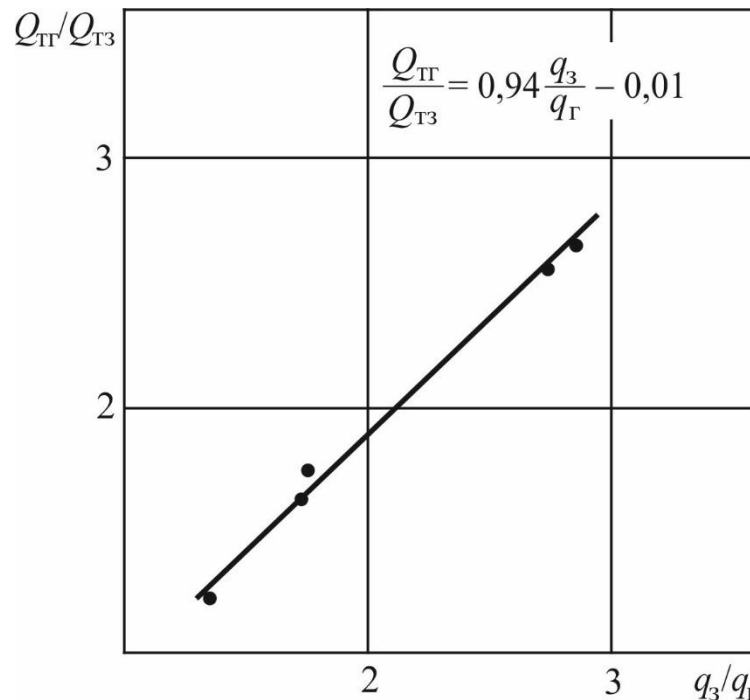


Рисунок 3.3 – Зависимости изменения отношения часовой производительности по породе гидромониторного размыва к земснарядной разработке пород от соотношения удельных расходов воды (при $Q_{T\Sigma} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$)

Таблица 3.4 – Расчетные данные и статистическая оценка зависимости (3.15)

№ п/п	$Q_{T\Sigma}; \text{ м}^3/\text{ч}$	Уд. расход земснар. $q_3; \text{ м}^3/\text{м}^3$	Уд. расход гидром. $q_Г; \text{ м}^3/\text{м}^3$	$q_3/q_Г (x_i)$	$Q_{TГ}; \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_{TЗ}; \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_{TГ} / Q_{TЗ} y_i$	Расчет $f(x_i)$	Δy	Δy^2	Относительная ошибка $\Delta y / y_i, \%$
1	4000	22,0	8,1	2,72	229,0	89,9	2,55	2,55	0	0	0
2		18,0	6,3	2,86	288,6	109,6	2,63	2,68	0,18	0,0324	0,0684
3		14,0	8,1	1,73	227,4	140,3	1,62	1,62	0	0	0
4		11,0	6,3	1,75	285,9	166,1	1,72	1,64	-0,08	0,0064	0,0465
5		8,5	6,3	1,35	284,0	228,2	1,24	1,26	-0,02	0,0004	0,0161
								Среднеарифм. 1,95	$\Sigma=0,2$ 8	$\Sigma=0,0392$	Среднеарифм. 2,62
Среднеквадратическое отклонение										0,099	

Низкое значение среднеквадратического отклонения этой эмпирической зависимости $\sigma=0,099$ и высокое значение коэффициента детерминации $R^2=0,993$ свидетельствуют о высокой степени соответствия предлагаемой приближенной зависимости к исходным данным.

Приняв в качестве аргумента фактор – величину отношения удельных расходов воды при разработке пород гидромониторным размывом и земснарядом к традиционной, земснарядной, т. е. q_3 / q_T , получим графическую зависимость изменения величины удельных энергозатрат (рисунок 3.4).

$$e_2/e_1 = 1,1 - 0,2(q_3 / q_T). \quad (3.16)$$

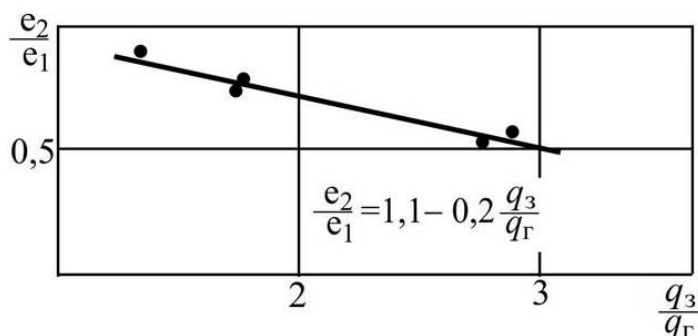


Рисунок 3.4 – Зависимость снижения величины потребления электроэнергии при совместной разработке пород гидромонитором и землесосным снарядом по сравнению с традиционной земснарядной разработкой пород

Расчетные данные и статистическая оценка зависимости снижения величины потребления электроэнергии при совместной разработке пород гидромонитором и землесосным снарядом по сравнению с традиционной земснарядной разработкой пород представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Расчетные данные и статистическая оценка зависимости (3.16) снижения величины потребления электроэнергии при совместном применении гидромонитора и земснаряда по сравнению с традиционной земснарядной технологией

№ п/п	$Q_{г\Sigma}$; м ³ /ч	Уд. расход земснаряда q_3 ; м ³ /м ³	Уд. расход гидромонитора q_T ; м ³ /м ³	q_3/q_T (x_i)	e_2/e_1	Расчет e_2/e_1 $f(x_i)$	Δy	Δy^2	Относительная ошибка $\Delta y / y_i$, %
1	4000;	22,0	8,1	2,72	0,52	0,556	0,036	0,0013	6,90
2	3000;	18,0	6,3	2,86	0,53	0,528	0,002	0,0000	0,38
3	2000	14,0	8,1	1,73	0,76	0,754	0,006	0,0000	0,79
4		11,0	6,3	1,75	0,78	0,750	0,030	0,0009	3,85
5		8,5	6,3	1,35	0,87	0,83	0,040	0,0016	4,60
						Среднеарифм. 0,684	$\Sigma=0,28$	$\Sigma=0,0392$	Среднеарифм. 3,30%
Среднеквадратическое отклонение								0,099	

При этом малая величина среднеквадратического отклонения $\sigma=0,099$ и высокое значение коэффициента детерминации $R^2=0,962$ подтверждают надежность описания исходных данных предлагаемой приближенной зависимостью снижения величины потребления электроэнергии при совместной разработке пород гидромонитором и землесосным снарядом по сравнению с традиционной земснарядной.

Проведенные расчеты свидетельствует о том, что энергозатраты на гидротранспортирование при совместной разработке пород гидромониторами и землесосными снарядами при величине отношения q_3/q_T , равном трем, практически в два раза уменьшаются при применении рекомендуемой технологии по сравнению с традиционной, земснарядной, которую по условиям безопасности возможно использовать для переукладки пород гидроотвала в этой зоне. Следует отметить, что соотношение этих факторов отражает физико-механические свойства пород, находящихся на участке на стыке III и II зон гидроотвала. При этом само положение этого участка, его контуры могут изменяться в зависимости от климата (водообильности) не только региона, но и метеоусловий года – величины осадков. Поэтому в каждом конкретном случае в расчетные зависимости надо подставить величину удельного расхода воды, которая соответствует свойствам разрабатываемых пород.

3.3. Теоретические зависимости производительности гидрокомплекса от напора гидромонитора и удельного расхода воды

С целью установления диапазона влияния на производительность исследуемого гидрокомплекса такого параметра, как напор (давление) воды на насадке гидромонитора и использования его в качестве регулятора при сравнении вариантов произведен расчет производительности гидрокомплекса в условиях гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец». Величина удельного расхода воды при гидромониторной разработке различных групп четвертичных пород (категорий) представлена в Приложении 2 (таблица П2.1) [78]. Расчет производительности гидрокомплекса при совместной разработке по-

род гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом проводился по ранее установленной зависимости (3.6)

$$Q_{Г\Sigma} = \frac{Q_{Г\Sigma} (1 - m + q_3 + q_Г)}{[(1 - m) \cdot (1 - m + 2q_Г) + q_3(1 - m + 2q_Г)]}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Технологические параметры работы гидрокомплекса при совместной и последовательной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом (для условий гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец»)

№ серии	№ п/п	Условия работы земснаряда		Условия работы Гидромонитора			Удельный расход при совместной разработке пород, q_{Σ} , $\text{м}^3/\text{м}^3$	Производительность при совместной разработке пород, $Q_{Г\Sigma}$, $\text{м}^3/\text{ч}$
		группа породы	удельный расход, q_3 , $\text{м}^3/\text{м}^3$	группа породы	напор на насадке гидромонитора, МПа	удельный расход $q_Г$, $\text{м}^3/\text{м}^3$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	II	8,5	III	1,2	5,4	6,68	556,33
	2	II	8,5	III	1,4	5,0	6,38	580,55
	3	II	8,5	III	1,6	4,7	6,15	600,60
	4	II	8,5	III	1,8	4,4	5,91	623,05
	5	II	8,5	III	2,0	4,2	5,74	640,00
2	11	III	11,0	III	1,2	5,4	7,36	508,26
	12	III	11,0	III	1,4	5,0	7,01	531,91
	13	III	11,0	III	1,6	4,7	6,73	552,49
	14	III	11,0	III	1,8	4,4	6,44	575,40
	15	III	11,0	III	2,0	4,2	6,25	591,72
3	6	II	8,5	IV	1,2	7,0	7,71	486,62
	7	II	8,5	IV	1,4	6,5	7,41	505,05
	8	II	8,5	IV	1,6	6,0	7,09	526,32
	9	II	8,5	IV	1,8	5,6	6,82	545,70
	10	II	8,5	IV	2,0	5,4	6,68	556,33
4	16	III	11,0	IV	1,2	7,0	8,63	437,64
	17	III	11,0	IV	1,4	6,5	8,26	456,10
	18	III	11,0	IV	1,6	6,0	7,87	477,33
	19	III	11,0	IV	1,8	5,6	7,53	497,51
	20	III	11,0	IV	2,0	5,4	7,36	508,26

Каждая серия расчетов отличается горнотехническими условиями работы земснаряда и гидромонитора – группа породы, напор на насадке гидромонитора и удельный расход воды. Графики изменения величины производительности гидрокомплекса при совместной разработке пород гидроотвала гидромонитором и землесосным снарядом в условиях гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» приведены на рисунке 3.5.

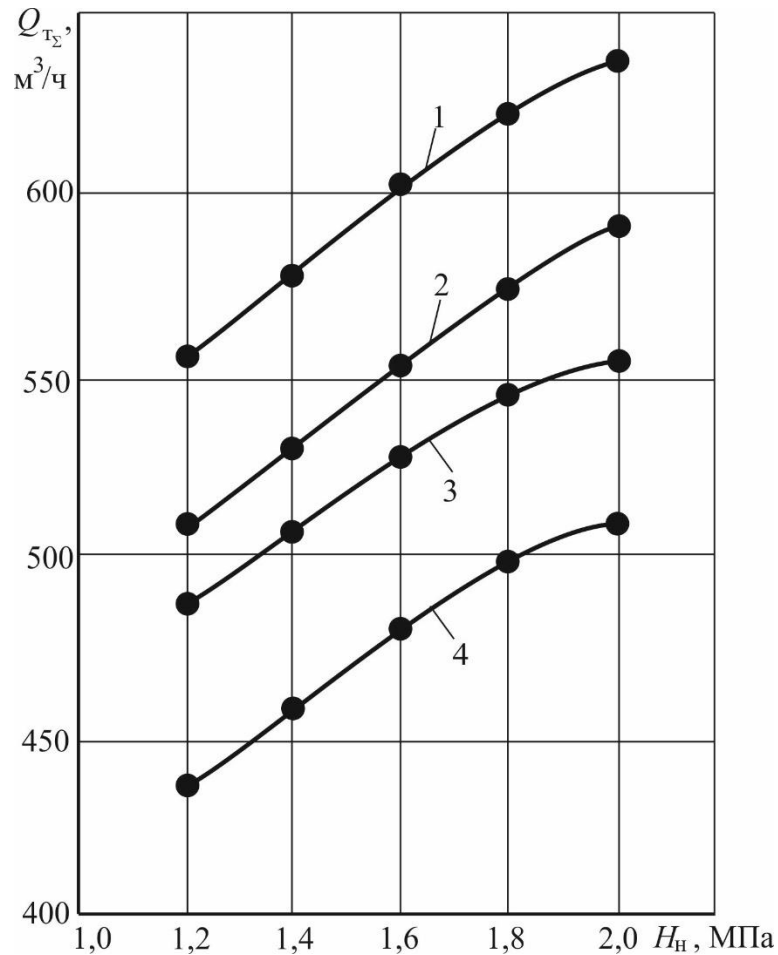


Рисунок 3.5 – Изменение производительности гидрокомплекса от давления при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом в условиях гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец»:
1,2,3,4 – номер серии

Анализ графических зависимостей показывает, что при увеличении напора на насадке гидромонитора H_n с 1,2 до 2,0 МПа производительность гидрокомплекса $Q_{T\Sigma}$ увеличивается на 70–84 м³/ч (10–15 %), причем интенсивность повышения с ростом давления снижается, так же, как и при повышении категории (группы) пород, которые разрабатываются гидромонитором [73].

Предположив, что искомая зависимость может быть определена только величиной удельного расхода воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом, по данным таблицы 3.6 получили эмпириче-

скую зависимость $Q_{T\Sigma} = f(q_{\Sigma})$, которая была установлена методом наименьших квадратов (рисунок 3.6):

$$Q_{T\Sigma} = \frac{3330}{q_{\Sigma}^{0,94}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3.17)$$

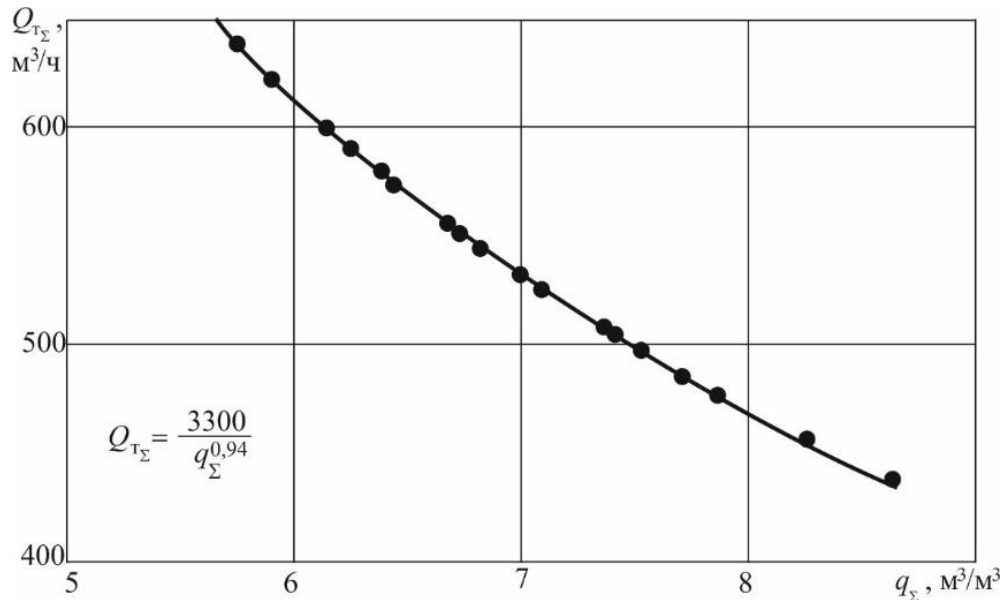


Рисунок 3.6 – Зависимость производительности гидрокомплекса по породе $Q_{T\Sigma}$ от удельного расхода воды q_{Σ} при совместной разработке пород гидроотвала гидромонитором и землесосным снарядом

Принятые расчетные данные и статистическая оценка зависимости (3.17) представлены в таблице 3.7.

Статистические оценки полученной зависимости (3.17) – среднеквадратическое отклонение $\sigma = 2,49 \text{ м}^3/\text{ч}$ и индекс детерминации $R^2 = 0,998$ – характеризуют высокую степень достоверности результатов расчета при использовании данной регрессионной модели. При этом полученная формула значительно упростит расчеты при выборе рациональных параметров гидрокомплекса при совместной работе гидромонитора и земснаряда.

Таблица 3.7 – Расчетные данные и статистическая оценка зависимости для расчета производительности по породе гидрокомплекса от величины q_{Σ} при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом

№ п/п	№ варианта	Удельный расход при совместной разработке $q_{\Sigma}, \text{м}^3/\text{м}^3$	Производительность при совместной разработке $Q_{\tau\Sigma}, \text{м}^3/\text{ч}$	Расчет $Q_{\tau\Sigma}^1, \text{м}^3/\text{ч}$	$\Delta y = Q_{\tau\Sigma}^1 - Q_{\tau\Sigma}, \text{м}^3/\text{ч}$	Δy^2	Относительная ошибка $\Delta y/Q_{\tau\Sigma}, \%$
1	1	6,68	556,33	558,72	2,39	5,71	0,43
	2	6,38	580,55	583,33	2,78	7,73	0,48
	3	6,15	600,60	603,81	3,21	10,30	0,53
	4	5,91	623,05	626,83	3,78	14,29	0,61
	5	5,74	640,00	644,27	4,27	18,23	0,67
2	11	7,36	508,26	510,01	1,75	3,06	0,34
	12	7,01	531,91	533,91	2,00	4,00	0,38
	13	6,73	552,49	554,77	2,28	5,20	0,41
	14	6,44	575,40	578,22	2,82	7,95	0,49
	15	6,25	591,72	594,73	3,01	9,06	0,51
3	6	7,71	486,62	488,22	1,60	2,56	0,33
	7	7,41	505,05	506,77	1,72	2,96	0,34
	8	7,09	526,32	528,25	1,93	3,72	0,34
	9	6,82	545,70	547,88	2,18	4,75	0,40
	10	6,68	556,33	558,67	2,34	5,48	0,42
4	16	8,63	437,64	439,13	1,49	2,22	0,34
	17	8,26	456,10	457,59	1,49	2,22	0,33
	18	7,87	477,33	478,88	1,55	2,40	0,33
	19	7,53	497,51	499,18	1,67	2,79	0,33
	20	7,36	508,26	510,01	1,75	3,06	0,34
				Среднеарифм. 540,16	$\Sigma=46,01$	$\Sigma=117,69$	Среднеарифм. 0,42
Среднеквадратическое отклонение						2,49	

Взаимодействие гидромониторного размыва пород при применении землесосных снарядов для переукладки пород гидроотвалов на новое место обеспечивает определенный синергетический эффект, т. е. взаимное усиление результатов применения этих двух технологических процессов.

Качественное подтверждение синергетического эффекта от применения комбинированной технологии заключается в следующем.

1. Обеспечивается безопасность горных работ, которая достигается за счет того, что земснаряд разрабатывает неконсолидированные глинистые породы гидроотвала, а гидромонитор работает на технически чистой воде и устанавливается на верхнем уступе, состоящем из консолидированных пород, причем эти породы неэффективно разрабатывать земснарядом. Приме-

нение гидромонитора для размыва неконсолидированных пород гидроотвала является опасным по причине возможности образования в забое оползней или выпоров и, как следствие, возникновения аварий и выхода из строя оборудования.

2. Использование гидросмеси от гидромонитора вместо воды для обеспечения работы земснаряда и дополнительная порода, разработанная земснарядом, позволяют повысить концентрацию твердого в гидросмеси, транспортируемой в новый гидроотвал.

3. Энергозатраты на гидротранспортирование при совместной разработке пород гидромониторами и землесосными снарядами будут меньше, чем при работе земснаряда, а величина снижения достигнет 48 %.

4. При традиционной разработке намывных пород (гидромониторно-землесосным комплексом и землесосным снарядом) для каждого из них требуется водовод и пульповод. Следовательно, протяженность трубопроводов сокращается практически в два раза. Кроме того, исключаются насосное оборудование для возврата воды в забой земснаряда и грунтовые насосы системы гидротранспорта гидромониторно-землесосного комплекса.

Для условий гидроотвала № 2 разреза АО «Черниговец» расчеты показали, что при $Q_{Г\Sigma} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ значения дополнительной производительности по породе при совместной разработке пород земснарядом и гидромонитором по сравнению с традиционной земснарядной в зависимости от свойств пород изменяются в пределах 91,1–182,3 $\text{м}^3/\text{ч}$, а относительная величина увеличения производительности по породе – $(\Delta Q_{Г\Sigma} / Q_{ТЗ1})$ составляет 1,16–1,84.

Выводы

1. Условие устойчивой работы гидромонитора и земснаряда заключается в балансе технологических параметров оборудования, который достигается в том случае, когда гидросмесь, поступающая от гидромонитора, и дополнительно разработанная земснарядом порода в виде гидросмеси, повышаю-

щей общую концентрацию пульпы, транспортируемой в новый гидроотвал, соответствуют возможности грунтового насоса (землесоса), который установлен на земснаряде. Этот баланс описывается системой уравнений, включающей производительности гидромонитора по породе, земснаряда по породе и гидросмеси, удельные расходы воды при разработке пород земснарядом и гидромониторном размыве, а также пористость разрабатываемой породы в соответствующей зоне гидроотвала.

2. На основе базовой системы уравнений получены теоретические взаимосвязи технологических параметров комбинированной и традиционной технологий, обеспечивающие количественную оценку их эффективности: производительность на породе; удельный расход в гидросмеси; расход электроэнергии.

3. Для условий гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» сформирована база данных технологических параметров традиционной и комбинированной технологий. Анализ данных численных расчетов позволил установить, что основным фактором, определяющим эффективность применяемой технологии, является удельный расход воды. От этой величины зависит плотность гидросмеси, увеличение дополнительной и часовой производительности, а также расхода электроэнергии. Получены соответствующие линейные и нелинейные эмпирические зависимости, при этом относительная ошибка прогноза находится в диапазоне 0,42–19,61 %.

4. Для выбора наиболее эффективного варианта технологии введен дополнительный фактор регулирования ее параметров – давление воды на насадке гидромонитора. С использованием баз данных, полученных для условий гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец», получены зависимости изменения величины производительности гидрокомплекса от напора на насадке гидромонитора для различных горнотехнических и организационных условий работы принятого оборудования, из которых следует, что при увеличении напора на насадке гидромонитора с 1,2 до 2,0 МПа производительность гидрокомплекса $Q_{T\Sigma}$ увеличивается на 70–84 м³/ч (10–15 %), причем

интенсивность повышения с ростом давления снижается, так же, как и при повышении категории (группы) пород, которые разрабатываются гидромонитором. По этой же базе данных получена эмпирическая зависимость $Q_{T\Sigma}$ от удельного расхода воды.

При реализации рекомендуемой технологии достигается снижение удельного расхода воды с 12 до 7,5 м³/м³, которое повышает плотность гидросмеси с 1073 до 1117 кг/м³, т. е. на 42 кг/м³. Это, в свою очередь, увеличивает производительность комплекса по породе в 1,2–1,8 раза, сокращая энергозатраты на гидротранспортирование до 48 %.

5. Взаимодействие гидромониторного размыва пород при применении землесосных снарядов для переукладки пород гидроотвалов на новое место обеспечивает определенный синергетический эффект:

- обеспечение безопасности горных работ, которая достигается за счет того, что земснаряд разрабатывает неконсолидированные глинистые породы гидроотвала, а гидромонитор работает на технически чистой воде и устанавливается на верхнем уступе, состоящем из консолидированных пород;

- водо- и энергосбережение за счет повышения концентрации твердого в гидросмеси;

- значительное сокращение протяженности трубопроводов, т. к. для его функционирования требуется два трубопровода: водовод и пульповод (при традиционной разработке пород гидромониторно-землесосным комплексом и землесосным снарядом для каждого из них потребуется отдельный водовод и пульповод).

4. РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПЕРЕУКЛАДКИ ПОРОД ГИДРООТВАЛОВ

4.1. Алгоритм расчета параметров комбинированной гидромеханизированной технологии

На основании результатов исследований, приведенных в разделах 2 и 3, разработан алгоритм расчета параметров комплексной гидромеханизированной технологии при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом для перемещения пород, намывтых в гидроотвал, на новое место, включая возможность их оптимизации. Алгоритм в виде блок-схемы приведен на рисунке 4.1. Этот алгоритм и установленные зависимости для расчета параметров технологии совместной разработки пород гидромониторным размывом и земснарядом, а также производительности гидрокомплекса от типа применяемых технических средств, группы (категории) разрабатываемой породы, напора на насадке гидромонитора и удельных расходов воды являются основой методики, которая наряду с последовательным формированием вариантов расчета (учитывающих различные горнотехнические условия) должна обеспечивать баланс параметров применяемого оборудования, устойчивый режим его эксплуатации и технико-экономическое сравнение.

При этом требуется применение соответствующих аналитических зависимостей и методик:

– установленные в работе аналитические зависимости (3.1–3.7), которые определяют параметры исследуемой комплексной гидромеханизированной технологии для различных горнотехнических условий (когда гидросмесь, поступающая от гидромонитора, и дополнительно разработанная земснарядом порода в виде гидросмеси, повышающая общую концентрацию пульпы, транспортируемой в новый гидроотвал, соответствуют возможности грунтового насоса, установленного на земснаряде);

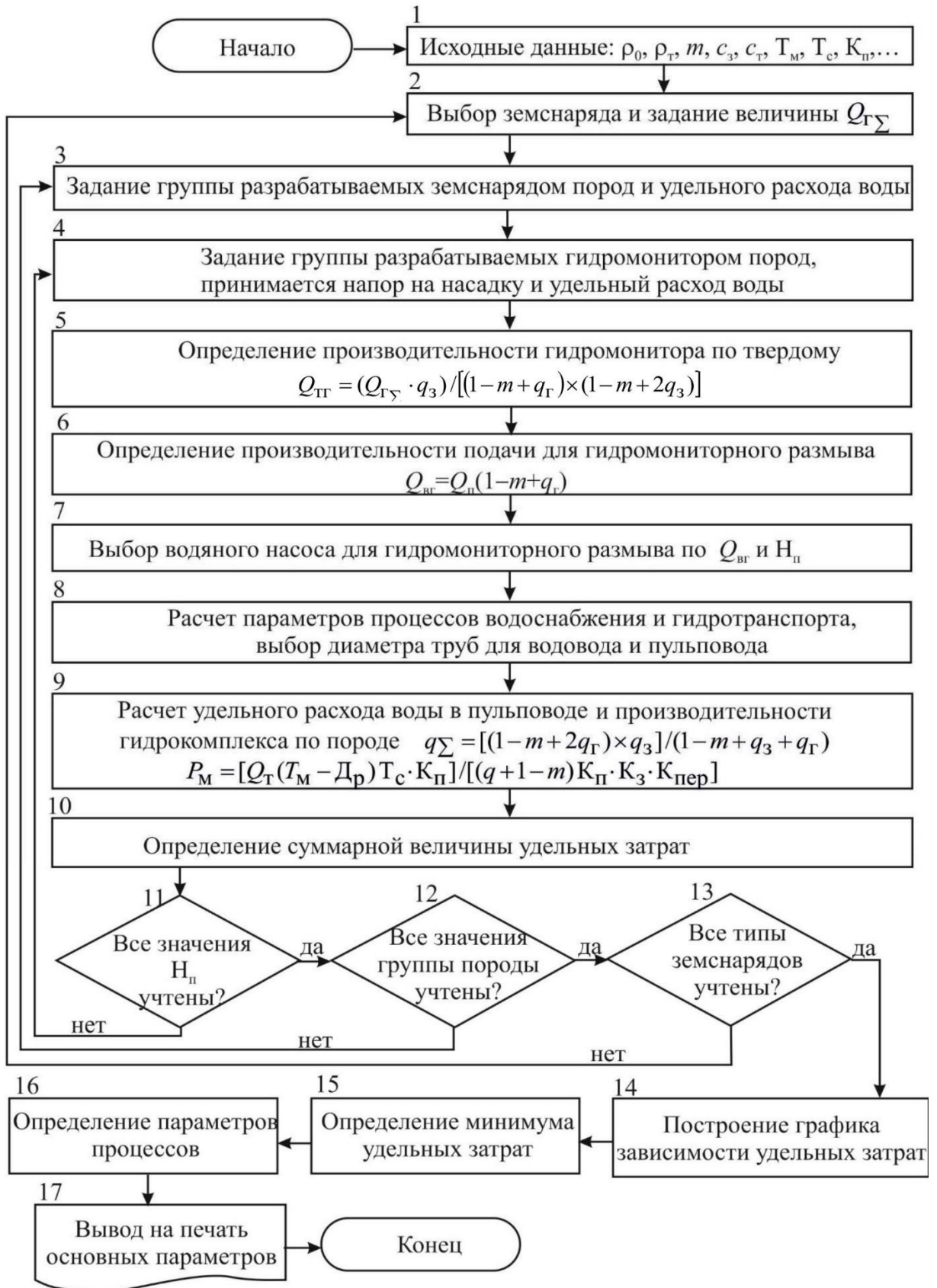


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма расчета параметров комплексной гидромеханизированной технологии разработки пород, намывных в гидроотвал, и перемещения их на новое место при совместном применении гидромониторов и землесосных снарядов

- методика выбора диаметра трубопровода, включая расчет критической и фактической (действительной) скоростей движения гидросмеси в пульповоде;
- методика расчета параметров системы водоснабжения;
- методика расчета фактической (действительной) подачи грунтовых насосов в конкретных условиях эксплуатации оборудования;
- методика согласования параметров систем водоснабжения и гидротранспортирования;
- методика расчета режимов работы насосного оборудования при их последовательном или параллельном соединении.

Алгоритм включает не только установленные в работе аналитические зависимости, которые определяют параметры исследуемой комплексной гидромеханизированной технологии для различных горнотехнических условий, но и ряд известных отраслевых методик, подробное изложение заняло бы довольно много места, поэтому основные задачи его детализации сводятся к следующему:

- разъяснение порядка действий для достижения целей, которые предусмотрены каждым оператором алгоритма;
- указание доступных источников для получения достоверных исходных данных;
- выбор последовательности расчетов и формул, принятых в применяемых методиках, в соответствии с горнотехническими условиями объекта и свойствами разрабатываемых горных пород.

Оператор №1

«Ввод исходных данных: $\rho_0, \rho_T, m, c_3, c_T, T_M, T_C, K_{II}, \dots$ ». Определяются или задаются исходные данные. Часть из них характеризует физико-механические свойства разрабатываемых пород ($\rho_0, \rho_T, m \dots$), поэтому для их выявления требуются данные геологоразведочных работ. Вторая часть исходных данных – это стоимостные параметры ($c_3, c_T \dots$), которые необхо-

димы для технико-экономического сравнения вариантов. Кроме того, необходимо учитывать организационно-технические ограничения, связанные с режимом работы предприятия и климатическими условиями (T_m , T_c , $K_{п} \dots$). Обычно все исходные данные можно найти в проекте разработки месторождения.

Оператор №2

«Выбор земснаряда и задание величины $Q_{г\Sigma}$ ». В соответствии с объемом разрабатываемых пород, сроком выполнения работ и горнотехническими условиями (мощность разрабатываемого слоя, свойства пород, определяющие способ их разработки земснарядом – свободным всасом, с гидравлическим или механическим рыхлителем) производятся предварительные расчеты для выбора типа земснаряда (требуется ориентировочная величина часовой производительности по гидросмеси $Q_{г\Sigma}$). После этого по каталогу [1, 2, 93] определяются тип земснаряда и его часовая производительность по гидросмеси $Q_{г\Sigma}$. Разработанная методика позволяет осуществлять технико-экономическое сравнение вариантов применяемого оборудования, поэтому могут быть выбраны несколько типов земснарядов. Они могут отличаться по производительности или по способу разработки пород, что учитывается величиной затрат на приобретение оборудования и эксплуатационными издержками (Операторы №11 и 13).

Оператор №3

«Задание величины группы разрабатываемых земснарядом пород и удельный расход воды». Определяется в соответствии с [2, 10, 63, 77, 93]. Таблица для определения удельного расхода воды от группы (категории) разрабатываемых земснарядом пород приведена в работе.

Оператор №4

«Задание величины группы разрабатываемых гидромонитором пород, принимается напор на насадке и удельный расход воды по табл.». Аналогично определяется в соответствии с [2, 10, 63, 77, 93] по таблице для

определения удельного расхода воды от группы (категории) разрабатываемых земснарядом пород, приведенной в работе.

Оператор №5

«Определение производительности гидромонитора по твердому (по породе) $Q_{ТГ} = (Q_{Г\Sigma} \cdot q_3) / [(1 - m + q_Г) \times (1 - m + 2q_3)]$ ». В соответствии с установленными значениями удельного расхода воды при разработке пород земснарядом и гидромонитором (при заданном напоре воды на насадке) для принятого типа земснаряда, зная его часовую производительность, по гидро-смеси $Q_{Г\Sigma}$ рассчитывается *производительность гидромонитора по твердому (по породе) $Q_{ТГ}$.*

Оператор №6

«Определение производительности водяного насоса для гидромониторного размыва $Q_{ВГ} = Q_{ТГ} \cdot (1 - m + q_Г)$ ». В результате расчета определяется суммарная подача водяного насоса для гидромониторного размыва, которая может обеспечиваться не только одним, но и двумя или несколькими агрегатами, работающими параллельно.

Оператор №7

«Выбор водяного насоса для гидромониторного размыва по величине $Q_{ВГ}$ и заданном напоре воды на насадке H_H ». По каталогу [2, 16, 61, 78, 91, 93] для обеспечения подачи воды $Q_{ВГ}$, с учетом принятой величины напора воды на насадке H_H (см. Оператор №5), принимаются тип и количество параллельно работающих водяных насосов. Следует помнить, что для обеспечения необходимой величины напора насосы могут быть соединены последовательно.

Оператор №8

«Расчет параметров процессов водоснабжения и гидротранспорта, выбор диаметра труб для водовода и пульповода». В соответствии с разработанными и многократно проверенными методиками расчета параметров процессов водоснабжения и гидротранспорта [2, 16, 61, 62, 74, 78, 91, 93] определяются критические и действительные скорости движения гидросмеси

в трубопроводе, их диаметры, исключаящие заиливание пульпопровода, а также необходимое количество перекачивающих насосных станций. В результате определяется полный состав основного оборудования гидрокомплекса.

Оператор №9

«Расчет удельного расхода воды в пульповоде $q_{\Sigma} = [(1-m+2q_{Г}) \times q_3] / (1-m+q_3+q_{Г})$ и производительности гидрокомплекса по породе $P_{М} = [Q_{Т} \cdot (T_{М} - D_{Р}) \cdot T_{С} \cdot K_{И}] / [(q+1-m) \cdot K_{П} \cdot K_3 \cdot K_{пер}]$ ».

На основании установленной в работе зависимости определяется величина удельного расхода воды в пульповоде при работе комплексной гидромеханизированной технологии разработки и перемещении на новое место намытых в гидроотвал пород. При этом соблюдается условие баланса – гидросмесь, поступающая от гидромонитора, и дополнительно разработанная земснарядом порода в виде гидросмеси, повышающая общую концентрацию пульпы, транспортируемой в новый гидроотвал, соответствуют возможности грунтового насоса, установленного на земснаряде. Это позволяет определить производительность всего гидрокомплекса по породе, которая требуется для расчета величины удельных эксплуатационных затрат.

Оператор №10

«Определение суммарной величины удельных затрат». Расчет удельных эксплуатационных затрат на разработку пород и их транспортировку на новое место с применением гидромонитора и земснаряда производится путем формирования локальных смет по Федеральным единичным расценкам. Затраты на их разработку определяют согласно сметным нормативам РФ – Федеральным единичным расценкам на строительные работы ФЕР 81-02-01-2001 [83] (сборник 1, Земляные работы, приложение (книга 1) по табл. (Приложение 1.3 и 1.4) и Примечания п. 2-5). Результат расчета заносится в таблицу для вывода на печать (см. Оператор №17).

Расчет удельных эксплуатационных затрат на разработку пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» и их перемещение на новое место произведен по Федеральным единичным расценкам.

Оператор №11

«Все значения H_H учтены?». Логический оператор, который позволяет в случае проведения оптимизации параметров исследуемой технологии произвести выбор (перебор) величины напора воды на насадке гидромонитора H_H . Для этого требуется вернуться к Оператору №4, выбрать новое из предусмотренных значений H_H , и произвести действия по Операторам № 5-10.

Оператор №12

«Все значения группы породы учтены?». Логический оператор, который позволяет сравнить параметры исследуемой технологии, в зависимости от группы (категории) разрабатываемой породы. Для этого требуется вернуться к Оператору №3, выбрать новую из предусмотренных значений группы (категорию) разрабатываемой породы и соответствующий ей удельный расход воды, и произвести действия по Операторам № 4-10.

Оператор №13

«Все типы земснарядов учтены?». Логический оператор, который позволяет сравнить параметры исследуемой технологии в зависимости от типа выбранного земснаряда. Для этого требуется вернуться к Оператору №2, выбрать новый из предусмотренных типов земснаряда и соответствующее значение величины его часовой производительности по гидросмеси $Q_{Г\Sigma}$ и произвести действия по Операторам № 3-10.

Оператор №14

«Построение графика зависимости удельных затрат». В соответствии с занесенными в таблицу параметрами исследуемого гидрокомплекса и расчетными значениями величины удельных эксплуатационных затрат на разработку пород и их транспортировку на новое место с применением гидромонитора и земснаряда производится построение графической зависимости изменения удельных затрат.

Оператор №15

«Определение минимума удельных эксплуатационных затрат».

Установленная графическая зависимость изменения удельных затрат позволяет установить их минимальное значение.

Оператор №16

«Определение параметров процессов». Параметры исследуемого гидрокомплекса, которые занесены в таблицу с расчетными значениями величины удельных эксплуатационных затрат и соответствуют их минимальным значениям, являются оптимальными параметрами гидрокомплекса в конкретных горно-технических условиях.

Оператор №17

«Вывод на печать основных параметров». Оператор технических действий завершает расчеты и позволяет сопоставить принятые условия, диапазон регулирования и провести анализ учета всех факторов и рекомендовать параметры гидрокомплекса к реализации, оговорив условия его эксплуатации.

4.2. Внедрение результатов исследований по применению гидрокомплекса для переукладки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец»

Во взаимодействии с ООО «Сибирский Институт Горного Дела» (СИГД), которому АО ХК «СДС-Уголь» поручило организовать работу ряда организаций и специалистов, в конце 2018 г. с участием автора диссертационной работы завершена разработка рекомендаций по обоснованию эффективной и безопасной технологии разработки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» по перемещению намытых там пород на новое место укладки [48, 50, 52, 54].

На первом этапе была выполнена оценка [69] возможности перемещения гидросмеси из гидроотвала №2 по трубопроводу в гидроотвал №1 (см. рисунок 4.2). Приемная способность гидроотвала №1 составляет $2 \div 3$ млн м³ (без наростки дамб обвалования), при этом имеется возможность разместить в нем весь объем переукладываемых пород.

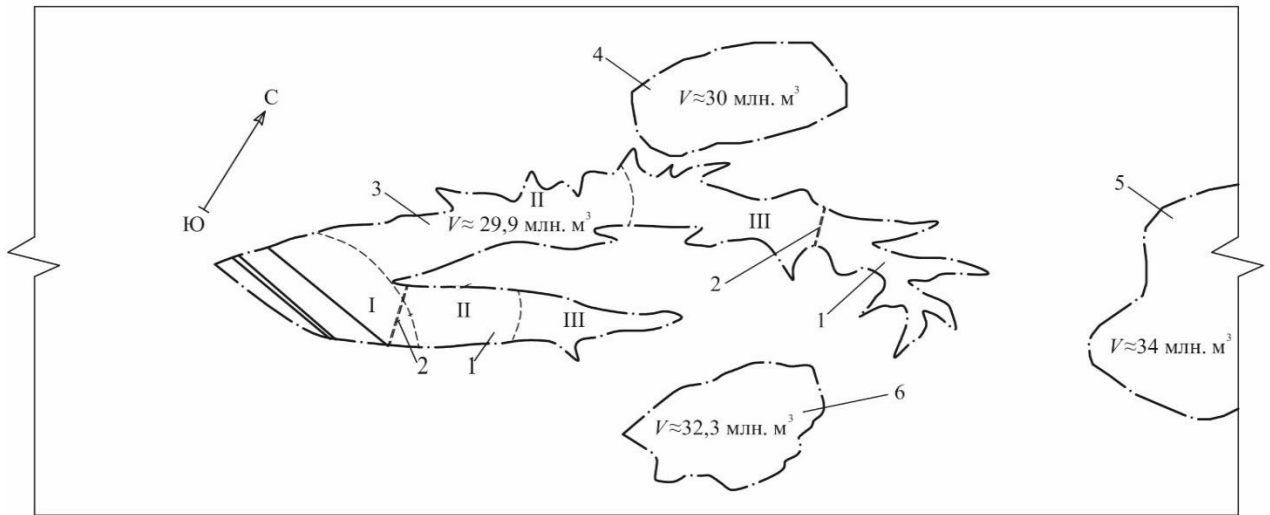


Рисунок 4.2 – Положение объектов горных работ разреза АО «Черниговец»: 1 – оставляемая часть гидроотвала №2; 2 – разделительная дамба (перемычка); 3 – переукладываемая часть гидроотвала №2; 4 – выработанное пространство участка ОГР шахты «Южная»; 5 – гидроотвал №1; 6 – остаточная карьерная выемка в районе склада ВМ; — · — — границы гидроотвалов и карьерных выработок

Негативным фактором, который объективно ограничивает целесообразность этого варианта размещения переукладываемых пород, является значительное расстояние транспортирования гидросмеси – от 8600 м в первоначальный период работы до 10800 м на завершающей стадии. При этом геодезическая высота подъема пульпы до выпуска гидросмеси на дамбе с отметкой 267,5 м первоначально будет 72 м и к завершающему этапу работ достигнет величины 97 м. В таких горнотехнических условиях безусловно потребуются введение перекачивающих землесосных станций, что приведет к значительному увеличению затрат на переукладку пород из гидроотвала №2.

При размещении пород в остаточной карьерной выемке участка открытых горных работ шахты «Южная» АО «Черниговец» (см. рисунок 4.2) следует отметить, что это место намыва гидросмеси расположено значительно ближе к гидроотвалу №2 (по сравнению с гидроотвалом №1). При перемещении гидросмеси по трубопроводу нет необходимости, как это было в предыдущем варианте, преодолевать высотные отметки более +240 м, что исключает необходимость применения перекачивающих землесосных станций. Однако емкость этой выработки (≈ 30 млн м^3) с учетом объема поровой и обо-

ротной воды позволяет уложить в ней не более 24 млн м³ переукладываемых пород из гидроотвала №2 (коэффициент заполнения $K_B = 0,8$).

Для реализации этого варианта, придерживаясь принципа сокращения расстояния перемещения гидросмеси переукладываемых пород из гидроотвала №2, обеспечивающего минимум издержек, в диссертации был предложен способ намыва части гидросмеси в гидроотвал «Восточный», который формируется на территории оставляемой части гидроотвала №2. В этом случае порядка 10 млн м³ породы в виде гидросмеси перемещаются по наиболее короткому пути. Для обеспечения большей устойчивости намываемого массива предложен специальный способ намыва гидросмеси, который обеспечивает удаление глинистых и илистых частиц с оборотной водой, а недостаточно осветленную технологическую воду вместе с мелкодисперсными частицами в объеме 2÷3 млн м³ надо перемещать в гидроотвал №1. То есть второй вариант является вполне рабочей схемой, но в ходе проектной проработки было решено учесть возможную перспективу использования площади гидроотвала «Восточный» на территории оставляемой части гидроотвала №2 для укладки полускальных вскрышных пород при автомобильной доставке вскрышных пород.

Третий вариант размещения пород из гидроотвала №2 в остаточной карьерной выработке 5 разреза АО «Черниговец» (рисунок 4.2) в районе склада взрывчатых материалов (гидроотвал «Внутренний №3») позволяет также средствами гидромеханизации осуществить рекультивацию окружающей территории, на которой расположены отвалы полускальных вскрышных пород путем нанесения на их поверхность потенциально плодородной гидросмеси [86–89].

При реализации третьего варианта с использованием гидроотвала «Внутренний №3» (рисунок 4.3) значительно снизится также нагрузка на дамбу, разделяющую извлекаемую и оставляемую части гидроотвала №2.

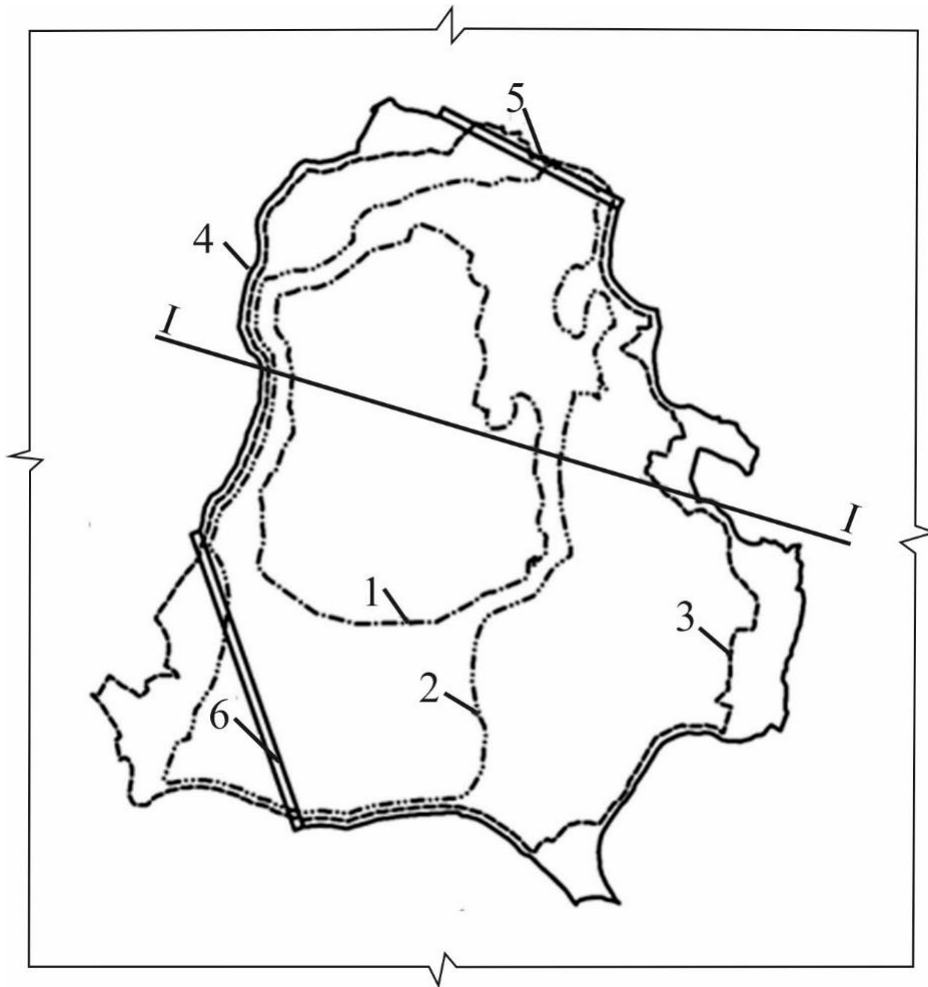


Рисунок 4.3 – Остаточная карьерная выработка в районе склада взрывчатых материалов: 1, 2, 3 и 4 – контуры гидроотвала «Внутренний №3» при намыве гидросмеси до отметки, соответственно, 215, 240, 250 и 260 м; 5 и 6 – дамбы обвалования

Это практически исключает возможность возникновения оползней или выпоров при ведении открытых горных работ по выемке вскрышных пород и добыче полезного ископаемого на площади, освобожденной от пород гидроотвала №2.

В результате расчета вместимости остаточной карьерной выработки в районе склада взрывчатых материалов установлены: ее геометрический объем; вместимость при $K_B = 0,8$; длина (Д) и ширина (Ш); площадь поверхности; протяженность (длина) дамб обвалования, необходимых для создания замкнутого контура. Результаты расчетов представлены в таблице 4.1. На рисунке 4.4 показано сечение при различных уровнях заполнения горной выработки.

Таблица 4.1 – Основные параметры остаточной карьерной выработке в районе склада взрывчатых материалов при ее использовании в качестве гидроотвала «Внутренний №3» для переукладки пород из гидроотвала №2

Горизонт, отметка, м	Геометрический объем V нарастающим итогом (при $K_B = 1,0$), тыс. м ³	Вместимость V_B нарастающим итогом (при $K_B = 0,8$), тыс. м ³	Длина и ширина, Д × Ш, м	Площадь, тыс. м ²	Длина дамб обвалования, м
160–215	7830,6	6264,5	770,0×470,0	302,0	425
215–240	21142,8	16914,2	1270,0×580,0	668,9	150
240–250	30919,6	24735,7	1360,0×820,0	1100,5	180
250–260	40361,0	32288,8	1390,0×890,0	1122,0	880

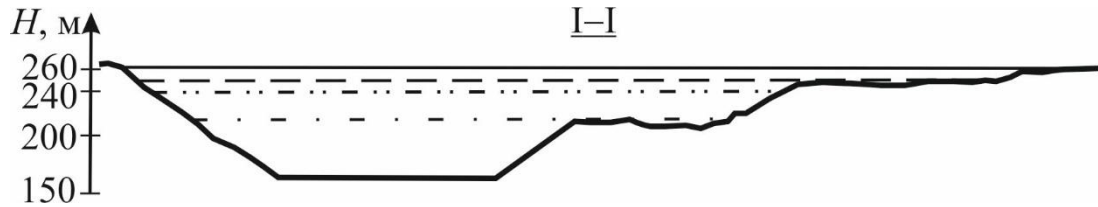


Рисунок 4.4 – Сечения по остаточной карьерной выработке для гидроотвала «Внутренний №3» с отметками

На основе полученных данных построена графическая характеристика гидроотвала «Внутренний №3» (рисунок 4.5), которая позволит определять отметку выпуска гидросмеси в различные периоды его эксплуатации.

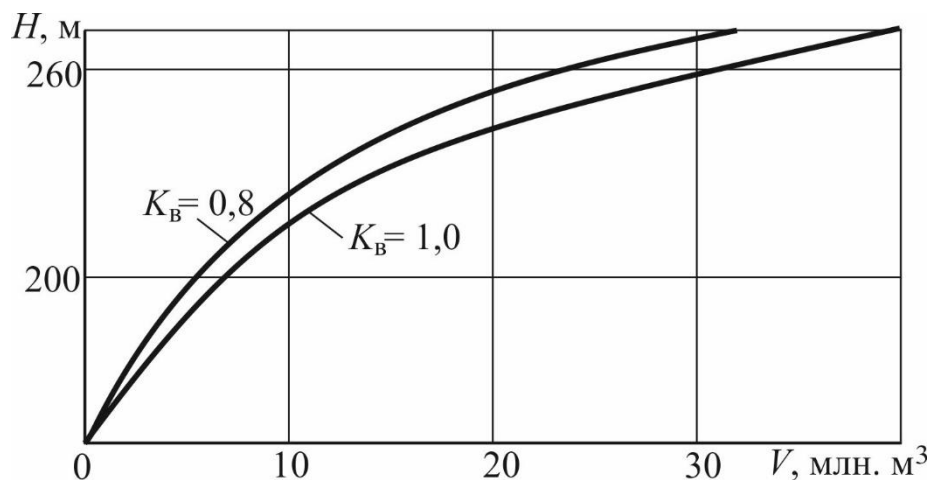


Рисунок 4.5 – Характеристика гидроотвала «Внутренний №3» в остаточной карьерной выработке в районе склада взрывчатых материалов

Параметры гидроотвала (длина и ширина) нового необходимы для проверки возможности осветления гидросмеси при ее намыве в гидроотвал. В ходе инженерных оценок произведен расчет этих параметров для условий разреза АО «Черниговец» [70, 74].

Протяженность пути осветления гидросмеси в остаточной горной выработке, куда намывается гидросмесь пород из гидроотвала №2, должна составлять не менее 700 м, при этом твердые частицы размером 0–0,005 мм полностью будут оседать на дно в потоке гидросмеси до места забора осветленной оборотной воды. Параметры гидроотвала «Внутренний №3» (см. таблицу 4.1) определяют необходимость специальной организации намыва гидросмеси на начальном этапе заполнения таким образом, чтобы место выпуска пульпы и место расположения насосной станции располагались на требуемом расстоянии – 700 м. На всех других этапах заполнения гидроотвала «Внутренний №3» проблем с осветлением воды не будет.

В процессе намыва пород в гидроотвал «Внутренний №3» следует учитывать возможность проведения рекультивации бульдозерного отвала коренных пород, расположенного вокруг гидроотвала «Внутренний №3», путем намыва на их поверхность гидросмеси потенциально плодородных четвертичных пород из гидроотвала №2.

Выполненные расчеты показали, что приемная способность гидроотвала «Внутренний №3» (см. таблицу 4.1) позволит полностью разместить весь объем пород, переукладываемых из гидроотвала №2, а его расположение дает основание принять этот вариант в качестве основного при технико-экономическом сопоставлении с предыдущими вариантами. В ходе выполнения этой работы на основании анализа опыта применения различных технологических схем гидромеханизации [71, 72, 91] был обоснован новый способ ведения гидромеханизированных горных работ и состав комплекса оборудования [70].

Этот вариант размещения пород из гидроотвала №2 в остаточной карьерной выработке 5 разреза АО «Черниговец» в районе склада взрывчатых материалов (гидроотвал «Внутренний №3») и был принят в качестве основного

по результатам технико-экономического сопоставления с предыдущими вариантами, тем более, он одновременно позволяет средствами гидромеханизации осуществить рекультивацию окружающей территории, на которой расположены отвалы полускальных вскрышных пород путем нанесения на их поверхность потенциально плодородной гидросмеси [43, 45, 46, 55, 97]. При реализации этого варианта значительно снизится также нагрузка на дамбу, разделяющую извлекаемую и оставляемую части гидроотвала №2, что практически исключает возможность возникновения оползней или выпоров при ведении открытых горных работ по выемке вскрышных пород и добыче полезного ископаемого на площади, освобожденной от пород гидроотвала №3.

В ходе выполнения этой работы на основании анализа опыта применения различных технологических схем гидромеханизации [17, 18, 75, 76, 80, 82, 92, 94] были обоснованы параметры гидрокомплексов, один из которых включал новый способ совместной разработки пород на границе 2 и 3 зон гидроотвала гидромониторным размывом и земснарядом. [53, 67, 68, 69, 73].

Перечень основного оборудования гидромеханизации для переукладки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» представлен в таблице 4.2.

Приведенный в таблице 4.2 состав оборудования гидрокомплекса позволяет обеспечить переукладку пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» в новый гидроотвал №3 «Внутренний» менее чем за 8 лет (7 календарных лет и три квартала 8-го года). Календарный график работ представлен в таблице 4.3.

Эффективность и безопасность технологии разработки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» по перемещению намытых там пород на новое место укладки обеспечивается за счет четкого определения по месту и времени различных технических средств ведения горных работ. На первом этапе горных работ (1–2 годы) вводится в эксплуатацию землесосный снаряд (з/с) 400-70.

Главная его задача – удаление неконсолидированных глинистых пород и излишков воды (осуществляет снижение уровня воды) в гидроотвале №2.

Таблица 4.2 – Перечень основного оборудования гидромеханизации
для переукладки пород гидроотвала №2

№ п/п	Наименование Оборудования	Количество			Примечание
		в работе	резерв	всего	
1	Землесосный снаряд 400-70	1	–	–	
2	Перекачивающая землесосная станция Гр4000-71	1	1	2	агрегат (с эл.дв.)
3	Забойная землесосная установка Гр4000-71	1	1	2	агрегат (с эл.дв.)
4	Перекачивающая землесосная станция №1 Гр4000-71	1	1	2	агрегат (с эл.дв.)
5	Насос на гидроотвале Д4000-95	1	1	2	агрегат (с эл.дв.)
6	Насос землесосной установки ЦН3000-197	1	1	2	агрегат (с эл.дв.)
7	Насос подпитки Д4000-95	1	–	1	агрегат (с эл.дв.)
8	Пульповод земснаряда трубы Ду700	3100×1,1=3410 м	–	3410 м	стальные электросварные
9	Пульповод землесосной установки трубы Ду700	3100×1,1=3410 м	–	3410 м	стальные электросварные
10	Водовод земснаряда трубы Ду700	3950×1,1=5345 м	–	5345 м	стальные электросварные
11	Водовод гидромониторно-землесосной установки трубы Ду700	3600×1,1=3960 м		3960 м	стальные электросварные
12	Водовод подпитки трубы Ду700	*)			стальные электросварные
13	Плавающий пульповод Ду700	300 м		300 м	стальные электросварные

*) – формируется из труб Ду700 водовода земснаряда

На втором этапе (3–5 годы) разработка пород гидроотвала №2 осуществляется по инновационной технологии (совместной разработки пород гидромонитором и земснарядом) и гидромониторно-землесосной установкой (4000-71).

За три года суммарный объем разрабатываемых пород на втором этапе составит 9969 тыс. м³, в т.ч. по инновационной технологии – 4581 и 5388 тыс. м³ гидромониторно-землесосной установкой [33, 49, 51].

Таблица 4.3 – Календарный график горных работ по переукладке пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец»

Наименование работы	1-й этап		2-й этап			3-й этап		
	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год	6-й год	7-й год	8-й год
Разработка пород земснарядом 400-70, тыс. м ³	746 2-я гр. пород; 3,5 мес.	1400 2-я гр. пород; 6,0 мес.				972 3-я гр. пород; 6,0 мес.	790 4-я гр. пород; 6,0 мес.	741 4-я гр. по- род; 5,6 мес.
Разработка пород гидромонитором и земснарядом 400-70, тыс. м ³			1644 1-я гр. пород; 6,0 мес.	1644 1-я гр. пород; 6,0 мес.	1293, в т. ч. 1-я гр. пор. 843 (3,0 мес.); 3-я гр. пор. 375; 4-я гр. пор. 75. 6,0 мес.			
Разработка пород гидромониторно-землесосной установкой (4000-71), тыс. м ³			1348 2-я гр. пород; 4,0 мес.	2020 2-я гр. пород; 6,0 мес.	2020 2-я гр. пород; 6,0 мес.	1898, в т. ч. 2-я гр. пород 1138 (3,4 мес.); 3-я гр. пор. 760 (2,6 мес.); 6,0 мес.	1752 3-я гр. пород; 6,0 мес.	1049 3-я гр. по- род; 3,6 мес.
Разработка пород, тыс. м ³	746	1400	2992	3664	3313	2870	2542	1790
Итого с нарастающим объемом, тыс. м ³	746	2146	5138	8802	12115	14985	17527	19317

На заключительном третьем этапе (6-8 годы) разработка пород осуществляется гидромониторно-землесосной установкой (4000-71) и земснарядом. Суммарный объем разрабатываемых на этом этапе пород гидроотвала №2 составляет 7202 тыс. м³, в т. ч. 2503 тыс. м³ земснарядом и 4699 тыс. м³ – гидромониторно-землесосной установкой.

В таблице 4.4 представлен объем пород и группы грунта, которые разрабатываются различными гидрокомплексами при разработке и переукладке пород гидроотвала №2.

Таблица 4.4 – Объем пород и группы грунта, разрабатываемые гидрокомплексом при переукладке пород гидроотвала №2

№ п/п	Комплекс	Группа грунта	Объем разрабатываемых пород, тыс. м ³			
			1-й этап	2-й этап	3-й этап	всего
1.	Разработка пород земснарядом 400-70	2	2146			2146
		3			972	972
		4			1531	1531
						Σ 4649
2.	Разработка пород гидромонитором и земснарядом 400-70	1, 2		4131		4131
		3		375		375
		4		75		75
						Σ4581
3.	Разработка пород гидромониторно-землесосной установкой(4000-71)	2		5388	1138	6526
		3			3561	3561
						Σ10087
4.	Итого:					Σ19317

По инновационной технологии разработка пород гидромонитором и земснарядом 400–70 составляет 4581 тыс. м³.

План горных работ на период ввода в эксплуатацию гидрокомплекса при переукладке пород гидроотвала №2 разреза «Черниговец» и перемещению намытых там пород на новое место укладки приведен на рисунке 4.6.

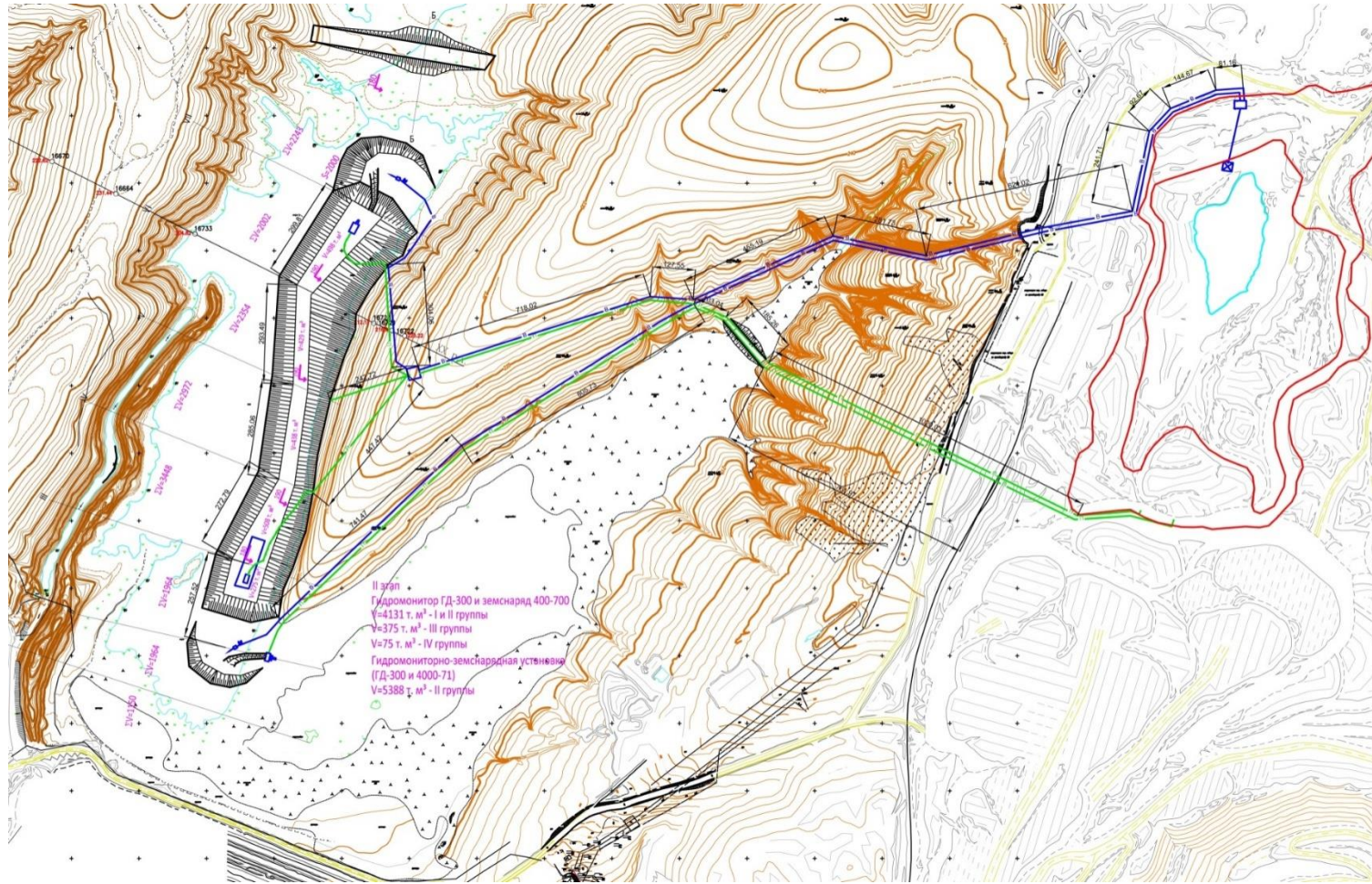


Рисунок 4.6 – План горных работ на период ввода в эксплуатацию гидромониторно-земснарядного и гидромониторно-землесосного комплексов для разработки пород, намывных ранее в гидроотвал №2 разреза «Черниговец», и перемещения их на новое место укладки

4.3. Технико-экономические показатели внедрения результатов исследований на разрезе АО «Черниговец»

В работе произведен расчет требуемого объема инвестиций и эксплуатационных затрат при реализации разработанных в диссертации рекомендаций, результаты которого представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Объем инвестиций и удельных эксплуатационных затрат

№ п/п	Наименование затрат	Объем работ, тыс. м ³	Стоимость единицы (цены 2001г.), руб./м ³	Стоимость единицы (цены 2017 г.), руб./м ³	Величина затрат (цены 2018 г.) К _п = 1,04, тыс. руб.
1.	Инвестиции:				
1.1	Приобретение оборудования		–	208767,87	217118,58
1.2	Горностроительные работы, тыс. м ³	19317	–	924,50	961,48
	Итого:			209692,37	218080,06
2.	Эксплуатационные затраты:				
2.1	Разработка пород земснарядом, тыс. м ³	4649	19,29	166,86	174,19
2.2	Разработка пород земснарядом с гидромониторным размывом, тыс. м ³	4581	15,77	136,38	142,40
2.3	Разработка пород гидромониторно-землесосной установкой, тыс. м ³	10087	11,11	96,07	100,29
2.4	Укладка трубопроводов, п. м.	16125	1,41	6,87	7,14

Расчет удельных эксплуатационных затрат на разработку пород гидротвала №2 разреза АО «Черниговец» и их перемещение на новое место производится путем формирования локальных смет по Федеральным единичным расценкам [83] для трех принятых гидромеханизированных комплексов:

- разработка и транспортировка пород с применением земснаряда 400–70;
- разработка и транспортировка пород с применением гидромонитора и земснаряда 400-70;

– разработка и транспортировка пород с применением гидромониторно-землесосной установки (4000-71).

Для обеспечения возможности сравнения полученных результатов экономического расчета с предыдущими вариантами размещения пород из гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» принята величина коэффициента дефляции $K = 8,65$ (на 2017 г.).

Вариант разработки и перемещения пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» средствами гидромеханизации при намыве гидросмеси в новый гидроотвал «Внутренний №3» обеспечивает следующие технико-экономические показатели:

1. Общий объем переукладываемых пород – **19317** тыс. м³
2. Объем инвестиций:
 - **209692,37** тыс. руб. в ценах 2017 г.;
 - **218080,06** тыс. руб. в ценах 2018 г.
3. Удельный объем инвестиций:
 - **10,86** руб./м³ в ценах 2017 г.;
 - **11,29** руб./м³ в ценах 2018 г.
4. Удельные эксплуатационные затраты на разработку пород:
 - *земснарядом 400-70* – **166,86** и **174,19** руб./м³ соответственно в ценах 2017 г. и в ценах 2018 г.;
 - *гидромонитором и земснарядом 400-70* – **136,38** и **142,40** руб./м³ соответственно в ценах 2017 г. и в ценах 2018 г.;
 - *гидромониторно-землесосной установкой (4000-71)* – **96,07** и **100,29** руб./м³ соответственно в ценах 2017 г. и в ценах 2018 г.
5. Усредненные удельные эксплуатационные затраты на разработку 1 м³ пород – **14,18** руб./м³ в ценах 2001 г.; **122,69** руб./м³ в ценах 2017 г.; **127,60** руб./м³ в ценах 2018 г.

Таким образом, предложенные в предыдущих разделах работы последовательность и сочетание гидромеханизированных технологий исключают возможность возникновения аварии и выхода из строя гидротранспортного

оборудования при оползнях или выпорах, которые образуются при применении гидромониторно-землесосных комплексов для разработки неконсолидированной части пород гидроотвала. При этом с целью обеспечения безопасной разработки обводненных глинистых пород вместо обычно применяемых землесосных снарядов предложено использовать инновационную комплексную гидромеханизированную технологию разработки пород, ранее уложенных в гидроотвал, при совместном применении гидромониторов и земснарядов.

Как показали проведенные расчеты технико-экономических показателей (см. таблицу 4.6) [33], удельные эксплуатационные затраты на разработку пород при совместном применении гидромониторов и земснарядов на 31,79 руб. меньше, чем при их разработке одним земснарядом. Учитывая, что по предлагаемой технологии отрабатывается 4581 тыс. м³ горных пород, экономическая эффективность составит 145,63 млн руб. (в ценах 2018 г.).

Выводы

1. Разработан алгоритм расчета и выбора параметров комбинированной гидромеханизированной технологии разработки пород в разных зонах гидроотвала и перемещения их на новое место, обеспечивающих ее технико-экономическую эффективность.

Он учитывает физико-механические свойства намывных пород, горно-технические условия эксплуатации горнотранспортного оборудования, номенклатуру и количество применяемого оборудования и позволяет выбрать наиболее рациональный вариант, параметры технологии и минимизировать издержки. Последовательно формируются варианты расчета, обеспечивается баланс параметров применяемого оборудования, устойчивый режим его эксплуатации и технико-экономическое сравнение.

2. С целью реализации инновационной комбинированной технологии разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом подготовлены и переданы проектной организации ООО «СИГД» рекоменда-

ции по обоснованию параметров этой гидромеханизированной технологии для переукладки пород гидроотвала № 2 разреза АО «Черниговец». Рекомендации включают: перечень основного оборудования гидромеханизации; объем пород и группы грунта, разрабатываемые гидрокомплексом; календарный график горных работ; планы горных работ с расстановкой оборудования на периоды ввода карьера в эксплуатацию, полное развитие горных работ.

3. Предлагаемый вариант комбинированной гидромеханизированной разработки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» и перемещения их в новый гидроотвал №3 «Внутренний» с применением гидромониторов и земснарядов обеспечивает следующие технико-экономические показатели (в ценах

2018 г.): общий объем пород, переукладываемых из гидроотвала – 19317 тыс. м³; объем пород, переукладываемых из гидроотвала при совместном применении гидромонитора и земснаряда – 4581 тыс. м³; объем инвестиций – 218080,06 тыс. руб.; удельный объем инвестиций – 11,29 руб./м³; удельные эксплуатационные затраты на разработку пород земснарядом 400-70 – 174,19 руб./м³; гидромонитором и земснарядом 400-70 – 142,40 руб./м³; гидромониторно-землесосной установкой (4000-71) – 100,29 руб./м³.

Усредненные удельные эксплуатационные затраты на разработку 1 м³ пород составили 127,60 руб./м³, что на 31,79 руб./м³ меньше, чем при их разработке земснарядом. Учитывая, что по предлагаемой технологии отрабатывается 4581 тыс. м³ горных пород, экономический эффект составит 145,63 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по разработке и обоснованию параметров комбинированной гидро-механизированной технологии разработки переукладки пород гидроотвалов, включающие обоснование технологической последовательности применения земснарядной разработки и гидромониторного размыва пород в зонах гидроотвала с различными физико-механическими свойствами, установление рациональных параметров единой технологической цепи для разработки и переукладки пород в новый гидроотвал, обеспечивающие безопасность и эффективность горных работ, что имеет существенное значение для развития угледобычи в Кузбассе.

Основные результаты, выводы и рекомендации, полученные при выполнении исследований, заключаются в следующем.

1. Сформирован методический подход к выбору вариантов технических решений по гидромеханизированной разработке пород, уложенных ранее в гидроотвал, и перемещению их в новую емкость, в соответствии с которым безопасность и эффективность ведения горных работ обеспечиваются не только за счет использования комплекса гидромеханизированных технологий, каждая из которых применяет технические средства, которые наиболее соответствуют физико-механическим свойствам пород разрабатываемых зон гидроотвала, но и за счет последовательности их применения и сочетания.

При этом в первую очередь разрабатывают породы III зоны землесосным снарядом, II зоны – гидромониторно-землесосным комплексом, а породы I зоны – гидромониторно-землесосным комплексом после рыхления экскаватором.

2. Установлены зависимости изменения величины несущей способности основания трех основных зон гидроотвала по показателю консистенции и величине угла внутреннего трения, удельного расхода воды на разработку

пород, которые позволяют выявить еще один характерный участок гидроотвала на стыке III и II зон гидроотвала, на котором несущая способность поверхности гидроотвала не позволяет эффективно применить гидромониторно-землесосный комплекс, при этом прочностные свойства пород потребуют значительного увеличения удельного расхода воды при их разработке землесосными снарядами (вместо 6,5 не менее $11 \text{ м}^3/\text{м}^3$), что резко снижает эффективность их переукладки.

3. Для отработки пород на стыке II и III зон гидроотвала следует применять новый способ разработки пород гидроотвала, основанный на одновременном гидромониторном размыве пород и их разработке землесосным снарядом. При этом формирование гидросмеси, транспортируемой по пульповоду в гидроотвал, осуществляется последовательно в две стадии: на первой – гидромонитором, работающим на технически чистой воде, гидросмесь от которого самотеком направляют в забой земснаряда, который также разрабатывает породу и тем самым дополнительно увеличивает концентрацию пульпы (вторая стадия).

4. Условие реализации нового способа совместной разработки пород гидроотвала гидромониторным размывом и земснарядом математически сформулировано в виде системы уравнений, включающих взаимозависимые параметры, которые характеризуют физико-механические свойства разрабатываемых пород (группу пород), нормативные удельные расходы воды при работе земснаряда и гидромонитора, а также их техническую производительность.

5. Исследование влияния горнотехнических условий, а также анализ основных факторов и параметров, влияющих на результаты работы комплекса при совместной разработке пород гидромониторным размывом и земснарядом, показал, что главным фактором повышения эффективности является увеличение плотности гидросмеси, транспортируемой по пульповоду. При реализации рекомендуемой технологии достигается снижение удельного расхода воды с 12 до $7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$, которое повышает плотность гидросмеси с 1073

до 1117 кг/м^3 , т.е. на 42 кг/м^3 . Это в свою очередь увеличивает производительность комплекса по породе в 1,2-1,8 раза, сокращая энергозатраты на гидротранспортирование до 48 %.

6. Взаимодействие гидромониторного размыва пород при применении землесосных снарядов для переукладки пород гидроотвалов на новое место обеспечивает безопасность горных работ, водосбережение и энергосбережение, значительно сокращает протяженность трубопроводов, т.к. для функционирования гидромониторно-земснарядного комплекса требуется только два трубопровода (водовод и пульповод), а при традиционных способах разработки – четыре. Проведенные расчеты показали, что производительность по породе для условий гидроотвала № 2 разреза АО «Черниговец» увеличивается в 1,2-1,8 раза.

7. Установленные зависимости изменения производительности гидрокомплекса при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом от группы (категории) разрабатываемой породы, напора на насадке гидромонитора и удельного расхода воды показывают, что при увеличении напора на насадке гидромонитора с 1,2 до 2,0 МПа она увеличивается на $70\text{-}84 \text{ м}^3/\text{ч}$, причем интенсивность повышения с ростом давления снижается, так же, как и при повышении категории (группы) пород, которые разрабатываются гидромонитором.

8. На основании установленных зависимостей изменения производительности исследуемого гидрокомплекса при совместной разработке и переукладке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом разработан алгоритм определения параметров исследуемой комбинированной гидромеханизированной технологии.

9. С целью реализации инновационной комплексной гидромеханизированной разработки пород гидроотвалов гидромониторным размывом и землесосным снарядом в диссертационной работе разработаны и переданы в проектный институт ООО «Сибирский институт горного дела» рекомендации по обоснованию параметров этой технологии при переукладке пород гидро-

отвала №2 разреза АО «Черниговец». Определены основные технико-экономические показатели и экономический эффект предлагаемой технологии, который в ценах 2018 г. составляет 145,63 млн. руб.

10. Разработанная в диссертации комплексная гидромеханизированная технология разработки разнотипных пород гидроотвалов землесосными снарядами и гидромониторно-землесосным размывом пород может также найти применение при разработке коренных четвертичных пород на обводненных месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонов, Е. А. Технология и механизация гидромеханизированных работ: Справочное пособие. – Москва : Центр, 1999.
2. Бессонов, Е. А. Энциклопедия гидромеханизированных работ. – Москва : Изд-во «1989.ру», 2005.
3. Буткевич, Г. Р. Проблемы разработки обводненных песчано-гравийных месторождений / Г. Р. Буткевич, В. В. Одабаи-Фард // Горная промышленность. – 2012. – №4. – С. 112-114.
4. Венцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Наука, 1973. – 366 с.
5. Гальперин, А. М. Гидромеханизированные природоохранные технологии / А. М. Гальперин, Ю. Н. Дьячков. – Москва: Недра, 1993.
6. Гальперин, А.М. Мониторинг и освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, В. С. Круподеров, О. Д. Семенов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ, 2011. – № 2. – С. 7–18.
7. Гальперин, А.М. Инженерно-геологическое и геотехническое обеспечение возведения, консервации и рекультивации гидроотвалов и хвостохранилищ (анализ 30-летнего опыта) / А. М. Гальперин, В. С. Зайцев, Ю. В. Кириченко // Геоэкология. – 2000. – №4.
8. Гальперин, А. М. Методы определения параметров отвалов и технологии отвалообразования на склонах / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, Г. М. Еремин. – Москва : Горная книга, 2012. – 104 с.
9. Гальперин, А. М. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, Ю. В. Кириченко, А. В. Киянец, А. В. Крючков, В. С. Круподеров, В. В. Мосейкин, В.П . Жариков, В. В. Семенов, Х. Клапперих, Н. Тамашкович, Х. Чешлок. – Москва : Горная книга, 2012. – 336 с.
10. Геологический словарь. – Т.1,2. – Москва : Недра, 1973.
11. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – Москва : Высшая школа, 1977. – 479 с.
12. Горная энциклопедия. – Т. 15. – Москва : Советская энциклопедия, 1991.
13. Гузеев, А. А. Разработка обводненных месторождений с применением одноковшовый техники / А. А. Гузеев, В. Е. Кисляков // Маркшейдерия и недропользование. – 2012. – №3. – С. 33–34.
14. Демченко, А. В. К вопросу обустройства отвалов вскрышных пород при добыче угля в Кузбассе / А. В. Демченко, И. В. Деревяшкин // Маркшейдерия и недропользование. – 2016. – № 6(86). – С. 41–46.
15. Демченко, А.В. Формировании дренажных элементов гидроотвалов разрезов Кузбасса для повышения их вместимости и устойчивости / Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук, – Москва : МГГУ, 2003.

16. Деревяшкин, И. В. Гидромеханизация открытых горных работ. Гидромониторно-землесосные комплексы : учебное пособие / И. В. Деревяшкин, Е. А. Кононенко, А. В. Демченко. – Москва : ИНФРА, 2016. – 149 с.
17. Деревяшкин, И. В. Состояние и перспективы гидромеханизации открытых горных работ / И. В. Деревяшкин, В. В. Чаплыгин, О. Н. Исаев // Маркшейдерия и недропользование. – Москва, 2016. – № 3(83). – С. 6–10.
18. Деревяшкин, И. В. Земснаряды на карьерах, их возможности и перспективы / И. В. Деревяшкин, В. В. Чаплыгин, О. Н. Исаев // Маркшейдерия и недропользование. – Москва, 2016. – №4 (84). – С. 39–43.
19. Дьяков, В. И. Типовые расчеты по электрооборудованию: Практич. пособие – 7-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа. 1991. – 160 с.
20. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (утверждены приказом Ростехнадзора от 08.12.2020 № 505, зарегистрирован в Минюсте России 21.12.2020 №61651).
21. Ермолов, В. А. Геолого-экологическое обеспечение освоения техногенных массивов / В. А. Ермолов, Е. П. Щербакова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ. – 2003. – №10. – С. 5–7.
22. Ермошкин, В. В. Опыт и проблемы гидроотвалообразования на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. Гидромеханизация. – Москва : МГГУ, 2006. – С. 281–286.
23. Заключение экспертизы промышленной безопасности №18-2004 в части анализа риска горных производств и объектов по оценке состояния намывного массива и ограждающих сооружений на площади бывшего гидроотвала №3 филиала «Кедровский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» по результатам натурных наблюдений (рег. № 39-ЗС-13072-2004) / Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР». – Кемерово, 2004. – 57 с.
24. Иванов, А. А. Теория ошибок и способ наименьших квадратов / А. А. Иванов. – Петроград: Науч. кн-во, 1921. – 56 с.
25. Инструкция по проектированию гидроотвалов из глинистых грунтов и прогнозирование их устойчивости (ВСН 291-72 / ММСС СССР). – Москва : ЦБНТИ, 1977. – 77 с.
26. Кириченко, Ю.В. Инженерно-геологическое обеспечение экологической безопасности формирования техногенных массивов : автореф. дис... докт. техн. наук. – Москва : МГГУ, 2001.
27. Клейменов, Р. Г. Контроль состояния и свойств техногенных массивов гидроотвалов на угольных разрезах Кузбасса / Р. Г. Клейменов, В. В. Ермошкин, С. М. Простов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Москва : МГГУ, 2009. – № 10. – С. 157–160.

28. Кононенко, Е. А. Гидромеханизация в Кузбассе / Е. А. Кононенко, А. А. Романов // Горный журнал. – Москва, 2006. – № 11.
29. Кононенко, Е. А. Научное обоснование гидровскрышных технологий, комплексно обеспечивающих формирование и сбережение ресурсов : автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Москва : МГГУ, 1999.
30. Кононенко, Е. А. Опыт применения и перспективы гидромеханизации на карьерах // Горный журнал. – 1977. – № 3. – С. 7.
31. Кононенко, Е. А. Возможности и перспективы гидромеханизации на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004.
32. Кононенко, Е. А. Основные направления организационно-технического совершенствования гидромеханизации угольных разрезов Кузбасса / Е. А. Кононенко, А. А. Романов, Т. О. Гогова // Уголь. – 2010. – № 1. – С. 2024.
33. Корчагина, Т. В. Технология разработки пород, намывных ранее в гидроотвал №2 разреза АО «Черниговец», гидромонитором и землесосным снарядом / Т. В. Корчагина, С. И. Протасов, И. А. Мироненко, А. В. Дониц // Вестник / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2019. – № 3. – С. 82-93.
34. Кузнецова, И. В. Изучение физико-механических свойств намывных горных пород в основании отвальных насыпей при развитии оползневых деформаций подпошвенного типа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ. – 2011. – №5. – С. 58–62.
35. Кузнецова, И. В. Исследование инженерно-геологических условий частичной ликвидации гидроотвалов при открытой разработке угля в Кузбассе /Дисс. ... канд. техн. наук. – С.-Петербург: С-ПГГУ, 2011.
36. Кутепов, Ю. И. Инженерно-геологические условия устойчивости техногенных пород (на примере гидроотвалов Кузбасса): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Ленинград, 1981.
37. Кутепов, Ю. И. Научно-методические основы инженерно-геологического обеспечения отвалообразования при разработке угольных месторождений : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Москва : МГГУ, 1999.
38. Кутепов, Ю. И. Геомеханическое и экологическое обоснование рекультивационных работ на гидроотвалах / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова, В. П. Жариков // Мат. Международного симпозиума «Геотехнология нетрадиционные способы освоения месторождений полезных ископаемых». Москва, 17-19ноября 2003г. – Москва : РУДН, 2003. – С. 213–216.
39. Кутепов, Ю. И. Изучение инженерно-геологических условий гидроотвалов Кузбасса на различных этапах существования / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова, А. Х. Саркисян // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ. – 2004. - №5. – С. 145-149.
40. Кутепов, Ю. И. Инженерно-геологическое и экологическое обоснование рекультивации гидроотвалов Кузбасса / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова, В. П. Жариков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ, 2011. – № 2. – С. 34–42.

41. Кутепов, Ю. И. Способ переформирования гидроотвала // Ю. И. Кутепов, Я. Г. Семикобыла, Н. А. Кутепова, Е. В. Костин, А.с. 1465573 А1 Е21С41/02, опубл. 15.03.89, БИ №10.
42. Кутепова, Н. А. Инженерно-геологические условия формирования свойств техногенных отложений углеобогачительных фабрик : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Ленинград : ЛГИ, 1987. – 20 с.
43. Лудзиш, В. С. Укладка наносов и коренных вскрышных пород в отвал / В. С. Лудзиш, Ю. В. Лесин, С. А. Прокопенко // Безопасность труда в промышленности. – Москва, 1986. – № 9. – С. 38–39.
44. Мазмишвили, А.И. Способ Наименьших квадратов. – Москва : Недра, 1968. – 440 с.
45. Медяник, М. В. Инженерно-геологическое обоснование консервации и рекультивации гидроотвалов : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Москва, 2003.
46. Мельник, В. В. Прогрессивные технологические решения по комплексному освоению ресурсного потенциала угольных месторождений [Текст]: монография / В. В. Мельник, В. Н. Павлыш, С. С. Гребенкин, Т. В. Корчагина и др.; под общ. ред. В. В. Мельника, В. Н. Павлыша. – Донецк : «ВИК», 2015. – 340 с.
47. Методические указания по определению параметров гидроотвалов угольных разрезов. – Ленинград : ВНИМИ, 1975. – 100 с.
48. Мироненко, И. А. Обоснование места складирования пород при их переукладке из гидроотвала №2 разреза «Черниговец» / И. А. Мироненко, А. В. Донич // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2018. Материалы XVII Междунар. научно-практ. конф., 22–23 ноября 2018 г. Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2018. – С. 113.1–113.9.
49. Мироненко, А. Т. Применение землесосных снарядов для рекультивации гидроотвалов вскрышных пород // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово: ННЦ ГП (ИГД им. А. А. Скочинского), ИУУ СО РАН, КузГТУ, ЗАО КВК «Экспо-Сибирь» (30.08–02.09.05). – 2005. – С. 86–91.
50. Мироненко, И. А. К вопросу перемещения четвертичных вскрышных пород, уложенных в гидроотвалы Кузбасса (доклад) VIII Междунар. научно-практ. конф. «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» 4–5 апреля 2019: сб. докладов. – Екатеринбург: УГГУ, 2019. – С. 152–158.
51. Мироненко, И. А. Принципы выбора вариантов технических решений для разработки и перемещения пород гидроотвала на новое место / И. А. Мироненко, С. И. Протасов // Вестник / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2019. – № 1. – С. 59–65.
52. Мироненко, И. А. Проблемы переукладки гидроотвалов четвертичных вскрышных пород / И. А. Мироненко, С. И. Протасов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. Сб.

- докладов VII Междунар. научно-практ. конфер. – Екатеринбург, 2018. – С. 22–25.
53. Мироненко, И. А. Технология разработки и перемещения четвертичных пород, уложенных ранее в гидроотвал, расположенный над запасами угля // Сборник материалов XI Всерос. научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 16–19 апр. 2019 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2019. – С. 10606.1-10606.5.
 54. Мироненко, И. А. Технология разработки пород, намывных ранее в гидроотвал, с применением гидромониторного размыва и землесосных снарядов / И. А. Мироненко, С. И. Протасов // Техника и технология горного дела : научно-практ. журнал / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2019. – № 1. – С. 24–34.
 55. Михальченко, В. В. Экологически чистые технологии – будущее открытой угледобычи в Кузбассе / В. В. Михальченко, С. А. Прокопенко // Уголь. – Москва, 1992. – №1 (790). – С. 11–14.
 56. Мосейкин, В. В. Геолого-экологическая оценка намывных техногенных массивов хранилищ горнопромышленных отходов : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Москва : МГГУ, 2000.
 57. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов. – Ленинград : Стройиздат, 1986.
 58. Нормы технологического проектирования угольных разрезов. Раздел «Гидромеханизация вскрышных работ на разрезах». – Новосибирск : Сибгипрошахт, 1983.
 59. Нурок, Г.А. Гидротранспорт горных пород / Г. А. Нурок, Ю. В. Бруякин, В. В. Ляшевич. – Москва, 1974. – 168 с.
 60. Нурок, Г. А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. – Москва : Недра, 1979. – 549 с.
 61. Нурок, Г. А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. – Москва : Недра, 1985.
 62. Нурок, Г. А. Гидромеханизация на угольных карьерах / Г. А. Нурок, В. В. Ляшевич, Е. А. Кононенко // Москва : ЦНИЭИУголь. Экспресс-информ. Серия «Добыча угля открытым способом», 1978. – 40 с.
 63. Нурок, Г. А. Гидроотвалы на карьерах / Г. А. Нурок, А. Г. Лутовинов, А. Д. Шерстюков. – Москва : Недра, 1977.
 64. О производстве инженерно-геологических изысканий по дамбе гидроотвала №2 Черниговского угольного разреза комбината «Кузбассразрезуголь» : Отчет «Сибгипрошахт», Кемерово, 1971.
 65. Павленко Г. В., Шелоганов В. И., Кононенко Е. А., Шелепов В. В., Камышниченко А. Ю. // А.с.1742479 МПК E21C41/00, 45/00. Способ гидромониторно-землесосной разработки / опубл.23.06.92, бюл. №23.
 66. Патент РФ на изобретение №2078172. Способ намыва грунтового сооружения / В. К. Егоров, В. Л. Каменецкий, З. Н. Овчар, С. В. Овчарук, В. В. Пятлин. – E02B7/06. – Опубл. 27.04.1997.

67. Патент РФ на изобретение №2661950. Способ переукладки гидроотвала / В. С. Федотенко, С. И. Протасов, И. А. Мироненко, А. Е. Кононенко. – МПК⁶ E21C 41/26. – 2017111157; Заявлено 03.04.17; Оpubл. 23.07.18; БИ № 21. – 2 с.
68. Патент РФ на изобретение №2681772. Способ гидромеханизированной переукладки пород / В. С. Федотенко, С. И. Протасов, И. А. Мироненко, А. Е. Кононенко. – МПК⁶ E21C 41/26. – 2018118218; Заявлено 17.05.18; Оpubл. 12.03.19; БИ № 8. – 2 с.
69. Патент РФ на изобретение № 2691252. Способ переукладки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом / В. С. Федотенко, С. И. Протасов, И. А. Мироненко, А. Е. Кононенко. – МПК⁶ E21C 41/26. – 2018135003; Заявлено 03.10.18; Оpubл. 11.06.19; БИ № 17. – 2 с.
70. Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов. ПБ 03-438-02 / Госгортехнадзор России: НТЦ «Промышленная безопасность». Серия 03. Выпуск 14, 2002. – 128 с.
71. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом» (утверждены приказом Ростехнадзора от 10.11.2020 №436, зарегистрированы в Минюсте России 21.12.2020 №61624).
72. Протасов, С. И. Гидрокомплексы угольных разрезов Кузбасса / С. И. Протасов, Д. А. Поклонов // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – №1(63). – С. 19–21.
73. Протасов, С. И. Исследование влияния горнотехнических условий на производительность гидрокомплекса для совместной разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом / С. И. Протасов, И. А. Мироненко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Москва: Горная книга, 2019. – №10. – С. 55–64.
74. Протасов, С. И. Оценка эффективности гидромониторного размыва пород перед их земснарядной разработкой при переукладке гидроотвалов / С. И. Протасов, И. А. Мироненко // Маркшейдерия и недропользование. – Москва, 2019. – № 3. – С. 35–39.
75. Протасов, С. И. Повышение эффективности работы гидромониторно-землесосного комплекса разреза путем согласования режимов работы его основных систем: учеб. пособие / С. И. Протасов, Е. А. Кононенко, П. А. Самусев, Ю. И. Литвин. – Кемерово : КузГТУ. – 2015. – 155 с.
76. Резник, А. В. Технология открытой разработки обводненных бурогольных месторождений Канско-Ачинского бассейна / А. В. Резник, В. И. Ческидов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – №1. – С. 106–115.
77. СНиП IV-2-82, СНиП IV-5-84 сборник 1, Земляные работы «Распределение грунтов на группы по трудности разработки их гидромониторами и землесосными снарядами».

78. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М. : Недра, 1982. – 405 с.
79. Трубецкой, К. Н. Открытые горные работы: Справочник / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, К. Е. Веницкий, Н. Н. Мельников и др. – Москва : Горное бюро, 1994. – 590 с.
80. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Часть II. Обоснование оптимальных параметров отвальных сооружений. – Ленинград : ВНИМИ, 1990. – 51 с.
81. Федосеев, А.И. Инженерно-геологическое обоснование частичной ликвидации гидроотвалов вскрышных пород : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2006.
82. Федосеев, А. И. Опыт отработки намывных четвертичных пород с площади бывшего гидроотвала №3 ОАО «Разрез Кедровский» / А. И. Федосеев, В. Р. Вегнер, С. И. Протасов, С. П. Бахаева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ. – 2004. – №3. – С. 268–273.
83. ФЕР 81-02-01-2001 Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы ФЕР -2001 Федеральные единичные расценки на строительные работы ФЕР -2001 [сборник 1, Земляные работы, приложение (книга 1) по табл. (Приложение 1.3 и 1.4) и Примечания п. 2–5.
84. Ферстер, В. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов: учебное пособие для вузов. Т. 1. Насыпные и намывные массивы / В. Ферстер, А. М. Гальперин, Х. Шеф // Москва : МГГУ, 2006. – 391 с.
85. 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.
86. Фоменко, Н. Г. Инженерно-геологическое обоснование параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ : дисс. ... канд. техн. наук. – Москва : НИТУ МИСиС, 2016.
87. Хархута, Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. – Москва, «Транспорт», 1975. – 288 с.
88. Чаплыгин, В. В. Состояние и возможности гидромеханизации на разрезах Кузбасса / В. В. Чаплыгин, А. В. Демченко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S11. – С. 410–418.
89. Черемхина, А. П. Оценка закономерностей изменения инженерно-геологических условий устойчивости гидроотвалов вскрышных пород в зависимости от этапа эксплуатации уступов : дисс. ... канд. техн. наук. –

- С.-Петербург: «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014.
90. Черемхина, А. П. Инженерно-геологические исследования с целью обоснования безопасных условий расконсервации гидроотвалов вскрышных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ, 2013. – №7. – С. 406–412.
 91. Шелоганов, В. И. Насосные установки гидромеханизации / В. И. Шелоганов, Е. А. Кононенко. – Москва : МГГУ, 1999. – 81 с.
 92. Щербакова, Е. П. Инженерно-геологическое и геоморфологическое обоснование техногенного рельефа намывных территорий гидроотвалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1989.
 93. Ялтанец, И. М. Гидромеханизация. Справочный материал / И. М. Ялтанец, В. К. Егоров. – Москва : МГГУ, 1999.
 94. Ялтанец, И. М. Вопросы организации разработки месторождений с погружными грунтовыми насосами / И. М. Ялтанец, С. А. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : МГГУ. – 2005. – №9. – С. 216–221.
 95. Ялтанец, И. М. Научные и практические достижения в гидромеханизации горных и строительных работ / И. М. Ялтанец, С. М. Штин, Е. А. Бессонов. – Москва, 2009. – 334 с.
 96. Galperin, A. M. The assessment of compatibility and bearing capacity of the filed finely-dispersed sediments / A. M. Galperin, E. A. Pantyukhina // Proceedings of the XIII National conference with international participation of the open and underwater mining of minerals. – Varna, Bulgaria, 2015. – P. 253-257.
 97. Kachurin, N. M. Scientific and practical results of monitoring of anthropogenic influence on mining-industrial territories environment / N. M. Kachurin, S. A. Vorobev, T. V. Korchagina, R. V. Sidorov // Eurasian Mining, 2014. – №2. – S. 44–48.
 98. А.С. СССР № 1671858, МПК E21C41/02. Способ отвалообразования / Ю. И. Кутепов, Я. Г. Семикобыла, Н. А. Кутепова, Е. В. Костин. – Оpubл. 15.03.1989, бюл. №10.
 99. ГОСТ 25100-2011. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация». Введен в действие приказом Росстандарта от 12.07.2012 № 190-ст.
 100. Заключение №42 от 27.08.15 «Геомеханическое обоснование устойчивых параметров горной выработки при проведении инженерной подготовки участка недр «Поле шахты «Черниговская» Глушинского каменноугольного месторождения на восточном борту гидроотвала №2» / СИГИ. – Прокопьевск, 2016.
 101. Дьячук, О. В. Открытая геотехнология добычи угля земснарядами из обводненных месторождений: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22. – Москва, 2001. – 194 с.
 102. Резник, А. В. Технология открытой разработки обводненных буроугольных месторождений Канско-Ачинского бассейна / А. В. Резник, В. И.

- Ческидов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – №1. – С. 106–115.
103. Дробаденко, В. П. Гидротехнические сооружения при разработке россыпных месторождений / В. П. Дробаденко, Т. С. Потапова, В. Е. Кисляков. – Москва : Недра, 1992. – 285 с.
104. Федеральный закон от 21.07.1997 №117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».
105. Федеральный закон от 21.07.1997 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
106. Ческидов, В. В. Комплексное зондирование намывных отложений гидроотвала №3 разреза «Кедровский» // Горная Промышленность. – Москва, 2011. – №6 (100). – С. 70–76.
107. Сергина, Е. В. Комплексный мониторинг состояния природно-технических систем открытой разработки угольных месторождений : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – С.-Петербург, 2015.
108. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения (Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003) / Утвержден Приказом Минрегиона России от 29 декабря 2011 г. № 623, с изменением №1, утв. приказом Минстроя России от 20.10.2016 №722/пр.
109. Поклонов, Д. А. Алгоритм определения диаметра насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции / Д. А. Поклонов, И. А. Мироненко, В. С. Федотенко, С. И. Протасов // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2020. – №2. – С. 58-66.
110. Poklonov D. Substantiation of rational relationships of main parameters of the rock washing-out process when applying GD-300 hydraulic monitors at Kuzbass open pits / D. Poklonov, I. Mironenko, S. Protasov, Samusev P. // E3S Web Conf. Volume 174, 2020, article no. 01047. Vth International Innovative Mining Symposium. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401047.
111. Substantiation of rational relationships of main parameters of the rock washing-out process when applying GD-300 hydraulic monitors at Kuzbass open pits / D. Poklonov, I. Mironenko, S. Protasov, Samusev P. // E3S Web Conf. Volume 174, 2020, article no. 01047. Vth International Innovative Mining Symposium. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401047.
112. Мироненко, И. А. Гидромеханизированная переукладка пород из гидроотвалов, находящихся над промышленными запасами угля // Сб. материалов XII Всерос. научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 21–24 апр. 2020 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2020. – С. 10604.1-10604.3.
113. Мироненко, И. А. Влияние горнотехнических условий на параметры технологии переукладки пород гидроотвалов при совместной их разработке гидромониторным размывом и земснарядом // Техника и технология горного дела. – 2020. – № 4. – С. 70–79.

Приложение 1

Распределение грунтов на группы по трудности их разработки средствами гидромеханизации

Таблица П.1 – СНиП IV-5-84. Распределение грунтов на группы по трудности разработки их земснарядами

Группа грунта	Расход воды (м ³) на разработку и транспортирование 1 м ³ грунта	Наименование грунта	Количество частиц грунта по массе, %, при размере частиц, мм													
			глинистых менее 0,005	пылеватых 0,005-0,05	Песчаных			2–20	2–40	2–60	2–20	2–60	2–80	2–20	2–60	2–120
					мелких 0,05-0,25	средних 0,25-0,5	крупных 0,5-2,0	гравийно-галечных фракций в зависимости от производительности землесосных снарядов (по пульпе), м ³ /ч, %								
								до 1000			до 2000			св. 2000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	6,5	Пески мелкие	До 3	До 15	Св. 50	До 50	До 15	3	2	1	4	2	1	5	3	1
		Пески средней крупности			До 50	Св. 50										
		Пески пылеватые		До 20	Не регламентируются											
		Илы (коэффициент пористости св. 1,5)		Не регламентируются												
		Торфы сильно разложившиеся		Не регламентируются			–									
II	8,5	Пески средней крупности, пески крупные и гравелистые	До 3	До 15	До 50	До 50	Св. 15	6	5	3	8	6	3	10	7	5
		Пески пылеватые		20-50	Не регламентируются											
		Супеси (частиц менее 0,005 до 6 %)	3–6	До 50												
		Лессы рыхлые	До 3	До 70	Не регламентируются											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
III	11	Пески средней крупности	До 3	Не регламентируются			12	10	8	12	11	10	15	12	10	

		Супеси (частиц менее 0,005 до 10%)	6–10	До 50	Не регламентируются	8	6	5	10	8	6	12	10	8
IV	14	Пески гравелистые	До 3	Не регламентируются		25	22	20	30	25	20	30	27	25
		Суглинки (частиц менее 0,005 до 15%)	10–15			12	8	6	14	10	8	15	12	10
V	18	Гравийный	До 5	Не регламентируются		35	30	25	35	30	25	40	35	30
		Суглинки (частиц менее 0,005 до 20%)	15–20			15	12	10	15	12	10	20	15	12
VI	22	Гравийный	До 5	Не регламентируются		45	40	35	45	40	35	50	45	40
		Суглинки (частиц менее 0,005 до 30%)	20–30			15	12	10	15	12	10	20	15	10
		Глины (частиц менее 0,005 до 40%)	До 40											
VII	26	Галечниковые	Не регламентируются		–	–	–	60	55	50	65	60	50	
VIII	30	Галечниковые	Не регламентируются		–	–	–	90	85	80	95	90	80	

Примечания: 1. При разработке карьера группа грунтов определяется по среднему гранулометрическому составу всего карьера, разработку грунтов в полезных выемках (канавы, котлованы и т.д.), имеющих участки с грунтами различных групп, следует нормировать для каждого участка отдельно. Наличие глинистых прослоек при определении среднего гранулометрического состава (в карьерах и полезных выемках) не учитывается.

2. В случаях, когда проектом предусмотрена послойная разработка, группа грунтов устанавливается для каждого слоя однородного грунта отдельно.

3. При разработке грунтов II–III группы в ранее намывных резервах или сооружениях группу грунтов следует относить к ближайшей низшей. Снижение группы грунтов при неоднократной переработке производится 1 раз.

4. Песчаные грунты I, II и III группы с прослойками связных грунтов толщиной 0,2–0,6 м общей мощностью от 10 до 20 % или вскрышные грунты, если в проекте обоснована разработка грунтов в забое без предварительной уборки вскрыши, мощностью св. 10 % высоты забоя суммарной мощности прослоек и вскрыши до 20 % высоты забоя относятся соответственно ко II, III и IV группам.

Отнесение грунтов к более высоким группам распространяется только на площадь карьера или выемки, занятую прослойками или вскрышей. Наличие прослоек и вскрыши независимо от их мощности надлежит учитывать при определении размера потерь грунта при намыве сооружений и штабелей.

Таблица П.2 –СНиП IV-5-84. Распределение грунтов на группы по трудности разработки их гидромониторами

Группа грунтов	Расход воды (м ³) на разработку и транспортирование 1 м ³ грунта	Грунты	Число частиц грунтов по массе, %, при размере частиц, мм						
			глинистых менее 0,005	пылеватых 0,005...0,05	песчаных			гравийных 2...40	галечных 40...60
					мелких 0,05...0,25	средних 0,25...0,5	крупных 0,5...2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	4,5	Грунты предварительно разрыхленные, неслежавшиеся	До 40	Не регламентируется			До 50	–	–
II	5,4	Пески мелкие	>>3	До 15	Свыше 50	До 50		До 1	–
		Пески пылеватые	>>3	Не регламентируется		>>50		>>1	–
		Супеси (частиц менее 0,005 мм до 6%)	3...6	То же		>>50		>>1	–
		Лесс высокопористый (коэффициент пористости более 0,8)	До 8	До 70	Не регламентируется			>>1	–
		Торф сильно разложившийся	Не регламентируется						–
III	6,3	Пески средней крупности	До 3	Не регламентируется		Свыше 50	До 50	До 5	До 1
		Супеси (частиц менее 0,005 мм до 10%)	6...10	Не регламентируется			>>50	>>5	>>1
		Суглинки (частиц менее 0,005 мм до 15%)	До 15	То же			>>50	>>5	>>1
		Лесс низкопористый (коэффициент пористости меньше 0,8)	>>15	До 70	Не регламентируется		>>50	>>5	>>1

IV	8,1	Пески крупные	>>3	Не регламентируется			Св. 50	5...15	До 1
		Супеси (частиц менее 0,005 мм до 15%)	6...15	То же			Св. 50	5...15	>>1
		Суглинки (частиц менее 0,005 мм до 30%)	15...30	Не регламентируется				До 10	>>1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Глины (частиц менее 0,005 мм до 40%)	До 40	То же				.>>10	>>1
V	10,8	Пески гравелистые	До 5	Не регламентируется				>>25	–
		Глины (содержание частиц менее 0,005 мм до 50%)	40...50	То же				>>15	До 15
VI	12,6	Пески гравелистые	До 5	Не регламентируется				>>40	–
		Глины (содержание частиц менее 0,005 мм до 60%)	50...60	То же				>>15	До 15

Примечания:

1. По группе I нормируют предварительно разрыхленные грунты, предусмотренные настоящей таблицей, кроме грунтов с содержанием гравия более 1 % и глины VI группы. Грунты с содержанием гравия и гальки более 1 % и глины VI группы, предварительно разрыхленные, относят к ближайшей низшей по трудности разработки группе: например, предварительно разрыхленные грунты V группы относят к IV группе.

2. При разработке грунта в карьерах и полезных выемках (каналы, котлованы и т.д.) группу грунта определяют по среднему гранулометрическому составу всего карьера. Разработку грунта в карьерах и полезных выемках, имеющих участки с грунтами различных групп, следует нормировать для каждого участка отдельно. Наличие глинистых прослоек толщиной до 0,2 м и вскрыши суммарной мощностью до 10 % высоты забоя при определении среднего гранулометрического состава в карьерах и полезных выемках не учитывают. Наличие этих прослоек и вскрыши следует учитывать при определении размера потерь при намыве грунта в сооружение или штабели.

3. В случае, когда проектом предусмотрена послойная (уступами) разработка, группу грунтов учитывают для каждого слоя однородного грунта отдельно.

4. При разработке грунтов I и III групп в ранее намывных резервах или сооружениях группу грунтов следует относить к ближайшей низшей группе.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 федеральное государственное
 бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
 «КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
 ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
 имени Т.Ф.ГОРБАЧЕВА» (КузГТУ)
 Весенняя ул., д. 28, г. Кемерово, 650000
 тел./ факс: (384-2) 39-69-60, факс: (384-2) 68-23-23
<http://www.kuzstu.ru> e-mail: kuzstu@kuzstu.ru
 ОКПО 02068338 ОГРН 1024200708069
 ИНН / КПП 4207012578 / 420501001

Диссертационный совет
 Д 212.099.23 по защите докторских и
 кандидатских диссертаций
 при ФГАОУ ВО «Сибирский
 федеральный университет»

23.11.2021 № 02-07/2-3615

На № _____ от _____

СПРАВКА

о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы
 аспиранта КузГТУ Мироненко Ильи Александровича
 в учебном процессе

Настоящей справкой подтверждается, что с 2018-2019 учебного года на кафедре «Открытые горные работы» КузГТУ при изучении дисциплины «Гидромеханизация открытых горных работ» для студентов, обучающихся по направлению «Горное дело» по специализации «Открытые горные работы» в лекционном курсе и практических занятиях, а также в дипломном проектировании используются следующие результаты исследований, выполненных аспирантом кафедры ОГР Мироненко И.А. в рамках диссертационной работы «Разработка и обоснование параметров комбинированной гидромеханизированной технологии переукладки пород гидроотвалов»:

- анализа опыта работы гидроотвалов Кузбасса, а также исследований физико-механических свойств пород, намытых в гидроотвалы;

- методический подход к выбору вариантов технологических решений по разработке и перемещению пород из разных зон гидроотвала на новое место и обоснованию способа разработки пород, ранее намытых в гидроотвал, обеспечивающего безопасность и эффективность ведения горных работ;

- новый способ комбинированной гидромеханизированной технологии разработки и переукладки пород из разных зон гидроотвала (защищенный тремя патентами на изобретение), обеспечивающей безопасную и эффективную разработку за счет использования технических средств, которые наиболее соответствуют физико-механическим свойствам пород разрабатываемых зон гидроотвала, а также последовательности их применения и сочетания;

- алгоритм выбора параметров комбинированной технологии совместной разработки пород, намытых ранее в гидроотвал, гидромониторным размывом и земснарядом, на основе установленных зависимостей изменения производительности гидрокомплекса от группы (категории) разрабатываемой породы, напора на насадке гидромонитора и удельных расходов воды.

По решению кафедры ОГР (протокол № 12 от 02.12.2019) материалы этих исследований вошли в учебное пособие «Технология комбинированной разработки и переукладки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом» по разделу дисциплины «Гидромеханизация открытых горных работ», которое включено в план изданий КузГТУ на 2022 год с участием аспиранта Мироненко И.А. в качестве одного из соавторов.

Проректор по учебной работе,
 доц., к.т.н.

А.А. Баканов

Зав. кафедрой ОГР, доц., д.т.н.

А.В. Селюков

Доцент кафедры ОГР, к.т.н.

П.А. Самусев





ООО «СИГД»
650066, Кемеровская область–Кузбасс,
г. Кемерово, пр. Притомский, д. 7/2, помещение 3
Тел./факс: (3842) 68-10-40, sigd@sds-ugol.ru



АКТ

использования рекомендаций по обоснованию параметров комбинированной гидромеханизированной технологии разработки и переукладки пород, уложенных ранее в гидроотвал №2 разреза АО «Черниговец», сформулированных в диссертационной работе аспиранта КузГТУ Мироненко Ильи Александровича

Настоящим актом подтверждается, что ООО «СИГД» при разработке перспективных планов развития горных работ с учетом детализации основных технических решений по порядку отработки, схеме вскрытия, компоновке отвалов и отстройке стационарных бортов при выполнении проектной документации «Разработка Глушинского каменноугольного месторождения. Отработка запасов угля открытым способом на лицензионных участках «Поле шахты Черниговская» и «Южный» использованы материалы научных исследований диссертационной работы аспиранта кафедры ОГР КузГТУ Мироненко И.А. «Разработка и обоснование параметров комбинированной гидромеханизированной технологии переукладки пород гидроотвалов», представленных в отчете «Применение гидрокомплексов для переукладки пород гидроотвала №2 разреза «Черниговец», содержащем разделы: «Обоснование технологических решений по применению специальной гидротехнологии для разработки и транспортирования пород гидроотвала №2 на новое место укладки (гидромониторный размыв с гидротранспортированием пульпы землесосным снарядом); «Выбор технических средств и определение параметров технологических схем для разработки, перемещения и складирования пород, намывных в гидроотвал №2, на новое место укладки» и «Экономическая оценка применения специальной гидротехнологии при разработке и транспортировании пород, слагающих гидроотвал №2».

В проекте использованы разработанные в диссертации:

– методологический подход к выбору вариантов технических решений по разработке и перемещению пород из разных зон гидроотвала на новое место и обоснованию способа разработки пород, ранее намывных в гидроотвал, обеспечивающий безопасность и эффективность ведения горных работ;

– новый способ комбинированной гидромеханизированной технологии разработки и переукладки пород из разных зон гидроотвала, обеспечивающей безопасную и эффективную разработку за счет использования технических средств, которые наиболее соответствуют физико-механическим свойствам пород разрабатываемых зон гидроотвала, а также последовательности их применения и сочетания;

– алгоритм выбора параметров технологии совместной разработки пород, намывных ранее в гидроотвал, гидромониторным размывом и земснарядом, на основе установленных зависимостей изменения производительности гидрокомплекса от группы (категории) разрабатываемой породы, напора на насадке гидромонитора и удельных расходов воды.

На основе рекомендаций диссертационной работы Мироненко И.А. обоснованы: перечень основного оборудования гидромеханизации для переукладки пород гидроотвала №2; календарный график горных работ по переукладке пород гидроотвала

№2 АО «Черниговец»; объем пород и группы грунта, разрабатываемые гидрокомплексом при переукладке пород гидроотвала № 2; планы горных работ с расстановкой оборудования на периоды ввода карьера в эксплуатацию и полное развитие горных работ.

В соответствии с перечнем основного оборудования гидромеханизации для переукладки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» определены затраты на его приобретение и учтены затраты на горно-строительные работы.

Проектные расчеты показали, что предлагаемый в диссертационной работе вариант комбинированной гидромеханизированной разработки пород гидроотвала №2 АО «Черниговец» и перемещения их в новый гидроотвал №3 «Внутренний» с применением гидромониторов и земснарядов обеспечивает удельные эксплуатационные затраты на совместную разработку пород гидромонитором и земснарядом на 31,79 руб./м³ меньше, чем при их разработке земснарядом.

Экономический эффект от применения предлагаемой гидромеханизированной технологии отработки 4581 тыс. м³ пород из гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» составит 145,63 млн. руб. в ценах 2018г.

Директор



Т.В. Корчагина