



**МИРОНЕНКО ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

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

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

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Научный руководитель **Протасов Сергей Иванович**,  
кандидат технических наук, доцент, профессор  
кафедры «Открытые горные работы» КузГТУ

Официальные оппоненты: **Деревяшкин Игорь Владимирович**  
доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО  
«Московский политехнический университет»,  
кафедра «Техника и технология горного и нефте-  
газового производства», профессор

**Чаплыгин Валерий Васильевич**  
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Сибирский государственный индустриальный  
университет», кафедра открытых горных работ и  
электромеханики, заведующий

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учре-  
ждение науки Институт горного дела им.  
Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской  
академии наук

Защита состоится «15» сентября 2022 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.23 при ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ауд. 219.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте университета: <http://research.sfu-kras.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



М.С. Попова

## Общая характеристика работы

**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 м<sup>3</sup> 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, выявленное 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, зарегистрированным в ЕГИСУ НИОКТР АААА-А20-120030700002-7, с учетом Программы развития угольной промышленности России на период до 2030 г.

**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 намытого массива гидроотвала при выборе земснаряда и гидромони-

тора 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 намывных 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  $\varphi = 17-27^\circ$  (I); суглинистых пород текучей и мягко-пластической консистенции,  $\varphi = 13-16^\circ$  (II); неконсолидированных глинистых пород,  $\varphi = 5-10^\circ$  (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 гидроотвалов.

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, намывных 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 обрабатываемых 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 конферен-

циях: VI Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (г. Прокопьевск, 2018), 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) и АО «Черниговец» (г. Березовский, 2019, 2020 гг.) и АО «СДС-Уголь» (г. Кемерово, 2020), XI, XII и XIII Всерос. науч.-практ. конф. «Россия молодая» (г. Кемерово, 2019-2021 гг.), на заседании 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, 1 – в издании, индексируемом 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 поддержку при выполнении исследований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** дан анализ состояния проблемы гидромеханизированной переукладки пород гидроотвалов на разрезах Кузбасса.

Отмечено, что для поддержания стабильной добычи угля в Кузбассе требуется периодически осуществлять ввод в эксплуатацию новых участков угольных месторождений. Экономически целесообразно осваивать в первую очередь те из них, которые расположены в непосредственной близости от действующих разрезов, где отработка запасов угля завершается, но создана современная техническая база, способная обеспечить устойчивую работу предприятия. Препятствием для реализации этого направления развития угледобычи на ряде действующих угольных карьеров становится наличие гидроотвалов над промышленными запасами угля.

Впервые эта проблема возникла на разрезе «Кедровский», который получил ценный производственный опыт по разработке и перемещению на новое место пород, ранее намытых в гидроотвал № 3, расположенный над запасами ценных каменных углей. Однако в процессе гидромониторно-землесосной разработки ядерной неконсолидированной зоны гидроотвала там неоднократно происходили оползневые явления, которые приводили к аварийным ситуациям и выходу из строя оборудования. В настоящее время подобную задачу предстоит решить на разрезе АО «Черниговец», где под гидроотвалом №2 (рисунок 1) 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 намытых в гидроотвал.

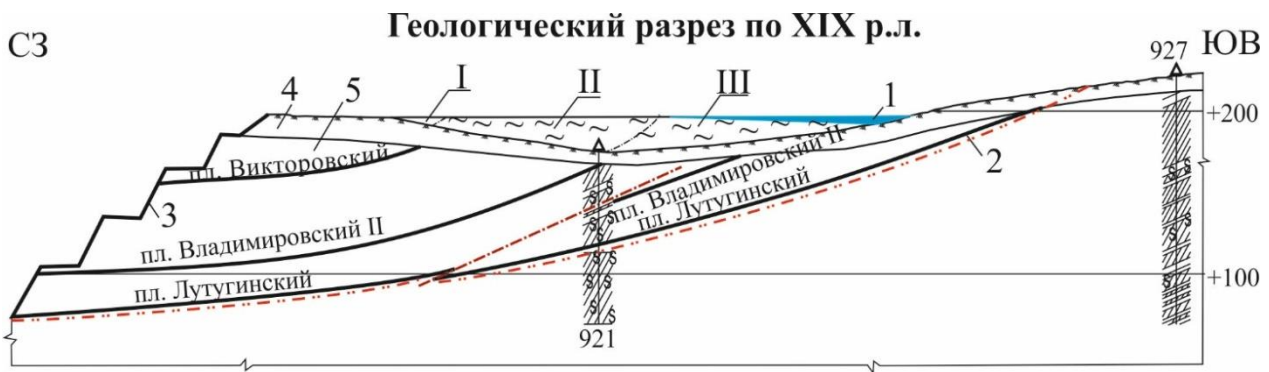


Рисунок 1 – Схема расположения гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» над промышленными запасами угля: 1 – вода в прудке гидроотвала №2; 2 – границы карьера; 3 – борт карьера; 4 – четвертичные отложения; 5 – коренные скальные породы; I – зона песчано-супесчаных пород; II – зона суглинистых пород; III – зона обводненных неконсолидированных глинистых пород

Изучением особенностей формирования гидроотвала как устойчивого гидротехнического сооружения, изменения физико-механических свойств намывных пород и их несущей способности занимались доктора техн. наук: А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова, В. В. Мосейкин, Ю. В. Кириченко, С. П. Бахаева, С. М. Простов; кандидаты техн. наук: А. В. Демченко, С. И. Протасов, И. В. Кузнецова, А. В. Могилин, В. П. Жариков, Е. В. Сергина, А. П. Черемхина и др.

Ими установлены закономерности формирования фракционного состава и физико-механических свойств пород в гидроотвале, которые изменяются в массиве в результате сегрегации частиц при намыве из потока гидросмеси по мере его протекания по поверхности пляжа. Это приводит к характерной смене в намывном массиве зон песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых пород. Проведенные ранее исследования рекомендуют эмпирические зависимости для расчета протяженности таких зон в зависимости от длины гидроотвала, а свойства намывных пород являются базовыми параметрами для выбора гидромеханизированной технологии. Ее методические и теоретические основы были созданы в результате исследований ученых: доктора техн. наук: Г. А. Нурок, А. П. Юфин, А. И. Харин, В. Ф. Хныкин, Н. Д. Холин, В. И. Шелоганов, И. Б. Шлайн, И. М. Ялтанец, Е. А. Кононенко, И. В. Дервяшкин; канд. техн. наук: И. Ф. Литвин, М. С. Подгорный, В. В. Чаплыгин, Ю. М. Мишин и другие.

Однако научных рекомендаций по эффективной и, главное, безопасной гидромеханизированной технологии разработки пород гидроотвала выявить не удалось, поэтому соответствующим образом сформулированы цель, идея работы и задачи диссертационных исследований.

**Вторая глава** посвящена обоснованию критериев зонирования намывного массива по физико-механическим свойствам пород и разработке комбинированной технологии, обеспечивающей безопасную и эффективную переукладку горных пород.

В основе алгоритма выбора технических и технологических решений по разработке и перемещению пород гидроотвала лежат два критерия (рисунок 2):

– безопасности, который определяет условия безаварийного функционирования технических средств и определяется несущей способностью поверхности намывного массива разных 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).

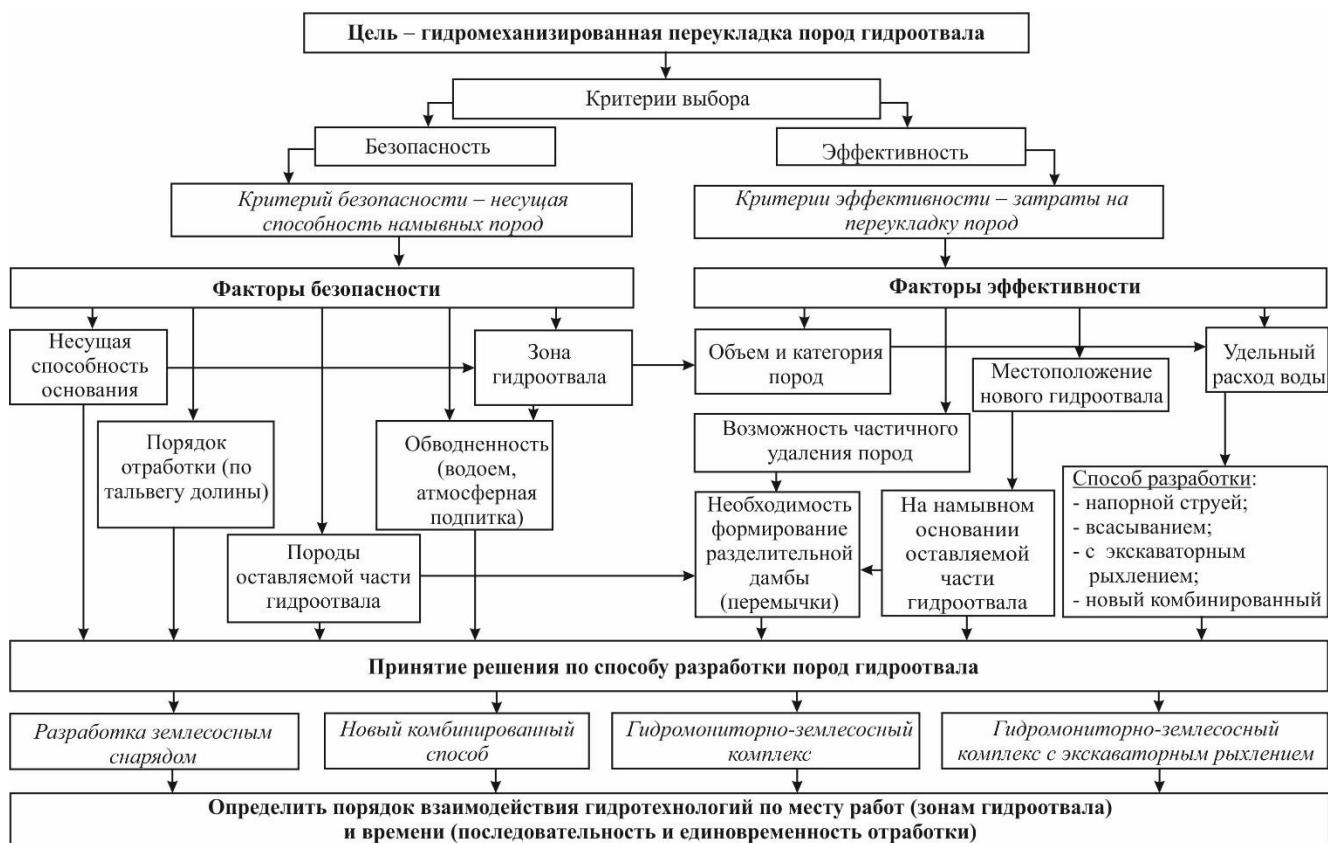


Рисунок 2 – Методологический подход к выбору вариантов технических решений по разработке и перемещению пород гидроотвала на новое место

Прогноз несущей способности  $P_{пр}$  поверхности намывного массива показал, что для песчано-супесчанистой и суглинистой зон эта величина превышает соответственно 0,39 и 0,28 МПа, что вполне достаточно для безопасной 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 и требует перехода к применению земснарядов и увеличению удельного расхода воды с 6,5 до 11 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (рисунок 3).

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



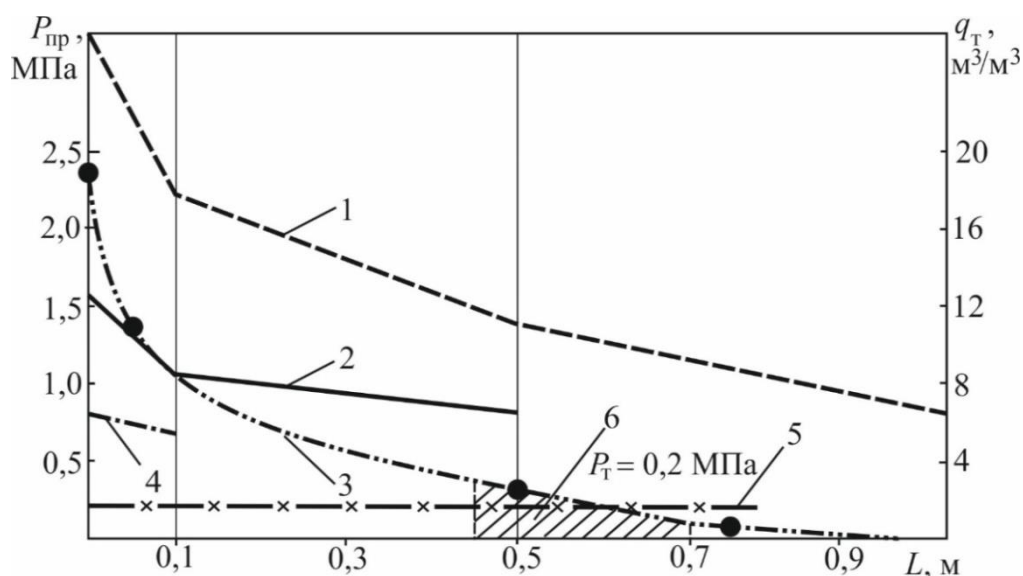


Рисунок 3 – Зависимость изменения величины несущей способности основания трех зон гидроотвала и значения величины удельного расхода воды при их разработке: 1 – земснарядом, 2 – гидромониторно-землесосным комплексом, гидромониторно-земснарядным комплексом; 4 – гидромониторно-землесосным комплексом с экскаваторным рыхлением; 3 – график зависимости изменения величины предельного критического значения несущей способности поверхности гидроотвала с учетом физико-механических свойств пород в разных зонах; 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

Анализ физико-механических свойств пород намывных отложений гидроотвалов Кузбасса показал, что наиболее информативным параметром, позволяющим детализировать характерные зоны гидроотвалов, является угол внутреннего трения  $\varphi$ , величина которого изменяется от 0 до  $32^\circ$  в ряду «глинистая – суглинистая – песчано-супесчаная 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.

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  $\varphi = 17\text{--}27^\circ$ ); зона II суглинистых пород характеризуется наличием отложений текучей и мягко-пластичной консистенции ( $\varphi = 13\text{--}16^\circ$ ); зона III обводненных неконсолидированных глинистых пород – отложениями текучей и мягко-пластичной консистенции ( $\varphi = 5\text{--}10^\circ$ ).

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 верхо-

вьев гидроотвала. Оработка пород этой зоны гидромониторами характеризуется повышенной опасностью.

Разработку пород начинают с III зоны обводненных неконсолидированных глинистых пород. Применяют землесосный снаряд, технология работы которого обеспечивает безопасность работ за счет того, что разрушенные породы откачиваются земснарядом из-под воды и по пульпопроводу подаются к месту сброса. 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 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 (рисунок 4).

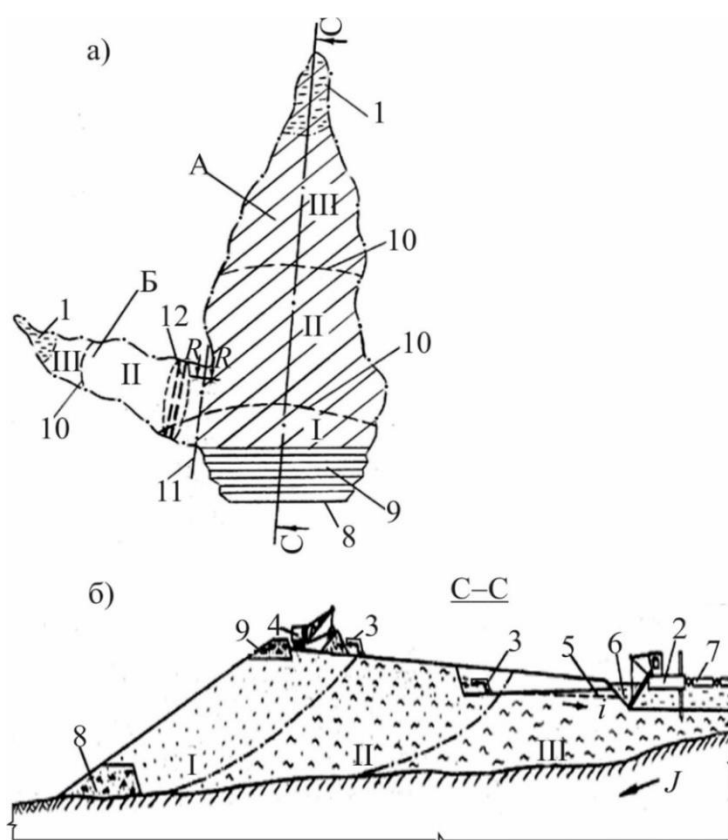


Рисунок 4 – Схема обеспечения безопасного доступа к промышленным запасам угля, которые залегают под гидроотвалом: а) схема переукладки гидроотвала; б) продольный разрез гидроотвала. А – часть гидроотвала, породы которой подлежат отработке;

Б – часть гидроотвала, породы которой не подлежат отработке. 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 для последующего размыва 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

Совместная работа гидромонитора и земснаряда обеспечивает двухступенчатую систему повышения концентрации твердого в гидросмеси. Технологические решения по отработке этих пород защищены тремя патентами РФ на изобретения. В случае отсутствия необходимости переукладки всего объема пород из гидроотвала часть гидроотвала, например, отдельный отрог оврага, может на этом этапе отделяться разделительной дамбой.

Решение первой задачи исследований, изложенное во второй главе, позволило сформулировать первое научное положение.

**В третьей главе** приведены результаты исследования зависимостей производительностей гидромонитора и грунтового насоса земснаряда от физико-механических свойств намывного массива

Условие устойчивой работы гидромонитора и земснаряда заключается в балансе параметров оборудования, который 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.

Этот баланс описывается системой уравнений, включающей производительности гидромонитора по породе, земснаряда по породе и гидросмеси, удельные расходы при разработке пород земснарядом и гидромониторном размыве, а также пористость разрабатываемой породы в соответствующей зоне гидроотвала:

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

где  $Q_{ТГ}$  – производительность гидромонитора по породе, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{ТЗ}$  – производительность земснаряда по породе, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{Г\Sigma}$  – производительность грунтового насоса земснаряда по гидросмеси, м<sup>3</sup>/ч;  $q_{З}$  – удельный расход воды при разработке пород земснарядом, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $q_{Г}$  – удельный расход воды при гидромониторном размыве, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $m$  – пористость разрабатываемой породы.

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

Учитывая небольшое различие величины пористости пород суглинистой и глинистой зон гидроотвала, в целях упрощения вывода формул для расчетов параметров исследуемой технологии в работе принято допущение о равенстве их значений.

Произведен расчет основных параметров технологии при совместном применении гидромониторного размыва и земснарядов в различных горнотехнических условиях гидроотвала № 2 разреза АО «Черниговец» при применении земснарядов с  $Q_{Г\Sigma} = 2000, 3000$  и  $4000$  м<sup>3</sup>/ч и приведены результаты сравнения

показателей рекомендуемого комплекса с традиционной земснарядной разработкой пород.

Исследование влияния горнотехнических условий на параметры технологии позволили установить, что при совместной разработке пород земснарядами и гидромониторным размывом повышение эффективности горных работ обеспечивается за счет увеличения концентрации твердого в гидросмеси, перемещаемой земснарядом по напорному пульповоду к новому месту укладки. При этом формирование гидросмеси осуществляется последовательно в две стадии. На первой стадии гидромонитор, работающий на технически чистой воде, который устанавливается 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. В результате того, что гидромониторная разработка пород 2 зоны гидроотвала гидромонитором обеспечивает более низкие удельные расходы воды по сравнению с их разработкой земснарядом, суммарная плотность гидросмеси  $\rho_{\Gamma\Sigma}$  интенсивно увеличивается до  $42 \text{ кг/м}^3$  при уменьшении величины удельного расхода воды  $q_{\Sigma}$  с  $12,00$  до  $7,28 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Этот факт иллюстрирует установленная эмпирическая зависимость –  $\rho_{\Gamma\Sigma} = 1310/q_{\Sigma}^{0,08}$ , (среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 2,51 \text{ г/см}^3$ ,  $R^2=0,978$ ), где

$$q_{\Sigma} = \frac{[(1 - m + q_{\Gamma}) \cdot q_3]}{(1 - m + q_3 + q_{\Gamma})}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (2)$$

Величина удельного расхода воды  $q_{\Sigma}$  в гидросмеси, которая перемещается по трубопроводу на новое место укладки (2), определяется соотношением физико-механических свойств разрабатываемых пород, которые определяют значения величины  $q_3$  и  $q_{\Gamma}$  (СНиП IV-5-84). Следовательно, зависимость изменения величины дополнительной производительности по породе при совместной разработке пород земснарядом и гидромонитором  $\Delta Q_{\Gamma\Sigma}$  по сравнению с традиционной земснарядной технологией логично выразить от аргумента, которым является отношение  $q_3 / q_{\Gamma}$ .

В результате применения метода наименьших квадратов установлена эмпирическая зависимость:

$$\Delta Q_{\Gamma\Sigma} = 30(q_3 / q_{\Gamma})^{1,8}. \quad (3)$$

Среднеквадратическое отклонение составляет  $26,88 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а индекс детерминации  $R^2=0,633$ . При величине соотношения  $q_3 / q_{\Gamma} = 3$  для комплекса  $Q_{\Gamma\Sigma} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$  увеличение производительности гидрокомплекса по породе достигает  $182,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

По методу наименьших квадратов установлена эмпирическая зависимость изменения величины отношения часовой производительности гидромониторного размыва к земснарядной разработке пород от соотношения удельных расходов воды:

$$\frac{Q_{ТГ}}{Q_{ТЗ}} = 0,94(q_3 / q_Г) - 0,01. \quad (4)$$

Низкое значение среднеквадратического отклонения этой эмпирической зависимости  $\sigma=0,099$  с и высокое значение коэффициента детерминации  $R^2=0,993$  свидетельствуют о ее высокой степени приближения к исходным данным. Зависимость изменения отношения часовой производительности по породе гидромониторного размыва к земснарядной разработке пород от соотношения удельных расходов воды показывает, что при увеличении величины соотношения  $q_3 / q_Г$  значение  $Q_{ТГ} / Q_{ТЗ}$  возрастает с 1,16 до 1,84.

Приняв в качестве аргумента фактор – величину  $q_3 / q_Г$ , получим зависимость изменения величины  $e_2 / e_1$ , т.е. соотношения удельных энергозатрат на гидротранспортирование при совместной разработке пород гидромониторами и землесосными снарядами к традиционной, земснарядной:

$$e_2 / e_1 = 1,1 - 0,2(q_3 / q_Г). \quad (5)$$

При этом малая величина  $\sigma=0,099$  и высокое значение  $R^2=0,962$  подтверждают надежность описания исходных данных предлагаемой приближенной зависимостью. Проведенные расчеты по формуле (5) свидетельствуют о том, что при величине соотношения, равного трем, энергозатраты рекомендуемой технологии уменьшаются практически в два раза.

При этом безопасность горных работ достигается за счет того, что плавающий земснаряд разрабатывает обводненные неконсолидированные глинистые породы гидроотвала, а гидромонитор работает на площадке верхнего уступа, состоящего из консолидированных пород.

Оценка эффективности применения нового способа разработки пород при переукладке гидроотвалов показала, что минимальные значения дополнительной производительности по породе при совместной разработке пород земснарядом и гидромонитором по сравнению с традиционной земснарядной для условий гидроотвала № 2 разреза АО «Черниговец» составляют 91,1 м<sup>3</sup>/ч при  $Q_{Г\Sigma} = 2000$  м<sup>3</sup>/ч и 182,3 м<sup>3</sup>/ч при  $Q_{Г\Sigma} = 4000$  м<sup>3</sup>/ч, а относительная величина  $\Delta Q_{Т\Sigma} / Q_{ТЗ1}$  изменяется в пределах от 79,6 до 84,4 %.

Для выбора наиболее эффективного варианта технологии введен дополнительный фактор регулирования ее параметров – давление воды на насадке гидромонитора. Решение системы уравнений (1) относительно величины  $Q_{Т\Sigma}$  (м<sup>3</sup>/ч) с учетом зависимости (2) позволило после преобразований установить расчетную формулу

$$(6)$$

$$Q_{T\Sigma} = \frac{Q_{T\Sigma} (1 - m + q_3 + q_T)}{[(1 - m) \cdot (1 - m + 2q_T) + q_3 (1 - m + 2q_T)]}$$

С использованием баз данных, полученных для условий гидроотвала №2, 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  $H_H$  с 1,2 до 2,0 МПа производительность гидрокомплекса  $Q_{T\Sigma}$  увеличивается на 70–84 м<sup>3</sup>/ч (10–15 %), причем интенсивность повышения с ростом давления снижается так же, как и при повышении категории (группы) пород, которые разрабатываются гидромонитором (рисунок 5).

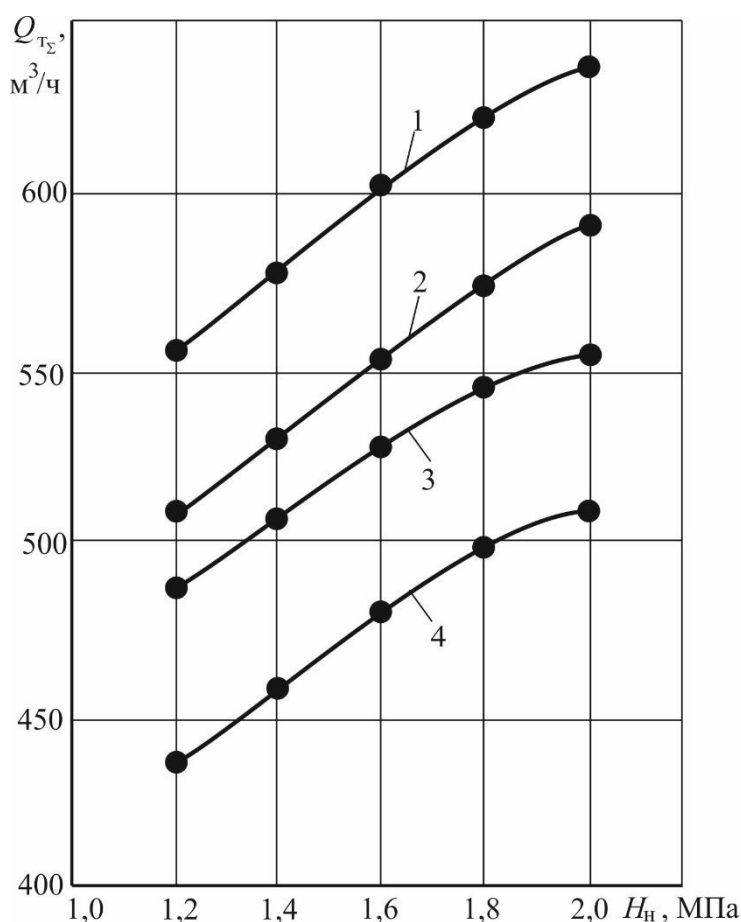


Рисунок 5 – Зависимость производительности гидрокомплекса  $Q_{T\Sigma}$  от напора на насадке  $H_H$  при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом в условиях гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец»: 1, 2, 3, 4 – номер серии

Предположив, что искомая зависимость может быть определена только величиной удельного расхода воды при совместной разработке породы гидромонитором и земснарядом, по этой же базе данных построена (рисунок 6) эмпирическая зависимость  $Q_{T\Sigma} = f(q_\Sigma)$ , которая была установлена методом наименьших квадратов:

$$Q_{T\Sigma} = \frac{3330}{q_\Sigma^{0,94}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (7)$$

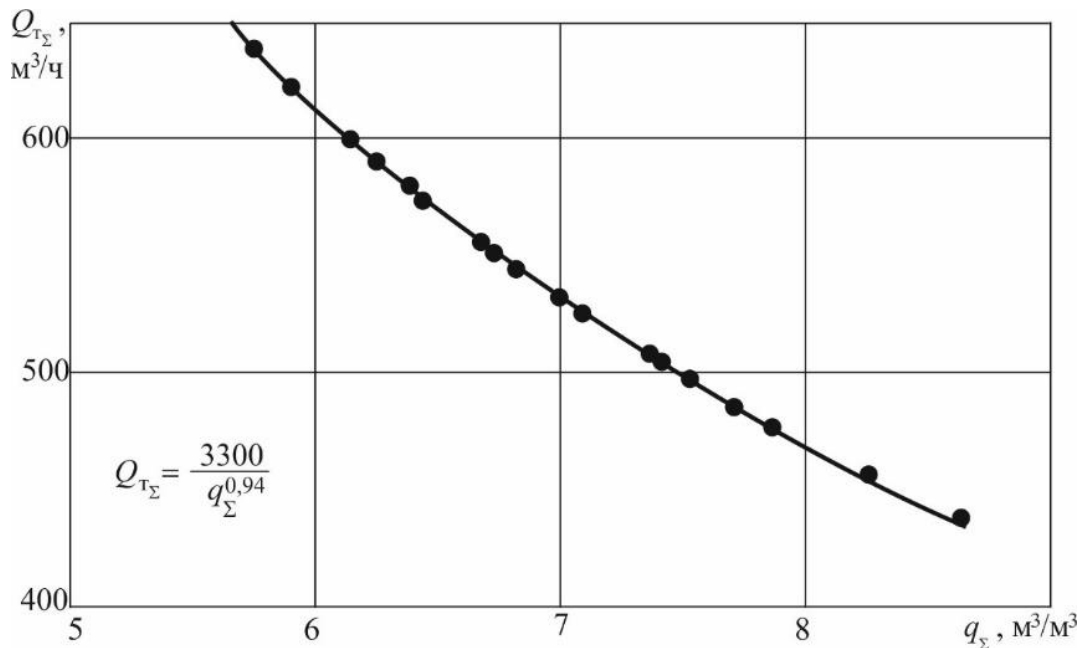


Рисунок 6 – Зависимость производительности гидрокомплекса по породе  $Q_{T\Sigma}$  от удельного расхода воды  $q_{\Sigma}$  при совместной разработке пород гидроотвала гидромонитором и землесосным снарядом

Зависимость позволяет упростить расчеты при выборе параметров гидрокомплекса, обладая при этом высокой достоверностью расчетов, так как среднеквадратическое отклонение составляет 2,49 м³/ч, а индекс детерминации  $R^2=0,998$ .

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

- 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;

- 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 земснарядом для каждого из них потребуется отдельный водовод и пульповод).

На основании приведенного в главе 3 решения второй задачи исследований сформулировано второе научное положение.

**Четвертая глава** посвящена разработке и практической реализации методики расчета рациональных параметров комбинированной технологии гидромеханизированной переукладки пород гидроотвалов.

Алгоритм выбора параметров комплексной гидромеханизированной технологии разработки пород в разных зонах гидроотвала и перемещения их на

новое место, обеспечивающих ее технико-экономическую эффективность, приведен на рисунке 7.

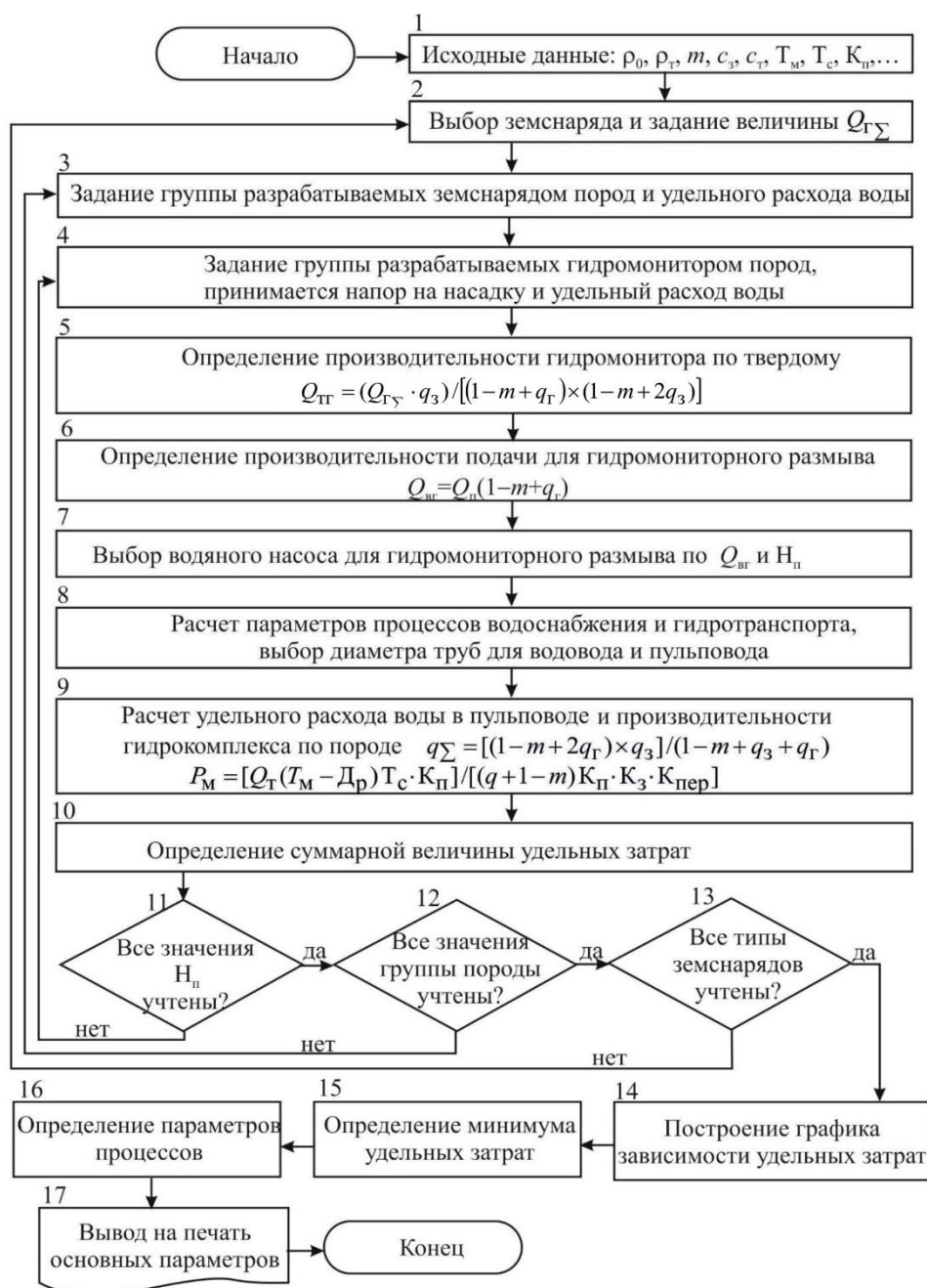


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма расчета параметров гидромеханизированной технологии совместной разработки пород, намывных в гидроотвал, гидромонитором и землесосным снарядом

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.



С целью реализации инновационной комбинированной технологии разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом подготовлены и переданы проектной организации ООО «СИГД» рекомендации по обоснованию параметров этой гидромеханизированной технологии для переукладки пород гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец» с использованием емкости остаточной карьерной выработки в районе склада взрывчатых материалов.

Рекомендации включают: перечень основного оборудования гидромеханизации; объем пород и группы грунта, разрабатываемых гидрокомплексом; календарный график горных работ; планы горных работ с расстановкой оборудования на периоды ввода карьера в эксплуатацию и полное развитие горных работ.

Приведенные в главе 4 решения третьей задачи исследований позволили сформулировать третье научное положение.

Предлагаемый вариант комплексной 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. м<sup>3</sup>; объем инвестиций – 218080,06 тыс. руб.; удельный объем инвестиций – 11,29 руб./м<sup>3</sup>; удельные эксплуатационные затраты на разработку пород земснарядом 400-70 – 174,19 руб./м<sup>3</sup>; гидромонитором и земснарядом 400-70 – 142,40 руб./м<sup>3</sup>; гидромониторно-землесосной установкой (4000-71) – 100,29 руб./м<sup>3</sup>.

Усредненные удельные эксплуатационные затраты на разработку 1 м<sup>3</sup> пород составили 127,60 руб./м<sup>3</sup>, что на 31,79 руб./м<sup>3</sup> меньше, чем при их разработке земснарядом. Учитывая, что по предлагаемой технологии отрабатывается 4581 тыс. м<sup>3</sup> 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 гидромеханизированной 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 методологический 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 величины 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 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), 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 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, которое повышает плотность гидросмеси с 1073 до 1117 кг/м<sup>3</sup>, т.е. на 42 кг/м<sup>3</sup>. 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 70-84 м<sup>3</sup>/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 комбинированной 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 гидроотвала №2 разреза АО «Черниговец». Определены основные технико-экономические показатели и экономический эффект предлагаемой технологии, который в ценах 2018 г. составляет 145,63 млн руб.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах**  
*в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:*

1. **Мироненко, И. А.** Принципы выбора вариантов технических решений для разработки и перемещения пород гидроотвала на новое место / И. А. Мироненко, С. И. Протасов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2019. – № 1. – С. 59–65.

2. 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.

3. 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 Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2019. – № 3. – С. 82–93.

4. 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 (Scopus).

5. 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.

*в издании, индексируемом международной базой данных Scopus:*

6. 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. V<sup>th</sup> International Innovative Mining Symposium. DOI: [10.1051/e3sconf/202017401047](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401047).

*патенты РФ:*

7. Патент РФ на изобретение №2661950. Способ переукладки гидроотвала / В. С. Федотенко, С. И. Протасов, **И. А. Мироненко**, А. Е. Кононенко. – МПК<sup>6</sup> E21C 41/26. – 2017111157; Заявлено 03.04.17; Оpubл. 23.07.18; БИ № 21. – 10 с.

8. Патент РФ на изобретение №2681772. Способ гидромеханизированной переукладки пород / В. С. Федотенко, С. И. Протасов, **И. А. Мироненко**, А. Е. Кононенко. – МПК<sup>6</sup> E21C 41/26. – 2018118218; Заявлено 17.05.18; Оpubл. 12.03.19; БИ № 8.–7 с.

9. 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. – МПК<sup>6</sup> E21C 41/26. – 2018135003; Заявлено 03.10.18; Оpubл. 11.06.19; БИ № 17. – 7 с.

*другие издания:*

10. **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. науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2018. – С. 22–25.

11. **Мироненко И. А.** Обоснование места складирования пород при их переукладке из гидроотвала №2 разреза «Черниговец» / И. А. Мироненко, А.В. Дониц // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2018. Материалы XVII Междунар. науч.-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.

12. **Мироненко, И. А.** Технология разработки и перемещения четвертичных пород, уложенных ранее в гидроотвал, расположенный над запасами угля (доклад) // Сб. материалов XI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Россия молодая», 16–19 апр. 2019 г., Кемерово [Электронный ресурс] /

ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол. – Кемерово, 2019. – С. 10606.1-10606.5.

13. **Мироненко, И. А.** Технология разработки пород, намытых ранее в гидроотвал, с применением гидромониторного размыва и землесосных снарядов / И. А. Мироненко, С. И. Протасов // Техника и технология горного дела: науч.-практ. журнал / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2019. – № 1. – С. 24-34.

14. **Мироненко, И. А.** К вопросу перемещения четвертичных вскрышных пород, уложенных в гидроотвалы Кузбасса // VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» 4-5 апреля 2019: сб. докл. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2019. – С. 152-158.

15. **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.

16. **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.

17. Мироненко, И. А. Область эффективного применения комплексной технологии разработки пород, уложенных ранее в гидроотвал, гидромониторным размывом и земснарядом (доклад) // Сб. материалов XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Россия молодая», 20-23 апр. 2021 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол. – Кемерово, 2021. – С. 010608.1-010608.4.

Подписано в печать . . . 2022. Формат 60x84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Печ. л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Отпечатано в издательском центре УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А