На правах рукописи

Корякин Артем Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ШЛАМОХРАНИЛИЩ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК ГИДРОЭЛЕВАТОРНЫМИ ЗЕМСНАРЯДАМИ

Специальность 2.8.8 Геотехнология, горные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Кемерово – 2026

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

Научный руководитель: **Федотенко Виктор Сергеевич**
доктор технических наук, с.н.с. научно-исследовательской лаборатории цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

Официальные оппоненты: **Дробаденко Валерий Павлович**
доктор технических наук, профессор кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (г. Москва).

Садыков Артур Алексович
кандидат технических наук, доцент кафедры открытых горных работ и электромеханики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк).

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск).

Защита диссертации состоится «24» декабря 2026 г. в 13:00 час. на заседании диссертационного совета 24.2.321.01 на базе ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, тел.: +7 (3842) 39-69-50, e-mail: markovso@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте: http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2026/kor/Dissertation.pdf

Автореферат разослан «____» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент С.О. Марков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Основная нагрузка по добыче угля в РФ приходится на Кемеровскую область, доля которой составляет 48% от объема добываемого в России угля, в результате чего в зоне действия промышленных объектов, связанных с разработкой угольных месторождений, площадь нарушенных земель в настоящее время увеличилась до 100 тысяч га.

Интенсивное строительство обогатительных фабрик (ОФ) в Кемеровской области – Кузбассе связано, прежде всего, с требованиями потребителей к качеству углей, что обусловливает перспективные темпы развития переработки угля.

В последнее время из-за повышения зольности добываемых углей и, иногда, несовершенства технологии его извлечения из недр, содержание мелких фракций в хвостах обогащения заметно увеличилось, а возможности использования действующих отстойников оказываются уже недостаточными. В шламохранилищах Кемеровской области – Кузбасса уложено более 30 млн. т отходов углеобогащения, которые загрязняют окружающую среду, занимают большие территории и подлежат утилизации после заполнения шламохранилищ.

Анализ технологии и оборудования, применяемых для разработки шламов из шламохранилищ углеобогатительных фабрик, выявил их низкую эффективность и несоответствие свойствам разрабатываемых пород. При этом до сих пор не предложено научно обоснованных рекомендаций по расчету параметров технологии очистки шламохранилищ. Исследования по обоснованию технологии и оборудования для безопасной и эффективной разработки угольных шламов, намытых ранее в шламохранилище, должны базироваться на передовом опыте разработки и перемещения неконсолидированных пород способом гидромеханизации. Следовательно, обоснование параметров технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик гидроэлеваторными земснарядами является актуальной научно-практической задачей.

Степень разработанности темы исследования

В связи с тем, что основой применяемых технологий является гидромеханизация, причем ее работа, учитывая климатические условия, является сезонной, а процесс обогащения круглогодичным, главным элементом шламового хозяйства является шламохранилище. В нем накапливаются хвосты обогащения за весь холодный период года, а в летний сезон средствами гидромеханизации он

перемещается на карты фильтрации и утилизируется. В настоящее время, из-за невыполнения в первую очередь вышеуказанного условия, площадь шламохранилищ практически достигла критических, по экологическим понятиям, значений. Для решения этой задачи требуется внимательно изучить опыт гидромеханизации, которая, особенно в Кемеровской области - Кузбассе, хорошо зарекомендовала себя при проведении гидровскрышных работ. Ее методические и теоретические основы были созданы в результате исследований ряда ученых: докторов технических наук: Г.А. Нурок, А.П. Юфина, А.И. Харина, В.Ф. Хныкина, Н.Д. Холина, В.И. Шелоганова, И.Б. Шлайна, И.М. Ялтанца, Е.А. Кононенко, Н.И. Бабичева; кандидатов технических наук: И.Ф. Литвина, М.С. Подгорного, А.Т. Мироненко, В.В. Чаплыгина, Ю.И. Литвина и других.

Однако научных рекомендаций по эффективной и безопасной гидромеханизированной технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда выявить не удалось.

Цель работы заключается в обосновании параметров технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик гидроэлеваторными земснарядами, работающими на трубопровод, используемый попеременно как пульповод и водовод.

Идея работы заключается в том, что безопасная технология разработки и перемещения хвостов обогащения с применением гидроэлеваторных земснарядов может быть эффективно реализована путем выбора параметров земснарядов, соответствующих горнотехническим условиям эксплуатации с учетом физико-механических свойств разрабатываемых шламов.

Объектом исследований является технология гидромеханизированной разработки шламохранилищ углеобогатительных фабрик Кемеровской области – Кузбасса.

Предмет исследования: параметры технологии и технические средства ее реализации для различных горнотехнических условий.

Задачи исследования:

- проанализировать результаты научных исследований состава и физико-механических свойств хвостов углеобогащения, намытых в шламохранилищах ОФ, технологии и параметров технических средств гидромеханизации для разработки и

перемещения гидросмесей и основных направлений повышения эффективности их работы и снижения негативного влияния на окружающую среду;

- разработать методологический подход к обоснованию параметров технологии очистки шламохранилищ гидроэлеваторным земснарядом УГБ-2М, позволяющий исследовать влияние горнотехнических условий на его производительность;

- разработать новую технологию очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда и обосновать ее параметры в зависимости от физико-механических свойств хвостов углеобогащения.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Методика определения условий, обеспечивающих устойчивую и безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда, должна включать определение диаметра пульповода и расчет соответствующей ему величины производительности гидротранспортной установки для установления диапазона ее изменений в пределах зоны технического использования.

2. Расчет производительности гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М в границах зоны их технического использования должен производиться с использованием установленных зависимостей вида $Q_m = a - b \cdot H_г - c \cdot L$, где Q_m – производительность земснаряда по твердому, м³/ч; $H_г$ – геодезическая высоты подъема гидросмеси, м; L – расстояние перемещения гидросмеси, м; а коэффициенты a, b и c определяются в зависимости от диаметра пульповода и расстояния перемещения гидросмеси.

Научная новизна:

1. Разработан методологический подход к определению условий, обеспечивающих устойчивую и безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда при разработке хвостов обогащения в пределах зоны технического использования.

2. Установлена система уравнений, определяющая параметры процессов новой технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда при накоплении осветленной воды внутри водоема, на поверхности которого он перемещается и производит разработку пород из-под воды при отсутствии специального трубопровода для ее возврата (подпитки).

Теоретическое значение работы. Разработан алгоритм расчета параметров системы гидротранспорта и оптимизации параметров новой технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда, расширяющий границы применимости данной технологии. Разработаны и обоснованы эмпирические зависимости для прогнозирования изменения часовой производительности земснаряда по твердому (шламу) для каждого из технически возможных диаметров пульповода при переносе места выпуска гидросмеси и изменении расстояния ее перемещения или геодезической высоты подъема.

Практическое значение работы заключается в определении диапазона промышленного использования земснаряда УГБ-2М, установлении условий функционирования гидрокомплекса с учетом технических характеристик принятого оборудования, горнотехнических условий эксплуатации и физико-механических свойств шламов и разработке рекомендаций по совершенствованию системы водношламового комплекса гидротехнических сооружений ОФ разреза АО «Черниговец» с применением гидроэлеваторного земснаряда.

Методы исследований. В работе использован комплексный методический подход, включающий: обобщение сведений, содержащихся в научно-технической и специальной литературе и анализ результатов выполненных ранее теоретических и экспериментальных работ по современным способам обустройства шламохранилищ углеобогатительных фабрик и применению гидромеханизированных технологий при открытой добыче полезных ископаемых; 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 и использованием широкого диапазона апробированных научных методов исследований, включая применение основополагающих положений механики, гидравлики, гидромеханизации и математической статистики.

Личный вклад автора заключается в анализе и обобщении результатов исследований и опыта работы водношламового хозяйства углеобогатительных фабрик Кузбасса, исследовании физико-механических свойств хвостов обогащения угля, намытых в шламохранилища, изучения опыта применения

гидромеханизированных технологий при открытой добыче полезных ископаемых, а также в проведении патентных изысканий по вопросам новизны предлагаемой в работе технологии очистки шламохранилища углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда; в аналитическом исследовании взаимосвязи параметров технологии и горнотехнических условий работы; разработке алгоритма расчета системы гидротранспорта и оптимизации параметров новой технологии очистки шламохранилища углеобогатительных фабрик.

Апробация работы. Содержание и основные положения диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на научных конференциях: Неделя горняка 2022, 2024, 2025 (НИТУ МИСИС, Москва), Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая» 2022 (КузГТУ, Кемерово), 17 Международная научная школа молодых ученых и специалистов 2025 (ИПКОН РАН, Москва).

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в 4 опубликованных работах в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 158 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 72 наименований, содержит 31 рисунок, 22 таблицы и одно приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проведенный в **первой главе** работы анализ результатов научных исследований состава и физико-механических свойств хвостов углеобогащения, намытых в шламохранилищах ОФ, технологии и параметров технических средств, применяемых в настоящее время, в соответствии с заложенными в проектах требованиями по их эксплуатации, а также горнотехническими условиями, в которых требуется осуществлять работу ОФ, позволил установить основные направления повышения эффективности работы шламового хозяйства и снижения его негативного влияния на окружающую среду.

Во второй главе диссертации, на основании анализа взаимосвязи критериев горнотехнических условий и основных факторов процессов технологии очистки шламохранилищ с применением эжекторного земснаряда, разработан методологический подход к определению условий, обеспечивающих устойчивую и

безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда при разработке хвостов обогащения (рисунок 1).

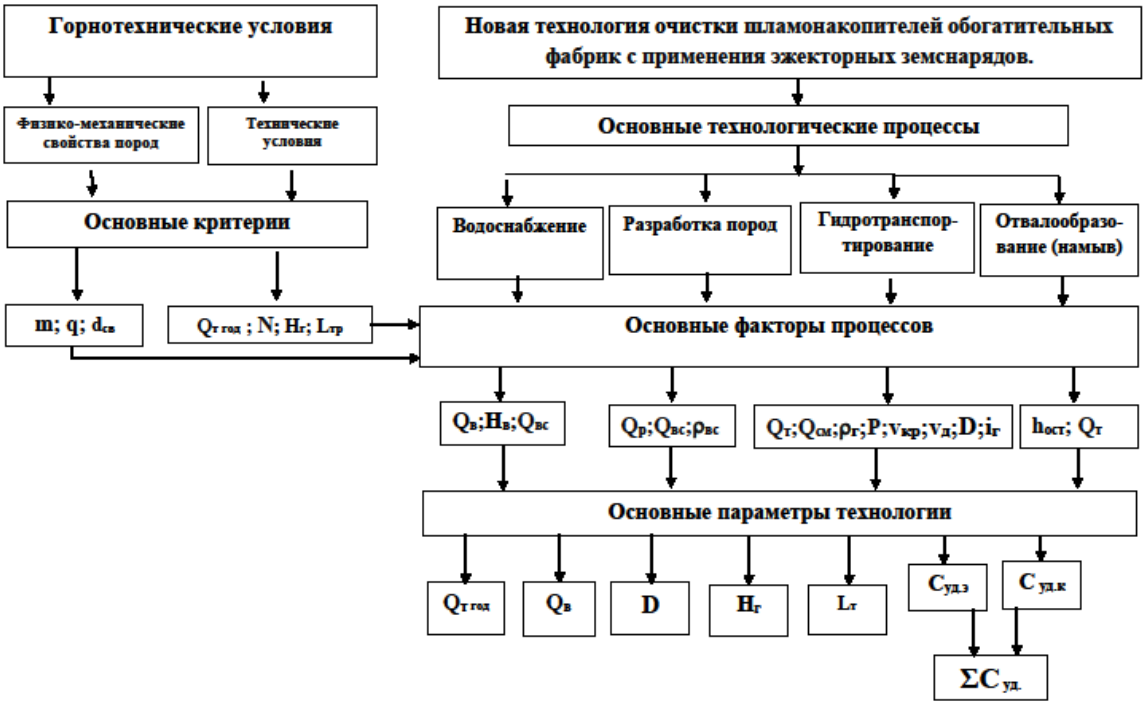


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи критериев горнотехнических условий и основных факторов технологических процессов технологии очистки шламохранилищ с применением эжекторного земснаряда.

Было установлено, что условиями, обеспечивающими устойчивую и безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда при разработке хвостов обогащения, являются:

1. Величина действительной скорости перемещения пульпы в трубопроводе $V_д$ должна быть больше либо равна величины критической скорости $V_{кр}$. Это условие исключает заиление (закупорку пульповода), возможность гидравлического удара и аварии, а также учитывает физико-механические свойства гидросмеси хвостов.

2. Величина подачи гидротранспортной установки должна определяться по месту пересечения характеристики пульповода, построенного для определенного расстояния перемещения и геодезической высоты подъема пульпы, с технической характеристикой земснаряда (графоаналитический способ определения совокупности «рабочих точек»). Это условие позволяет учитывать горнотехнические условия работы оборудования и границы его технического использования, что гарантирует устойчивую работу комплекса.

На основании разработанного методологического подхода, включающего вышеперечисленные условия, разработан алгоритм определения величины фактической подачи гидроэлеваторного земснаряда при разработке хвостов обогащения, с учетом физико-механических свойств гидросмеси хвостов для различных расстояний перемещения пульпы и геодезической высоты ее подъема (рисунок 2).

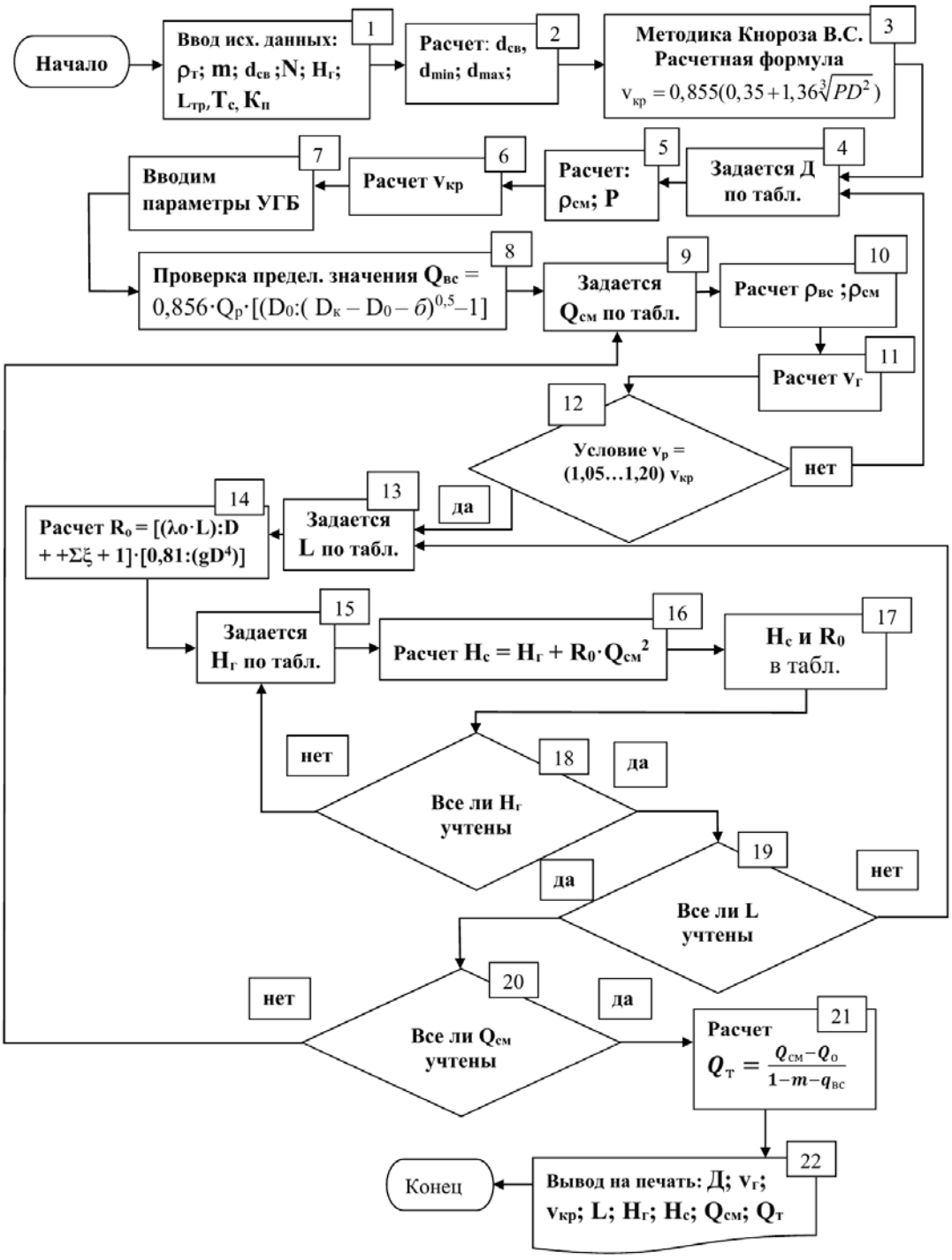


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма расчета параметров системы гидротранспорта технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов и его производительности в зависимости от горнотехнических условий его работы

В результате расчета по алгоритму для условий ОФ «Черниговская» установлена совокупность значений фактической подачи земснаряда УГБ-2М при очистке шламохранилища, что позволило установить все технически возможные значения его производительности по твердому (шламу) при диаметрах пульповода 0,30; 0,35; 0,40; 0,45 м, и расстояния транспортирования гидросмеси от 300 м до 2000 м при геодезической высоты подъема пульпы от 0 м до 20 м. При этом производительность по твердому (шламу) - диапазон изменения его производительности находится в пределах зоны технического использования и изменяется от 38,0 до 97,0 м³/ч.

Зона технического использования гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М показана на рисунке 3.

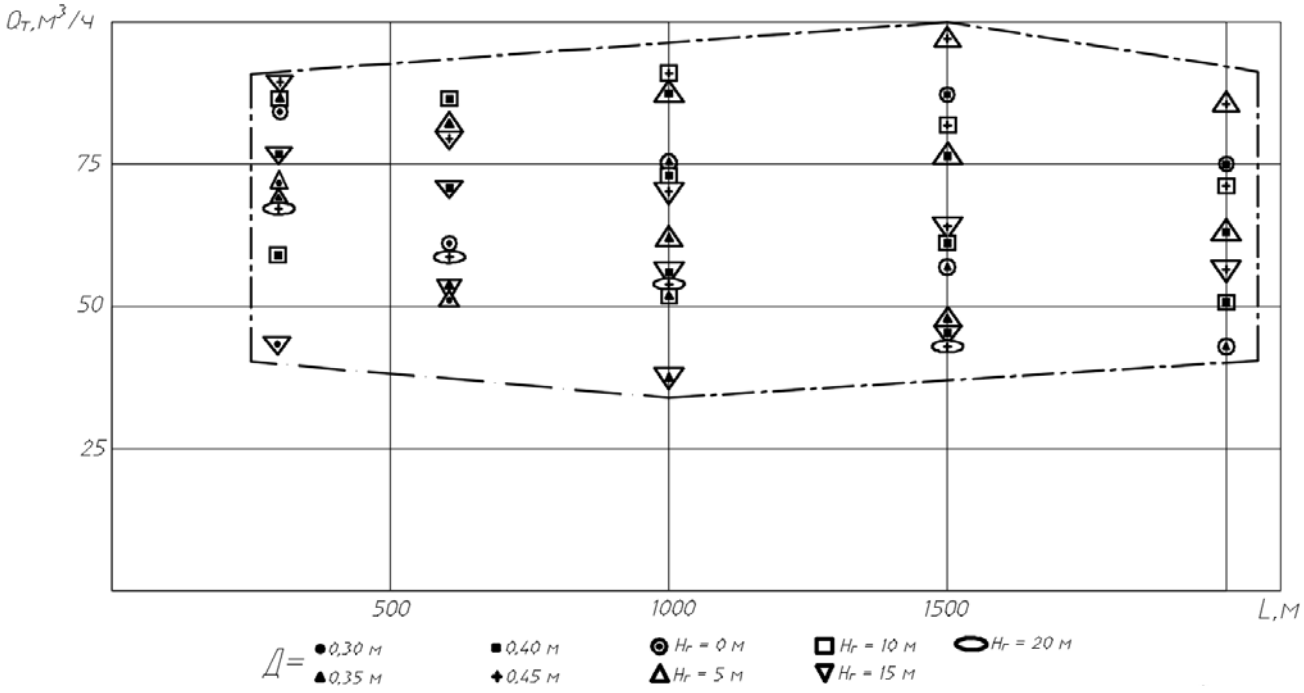


Рисунок 3 – Диапазон промышленного использования земснаряда УГБ-2М

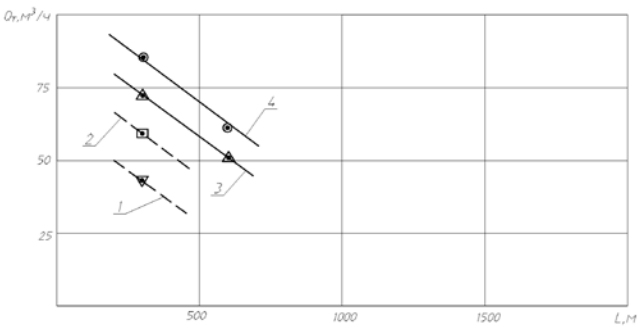
Таким образом, **<u>первое научное положение</u>** – «***Методика определения условий, обеспечивающих устойчивую и безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда, должна включать определение диаметра пульповода и расчет соответствующей ему величины производительности гидротранспортной установки для установления диапазона ее изменений в пределах зоны технического использования»*** следует считать доказанным.

Известно, что расчет параметров гидротранспорта является довольно сложной задачей, поэтому для применения в производственных условиях, на уровне сотрудников технической службы предприятия, для оценки перспектив изменения параметров гидрокомплекса, проект которого выполнен специалистами-проектировщикам, предлагаются установленные в работе эмпирические зависимости, позволяющие рассчитать производительность гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М в границах зоны его технического использования при различных диаметрах пульповода с учетом физико-механических свойств хвостов углеобогащения и горнотехнических условий.

Построив графики зависимостей изменения производительности земснаряда для каждого из технически возможных диаметров пульповода (от Д = 0,30 м до 0,45 м), которые приведены на рисунке 4, замечаем характерные особенности их изменения.

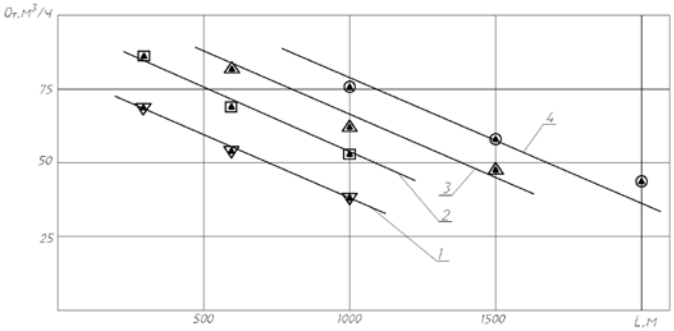
Прежде всего замечаем, что угол наклона графика для каждого из диаметров пульповода является постоянным. Анализ графических зависимостей изменения часовой производительности земснаряда УГБ-2М показывает, что увеличение расстояния перемещения гидросмеси шламов с L = 300 до 2000 м существенно уменьшает ее величину. При этом величина снижения производительности от геодезической высоты подъема гидросмеси $H_г$, при одном и том же значении L, зависит от диаметра пульповода Д.

а) Д = 0,30 м



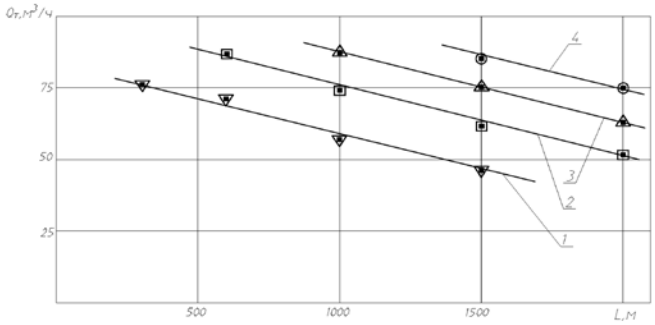
1. $Q_т$ = 65,0 – 0,073·L; 2. $Q_т$ = 81,0 – 0,073·L; 3. $Q_т$ = 94,5 – 0,073·L; 4. $Q_т$ = 106,0 – 0,073·L.

б) Д = 0,35 м



1. $Q_т$ = 81,0 – 0,043·L; 2. $Q_т$ = 98,0 – 0,043·L; 3. $Q_т$ = 110,0 – 0,043·L; 4. $Q_т$ = 123,0 – 0,043·L.

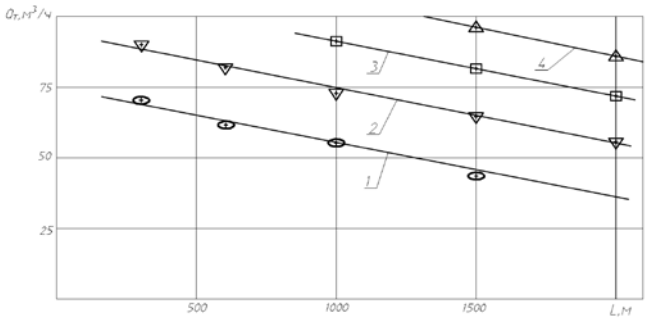
в) Д = 0,40 м



1. $Q_m = 84{,}0 - 0{,}024 \cdot L$; **2.** $Q_m = 100{,}0 - 0{,}024 \cdot L$;

3. $Q_m = 113{,}0 - 0{,}024 \cdot L$; **4.** $Q_m = 124{,}0 - 0{,}019 \cdot L$;

г) Д = 0,45 м



1. $Q_m = 74{,}0 - 0{,}019 \cdot L$; **2.** $Q_m = 94{,}0 - 0{,}019 \cdot L$;

3. $Q_m = 110{,}0 - 0{,}019 \cdot L$; **4.** $Q_m = 125{,}0 - 0{,}019 \cdot L$.

Рисунок 4 – Графики зависимостей изменения производительности земснаряда для каждого из технически возможных диаметров пульповода Д.

Следовательно, учитывая довольно сложную методику определения часовой производительности земснаряда УГБ-2М при изменении вышеуказанных параметров L и $H_г$, которая включает расчет параметров гидротранспорта и характеристики трубопровода (сети – H_c), а также расчет, построение характеристики земснаряда и графоаналитический способ определения «рабочей точки», целесообразно определить упрощенную эмпирическую зависимость для ее расчета. Такая зависимость для расчета часовой производительности земснаряда по твердому (шламу) в часто изменяющихся горнотехнических условиях, например, при переносе места выпуска гидросмеси при ее намыве, позволит технологам в промышленных условиях прогнозировать и принимать технические решения, учитывающие изменения горнотехнических условий функционирования предлагаемой технологии.

В результате для соответствующих значений диаметра пульповода установлены эмпирические зависимости для расчета производительности землесосного снаряда УГБ-2М в условиях по твердому:

- для Д = 0,30 м $\boldsymbol{Q_m = 108 - 2{,}7 \cdot H_г - 0{,}073 \cdot L}$; (1)
- для Д = 0,35 м $\boldsymbol{Q_m = 123 - 2{,}8 \cdot H_г - 0{,}043 \cdot L}$; (2)
- для Д = 0,40 м $\boldsymbol{Q_m = 126 - 2{,}6 \cdot H_г - 0{,}024 \cdot L}$; (3)
- для Д = 0,45 м $\boldsymbol{Q_m = 139 - 3{,}1 \cdot H_г - 0{,}019 \cdot L}$. (4)

Например, подставив в формулу (4) при диаметре пульповода Д = 0,45 м значения геодезической высоте подъема гидросмеси $H_г$ = 5 м и расстояние транспортирования $L = 1500$ м определяем величину производительности по твердому землесосного снаряда УГБ-2М в производственных условиях ОФ «Черниговской» $Q_m = 95{,}0$ м^3/ч.

В таблице 1 приведены результаты статистической оценки достоверности результатов расчета производительности по твердому землесосному снаряду УГБ-2М для различных условий его работы (в пределах ранее установленных технических границ его применения) по упрощенным эмпирическим формулам.

Таблица 1 – Результаты статистической оценки полученных зависимостей.

Параметр	Диаметр пульповода Д, м			
	0,30	0,35	0,40	0,45
Среднее линейное отклонение, м^3/ч	1,33	2,34	2,25	2,54
Относительная ошибка, %	2,42	1,93	3,59	3,84
Среднеквадратическое отклонение, %	1,97	3,32	2,94	3,24
Коэффициент вариации, %	5,80	5,37	4,17	4,43

Таким образом, статистическая оценка полученной зависимости характеризует высокую степень достоверности результатов расчета по эмпирической формуле, что значительно упростит расчеты при выборе оптимальных параметров гидрокомплекса при совместной разработке пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом.

В третьей главе работы представлено решение задачи по повышению эффективности использования мобильных гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М для очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов, работающих на трубопровод, который попеременно используется как пульповод и водовод, которое может быть достигнуто за счет организационно-технических мероприятий. Новая технология может быть реализована при учете ряда факторов, присущих эксплуатации оборудования гидромеханизации в совокупности с работой оборудования гидромеханизации ОФ по сбросу хвостов обогащения. На рисунке 5 показана общая схема сооружений, объектов и коммуникаций шламонакопителей.

Способ осуществляют следующим образом. Гидросмесь шламов с обогатительной фабрики 1 по пульповоду 2 поступает в шламонакопитель 3. В зимний период осветленная вода через сбросной колодец 4 по трубопроводу 5 отправляется в пруд-накопитель 6 откуда насосом 7 по водоводу 8 возвращается на обогатительную фабрику 1. В период сезона работы гидромеханизации (апрель–октябрь) в шламохранилище 3 с помощью автокрана в зону скопления осветленной воды (около водосбросного колодца 4) помещают земснаряд 9, который гибким плавучем трубопроводом 10 соединен с трубопроводом 11, по которому гидросмесь шламов перемещается в централизованный шламоотстойник 12. Когда в шламохранилище 3 возникает дефицит технологической воды, работу земснаряда останавливают, закрывают задвижки 13, 14, открывают задвижки 15,16 и производят запуск водяного насоса 17. В результате осветленная вода из централизованного шламоотстойника 12 по трубопроводу 11 поступает в шламохранилище 3, при этом задвижка 18 должна быть закрыта.

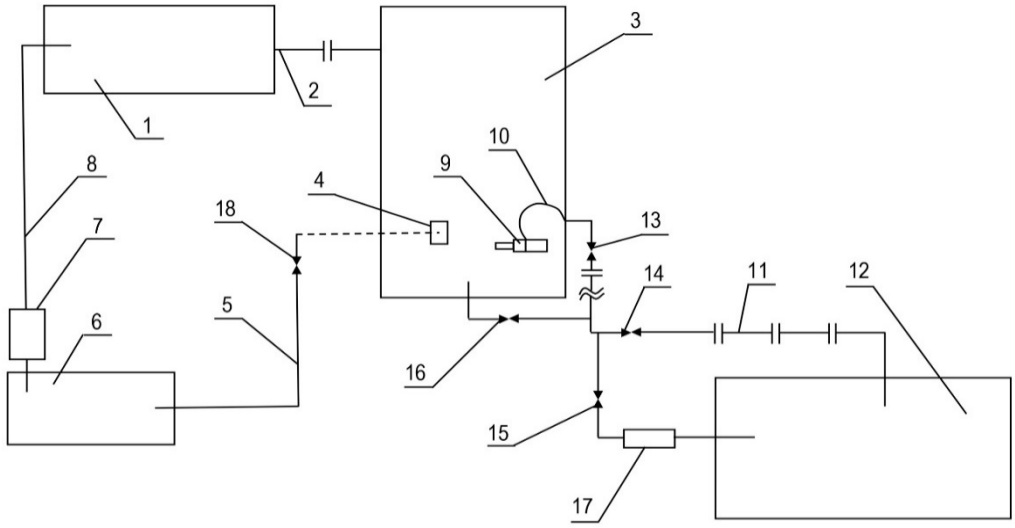


Рисунок 5 – Схема организации новой технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов, работающих на трубопровод, который попеременно используется как пульповод и водовод.

В результате выполнения этого способа обеспечивается очистка шламохранилища земснарядом при поочередном движении воды и гидросмеси по одной трубе, что особенно важно при значительном расстоянии до централизованного шламоотстойника и высокой стоимости металлических труб, при этом в процессе перемещения по трубопроводу воды осуществляется

промывка пульповода, значительно снижающая риск его заиления, возникновения гидравлического удара и порыва (аварии).

В результате выполнения заявляемого способа происходит увеличение концентрации твердого в гидросмеси за счет того, что размыв и забор гидросмеси шламов осуществляется из подводного забоя, а не с поверхности. При этом расположение оборудования на понтоне земснаряда позволяет осуществлять его перемещения по всей территории шламохранилища и качественно очищать всю его емкость от шламов.

Предлагаемая технология подразумевает возможность обеспечения работы земснаряда в основном путем отключения системы сброса осветленной воды и создания внутри шламохранилища емкости и ее заполнения технологической водой, поступающей с обогатительной фабрики по трубопроводу вместе со шламом. В процессе намыва этой гидросмеси и осаждения твердых породных частиц вода осветляется и заполняет емкость всего шламохранилища в т.ч. и уже очищенную земснарядом часть общей емкости.

Условиями функционирования нового способа очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда являются следующие соотношения параметров процессов и показателей предлагаемой технологической схемы:

1. Годовой объем шлама, намытого в шламохранилище, должен быть разработан и перемещен по пульповоду на новое место земснарядом в течение одного сезона. Математически это условие может быть записано в виде формулы:

$$V_{т.год} = Q_т \cdot (T_с - t_в) \cdot K_з; \quad (5)$$

где $V_{т.год}$ – годовой объем шлама, намытого в шламохранилище, м^3; $Q_т$ – производительность гидроэлеваторного земснаряда по твердому, м^3/ч; N – количество земснарядов, единицы (целочисленное значение); m – пористость породы, в долях единицы; q – удельный расход воды при разработке пород земснарядом, м^3/м^3; $T_с$ – продолжительность сезона гидромеханизации в регионе, ч; $t_в$ – продолжительность работы системы водоснабжения за сезон, ч; $K_з$ – коэффициент использования земснаряда за сезон, в долях единицы.

2. Вода, необходимая для отработки годового объема шлама должна быть обеспечена за счет сезонного ее поступления со шламом ОФ и системы подпитки из отстойника по пульповоду земснаряда в период его технического простоя

(обслуживания, профилактического ремонта и т.п.). Это условие в виде математической формулы может быть записано в виде:

$$V_{т.год} \cdot q = V_{т.год} \cdot (T_с \ / \ T_{оф}) \cdot q_ф + V_п - V_и - V_ф - V_{зп} + V_с + V_о; \quad (6)$$

где $q_ф$ – удельный расход воды в гидросмеси, поступающей с обогатительной фабрики, м^3/м^3; $T_с$ – продолжительность сезона гидромеханизации в регионе, ч; $T_{оф}$ – годовой фонд рабочего времени ОФ, ч; $V_п$ – величина подпитки по пульповоду земснаряда, м^3; $V_и$ – величина потерь на испарение, м^3; $V_ф$ – потери воды на фильтрацию, м^3; $V_{зп}$ – потери воды в укладываемой породе (заполнение пор), м^3; $V_с$ – величина поверхностного стока, м^3; $V_о$ – остаточный запас воды к началу сезона, м^3.

3. Требуемая величина подпитки по пульповоду земснаряда должна обеспечиваться производительностью принятого водяного насоса $Q_в$ по формуле (7) и возможностью прокачки по трубопроводу по формуле (8):

$$V_п = t_в \cdot N \cdot Q_в \cdot K_в; \quad (7)$$

$$Q_в \leqslant 900 \cdot \pi \cdot Д^2 \cdot \nu, \quad (8)$$

Где N – количество земснарядов, единицы (целочисленное значение), $Q_в$ – производительность водяного насоса системы подпитки, м^3/ч; $K_в$ – коэффициент использования оборудования системы водоснабжения за сезон, в долях единицы; Д – диаметр трубопровода (пульповода земснаряда) м; ν – скорость движения воды в трубопроводе, оптимальное значение которой обычно составляет 2÷2,5 м/с;

Соблюдение всех трех условий, т.е. система уравнений (9) с неизвестными: N, $t_в$, $V_п$, $Q_в$, определяет условия функционирования новой предлагаемой технологии очистки шламонакопителя углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда, который работает на трубопровод, который попеременно используется как пульповод и водовод:

$$\begin{cases} V_{т.год} = Q_т \cdot N \cdot (T_с - t_в) \cdot K_з; \\ V_{т.год} \cdot q = V_{т.год} \cdot \left(\frac{T_с}{T_{оф}}\right) \cdot q_ф + V_п - V_и - V_ф - V_{зп} + V_с + V_о; \\ V_п = t_в \cdot N \cdot Q_в \cdot K_в; \\ Q_в \leqslant 900 \cdot \pi \cdot Д^2 \cdot \nu. \end{cases} \quad (9)$$

Система уравнений (9) и установленные в работе зависимости позволили разработать блок-схему алгоритма оптимизации параметров технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов в

зависимости от горнотехнических условий эксплуатации при различных диаметрах трубопровода для гидросмеси (рисунок 6), которая является продолжением алгоритма, представленного на рисунке 2.

Следовательно, второе **научное положение – *«Расчет производительности гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М в границах зоны их технического использования должен производиться с использованием установленных зависимостей вида*** $Q_m = a - b \cdot H_г - c \cdot L$, **где** Q_m **– производительность земснаряда по твердому, м³/ч,** $H_г$ **– геодезическая высоты подъема гидросмеси, м,** L **– расстояние перемещения гидросмеси, м, а коэффициенты** a, b **и** c **определяются в зависимости от диаметра пульповода и расстояния перемещения гидросмеси»** доказано.

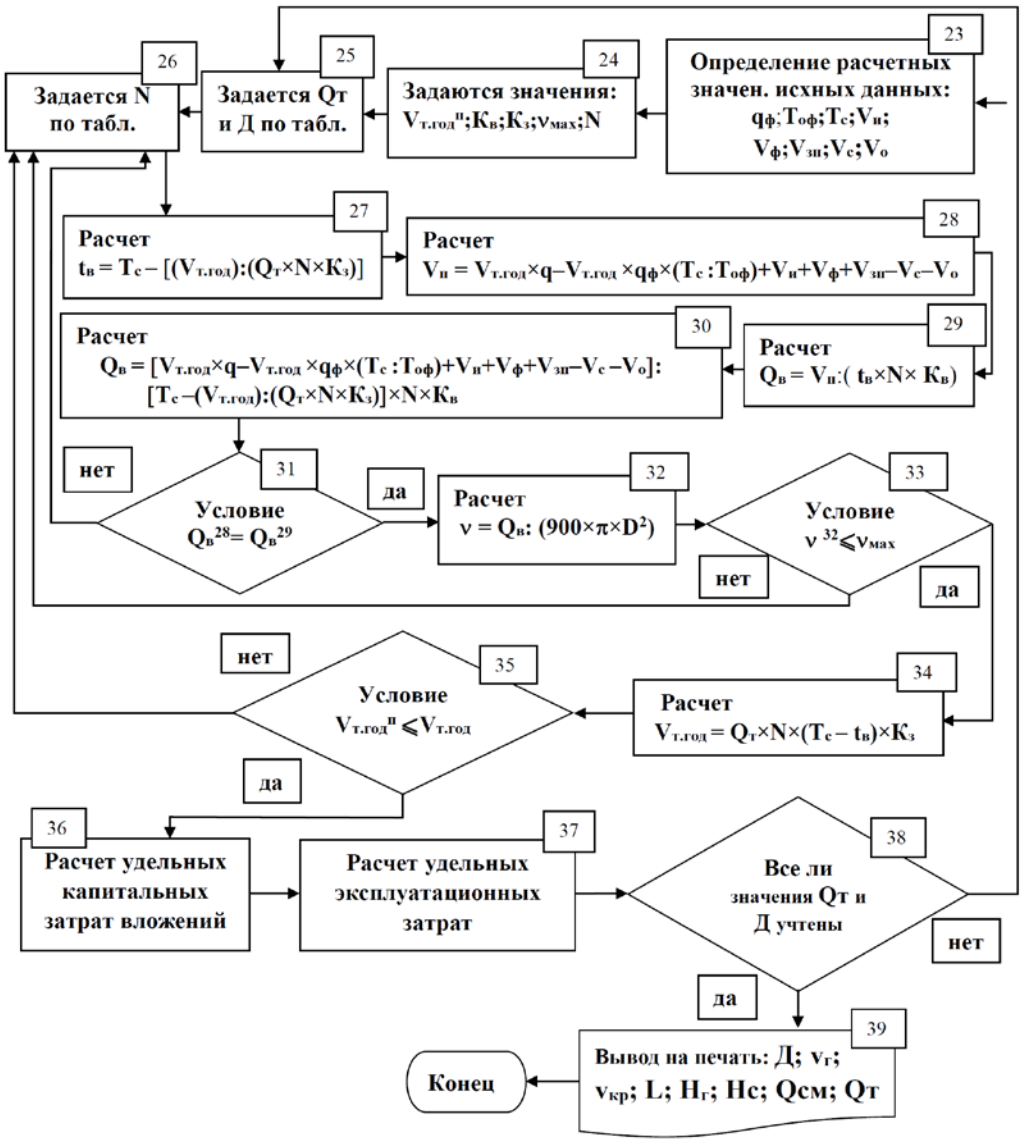


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов.

В четвертой главе определены параметры новой технологии очистки шламохранилища углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда для горнотехнических условий шламохранилища ОФ «Черниговская» и рассчитаны ее основные технико-экономические показатели, а также разработаны рекомендации по совершенствованию работы водношламового комплекса гидротехнических сооружений ОФ «Черниговская» с применением гидроэлеваторного земснаряда.

Суть соблюдения всех трех условий функционирования предлагаемой технологии заключается в том, что продолжительность сезона гидромеханизации должна обеспечивать как разработку и удаление шламов земснарядом, так и необходимую продолжительность работы насоса, осуществляющего подпитку (компенсацию затрат воды) по пульповоду земснаряда.

Решение системы уравнений для горнотехнических условий работы гидроэлеваторного земснаряда при очистке шламохранилища ОФ «Черниговская» (принимаем Д = 0,45 м; L = 2,0 км; $H_г$ = 10 м; $Q_т$ = 72,0 м^3/ч), позволило установить основные параметры этой технологии, которые обеспечивают баланс процессов и устойчивую, безаварийную работу всего гидрокомплекса.

Предложена новая структура гидромеханизированного водошламового комплекса ОФ «Черниговская» с применением гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М в виде «Рекомендаций по совершенствованию технологии очистки шламохранилищ углеобогатительной фабрики гидроэлеваторным земснарядом УГБ-2М в условиях работы водошламового комплекса гидротехнических сооружений ОФ «Черниговская» передана в проектный институт ООО «Сибгеопроект». В них представлен расчет производительности системы гидротранспортирования шламов землесосом ЗГМ-2М при одновременном поступлении гидросмеси с ОФ и от земснаряда УГБ-2М, который доказал, что предлагаемая схема позволяет не только обеспечить очистку шламохранилища в объеме годовой потребности, но обеспечит очистку всего водоема «Техническая вода».

Кроме того, в соответствии с нормативами РФ «Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы по ФЕР 81-02-01-2001 (Сборник 1, Земляные работы)» произведен расчет основных технико-

экономических показателей технологии очистки шламохранилища ОФ «Черниговская» при применении гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М.

В результате технико-экономического расчета установлены основные параметры, характеризующие эффективность отработки шламов ОФ «Черниговская» гидроэлеваторным земснарядом УГБ-2М, который располагается в шламохранилище «Техническая вода». Удельные объемы инвестиций и эксплуатационных затрат на разработку хвостов земснарядом УГБ-2М составляют 115,70 и 120,55 руб./м^3 соответственно (цены 1 кв. 2022 г.).

Годовой экономический эффект при применении для отработки хвостов ОФ «Черниговская» гидроэлеваторным земснарядом УГБ-2М составит более трех миллионов рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по обоснованию параметров гидромеханизированной технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов, которая может быть эффективно реализована путем выбора их параметров в соответствии с горнотехническими условиями эксплуатации и с учетом физико-механических свойств разрабатываемых шламов. Обоснование технологии и технических средств для разработки шламов с целью их утилизации или захоронения является актуальной научно-практической задачей, обеспечивающей безопасность и эффективность горных работ, и тем самым оказывает существенное влияние на экономические, экологические и социальные показатели угледобычи Кемеровской области - Кузбасса.

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

1. Разработан методологический подход к определению принципа выбора, обоснования или расчета по современным методикам параметров технологии и режима гидротранспортирования для конкретных горнотехнических условий эксплуатации гидрокомплекса с учетом физико-механических свойств хвостов обогащения, которые обеспечат устойчивую и безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда при очистке шламохранилищ углеобогатительных фабрик.

2. На основании анализа горнотехнических условий и организации работы водношламового хозяйства углеобогатительных фабрик Кемеровской области - Кузбасса, в соответствии с разработанным методологическим подходом, произведен расчет параметров гидротранспорта, обеспечивающих устойчивую и безопасную работу земснаряда УГБ-2М, и определен главный параметр технологии – производительность гидрокомплекса по твердому (шламу) при очистке шламохранилищ углеобогатительных фабрик.

3. В соответствии с современным и многократно проверенным графоаналитическим методом определения действительной (фактической) производительности гидротранспортного оборудования по точке пересечения характеристик земснаряда и пульповода установлена производительность гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М при очистке шламохранилищ для различных горнотехнических условий его эксплуатации – расстояния транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диаметрах пульповода, т.е. установлен диапазон изменения его производительности в пределах зоны технического использования.

4. С целью оперативного планирования, для определения производительности гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М при очистке шламохранилища в производственных условиях, определены упрощенные эмпирические зависимости для прогнозирования изменения часовой производительности земснаряда по твердому (шламу) для каждого из технически возможных диаметров пульповода при переносе места выпуска гидросмеси и изменении расстояния ее перемещения или геодезической высоты подъема.

5. Статистическая оценка полученных зависимостей характеризует высокую степень достоверности результатов расчета по эмпирическим формулам:

- среднее линейное отклонение 1,33-2,54 $м^3$/ч;
- относительная ошибка 1,93-3,84%;
- среднеквадратическое отклонение 1,97- 3,32%;
- коэффициент вариации 4,17-5,80 %.

6. Разработана новая технология перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов, работающих на трубопровод, который попеременно используется как пульповод и водовод.

7. Установлена система уравнений, определяющая условия функционирования и параметры технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов в зависимости от физико-механических свойств хвостов углеобогащения.

8. Разработана блок-схема алгоритма расчета параметров системы гидротранспорта и оптимизации параметров технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов в зависимости от горнотехнических условий эксплуатации при различных диаметрах трубопровода для гидросмеси.

9. Определены параметры новой технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда для горнотехнических условий шламохранилища ОФ «Черниговская».

10. На основании анализа современного состояния водношламового комплекса гидротехнических сооружений ОФ «Черниговская» определены технические рекомендации по повышению эффективности его работы.

11. В соответствии с нормативами РФ «Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы по ФЕР 81-02-01-2001 (Сборник 1, Земляные работы)» произведен расчет основных технико-экономических показателей технологии очистки шламохранилища ОФ «Черниговская» при применении гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М.

12. С целью реализации технологии очистки шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда разработаны и переданы в проектный институт ООО «Сибгеопроект» рекомендации по совершенствованию работы водошламового комплекса гидротехнических сооружений ОФ «Черниговская» с применением гидроэлеваторного земснаряда.

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

1. Корякин, А. А. Производительность эжекторного земснаряда УГБ-2м при очистке шламонакопителя обогатительной фабрики // Маркшейдерия и недропользование. – 2022. – № 3(119). – С. 36-40.

2. Федотенко, В. С. Перспективы применения эжекторных земснарядов для очистки шламонакопителей обогатительных фабрик / В. С. Федотенко, А. А. Корякин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 9. – С. 15-28. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_9_0_15.

3. Корякин, А. А. Обоснование параметров технологии очистки илонакопителей углеобогатительных фабрик гидроэлеваторными земснарядами // Маркшейдерия и недропользование. – 2025. – Т. 25, № 4. – С. 41-46. – DOI 10.56195/20793332-2025-25-4-41-46.

4. Корякин, А. А. Параметры гидромеханизированной технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов // Маркшейдерия и недропользование. – 2025. – Т. 25, № 6. – С. 15-25. – DOI 10.56195/20793332-2025-25-6-15-25.

Личный вклад автора в работе [2], опубликованной в соавторстве, заключается в следующем:

- произведен расчет характеристики земснаряда УГБ-2М и определение «рабочей точки» графоаналитическим способом, позволившие определить эмпирические зависимости для расчета его производительности по твердому при разработке хвостов обогащения из шламохранилищ в различных горнотехнических условиях (расстояний транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диаметрах пульповода);

- обоснованы параметры новой технологии очистки шламонакопителя водошламового хозяйства углеобогатительных фабрик Кузбасса при применении гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М.

Ссылка на бланк согласия на обработку персональных данных лица, предоставляющего отзыв на автореферат диссертации:

https://cloud.mail.ru/public/vDhz/6ivLWmTr7

Подписано в печать 22.10.2026. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 583
630090, г. Новосибирск, ул. Демакова, 27, корп. 1.
ООО «АкадемПостер»