

Параметры гидромеханизированной технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогачительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов

А. А. Корякин✉

ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу»,

г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ rtn-kaa@mail.ru

Резюме. Представлены результаты исследований параметров гидромеханизированной технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогачительных фабрик Кузбасса с применением гидроэлеваторных земснарядов. Решен ряд задач, среди которых разработка методического подхода к обоснованию параметров технологии очистки шламохранилищ гидроэлеваторным земснарядом УГБ-2М, позволяющим учитывать влияния горнотехнических условий на его производительность, в том числе от расстояния транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диаметрах пульповода трубопровода для гидросмеси; создание новой технологии очистки шламохранилищ углеобогачительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда, определены условия ее функционирования и параметры в зависимости от физико-механических свойств хвостов углеобогащения; блок-схемы алгоритма расчета параметров системы гидротранспорта и оптимизации ее параметров с учетом горнотехнических условий эксплуатации. Также определены параметры новой технологии очистки шламохранилищ углеобогачительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда для горнотехнических условий шламохранилища ОФ «Черниговская», определены ее основные технико-экономические показатели и даны рекомендации по совершенствованию работы водошламового комплекса гидротехнических сооружений ОФ «Черниговская».

Ключевые слова: разработка угольных шламов, перемещения хвостов обогащения, гидроэлеваторный земснаряд УГБ-2М, алгоритм расчета параметров, производительность, горнотехнические условия

Для цитирования: Корякин А.А. Параметры гидромеханизированной технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогачительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(6):15-25. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-15-25>.

Parameters of hydromechanized technology for the development and movement of tailings from sludge impounds of coal processing plants using hydroelevator dredgers

A. A. Koryakin✉

Federal Budgetary Institution "Territorial Fund of Geological Information for the Siberian Federal District",

Novosibirsk, Russian Federation

✉ rtn-kaa@mail.ru

Abstract. This article presents the results of a study of the parameters of a hydromechanized technology for the development and movement of tailings from sludge storage ponds at Kuzbass coal preparation plants using hydroelevator dredgers. The study addresses a number of issues: a methodological approach has been developed to substantiate the parameters of the UGB-2M hydroelevator dredger cleaning sludge storage ponds. This approach takes into account the influence of mining conditions on its performance, including the distance the slurry is transported and the geodetic height of its lifting for various slurry pipeline diameters; a new technology for cleaning sludge storage ponds at coal preparation plants using a hydroelevator dredger has been developed. Its

operating conditions and parameters have been determined based on the physical and mechanical properties of the coal preparation tailings; a flowchart of an algorithm for calculating the parameters of the hydrotransport system and optimizing its parameters, taking into account mining operating conditions. Also defined the parameters of a new technology for cleaning sludge storage facilities of coal preparation plants using a hydraulic elevator dredger for the mining and technical conditions of the sludge storage facility of the Chernigovskaya processing plant were determined, its main technical and economic indicators were determined and recommendations were given for improving the operation of the water-sludge complex of the hydraulic structures of the Chernigovskaya processing plant.

Keywords: development of coal slurries, movement of enrichment tailings, hydraulic elevator dredger UGB-2M, algorithm for calculating parameters, productivity, mining conditions

For citation: Koryakin A.A. Parameters of hydromechanized technology for the development and movement of tailings from sludge impounds of coal processing plants using hydroelevator dredgers. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(6):15-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-15-25>.

Введение

Основная нагрузка по добыче угля в РФ приходится на Кемеровскую область, доля которой составляет 48 % от всего угля, добываемого в России. Особое внимание потребители уделяют качеству угля, что определило интенсивное строительство обогатительных фабрик в Кузбассе, в перспективе переработка угля будет развиваться опережающими темпами [1–5]. Стоит отметить, что в шламохранилища Кузбасса уложено более 30 млн т отходов углеобогащения. Они загрязняют окружающую среду, занимают большие территории и рано или поздно после их заполнения шлам придется утилизировать [6–8].

В этой связи 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 [9–12].

Анализ технологии и оборудования, которые применяются для разработки шламов из шламохранилищ углеобогажительных фабрик, показал, что они не соответствуют свойствам разрабатываемых пород и малоэффективны. Следовательно, обоснование технологии и технических средств для разработки шламов с целью их утилизации или захоронения является актуальной научно-практической задачей. В связи с тем что основой применяемых технологий является гидромеханизация, причем ее работа, учитывая климатические условия, является сезонной, а процесс углеобогащения круглогодичным, главным элементом шламового хозяйства является шламохранилище. В нем накапливаются хвосты обогащения за весь холодный период года, а в летний сезон он средствами гидромеханизации 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. Изучив опыт применения гидромеханизации, которая в Кузбассе хорошо зарекомендовала себя при проведении гидровскрышных работ, можно сказать, что научных рекомендаций по эффективной и безопасной гидромеханизированной технологии очистки шламохранилищ углеобогажительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда выявить не удалось. Специалистам известно, что намытые или сильно обводненные породы должны разрабатываться землесосным снарядом, который для большей эффективности может оснащаться специальными средствами:

гидрорыхлителем, фрезами и др. Применять землесосные снаряды при открытой добыче угля, к сожалению, непринято, учитывая сравнительно высокие затраты на их приобретение и сезонность работ.

Появились публикации о разработке обводненных запасов песчаногравийных месторождений строительных материалов на карьере Тучковского комбината строительных материалов (ТКСМ), где успешно эксплуатировался гидроэлеваторный земснаряд УГБ-2М [13, 14]. Такие земснаряды для разработки грунтов применялись еще во время строительства ряда Волжских гидротехнических сооружений [15]. Самостоятельное использование водоструйных насосов сдерживалось из-за их ограниченных возможностей. В первую очередь это сравнительно небольшие расстояния транспортирования, а также невысокий коэффициента полезного действия. На карьере ТКСМ не требовался существенный геодезический подъем и перемещение гидросмеси на значительное расстояние. Как правило, карта намыва строительных материалов находилась в пределах 300 м от забоя земснаряда, а величина геодезической высоты подъема гидросмеси не превышала 5 м.

Опубликованные данные по фактической (статистической) производительности гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М в условиях карьера ТКСМ показали, что при длине пульповода 250 м его производительность по твердому изменялась в диапазоне 17300–18090 м³ в месяц, а при увеличении дальности до 300 м сокращалась до величины 14100–15200 м³ [16].

Цель исследований: обоснование параметров гидромеханизированной технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогажительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов.

Объект исследований: шламохранилища углеобогажительных фабрик Кузбасса.

Идея работы заключается в том, что безопасная технология разработки и перемещения хвостов обогащения из шламонакопителей углеобогажительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов для их утилизации или захоронения может быть эффективно реализована путем выбора их параметров, которые соответствуют горнотехническим условиям эксплуатации с учетом физико-механических свойств разрабатываемых шламов.

Предмет исследования: параметры технологии и возможности технических средств гидромеханизированной разработки шламохранилища углеобогажительных фабрик при их работе в различных горнотехнических условиях.

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 углеобогаительных фабрик и применению гидромеханизированных технологий при открытой добыче полезных ископаемых; методы прикладной математики и математической статистики; технико-экономический анализ с использованием стоимостных параметров.

Полученные результаты и их обсуждение

На основании анализа взаимосвязи критериев горнотехнических условий и основных факторов процессов технологии очистки шламохранилищ с применением эжекторного земснаряда был разработан методологический подход к определению условий, обеспечивающих устойчивую и безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда при разработке хвостов обогащения (рис. 1).

С целью обоснования возможности применения гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М для переукладки шламов при разработке хвостов обогащения для очистки шламонакопителей обоганительных фабрик были произведены расчеты параметров гидротранспорта при различных значениях расстояния транспортирования и геодезической высоты подъема гидросмеси и его производительность с использованием соответствующих методик [17–21].

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

1. Величина действительной скорости перемещения пульпы в трубопроводе V_d должна быть больше либо равна величине критической скорости $V_{кр}$. Это условие исключает

заиливание (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 методологического подхода, включающего вышеперечисленные условия, был 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 (рис. 2).

В результате расчета по алгоритму для условий ОФ «Черниговская» была установлена совокупность значений фактической подачи земснаряда УГБ-2М при очистке шламохранилища, что позволило установить все технически возможные значения его производительности по твердому (шламу) при разных диаметрах пульповода (0,30; 0,35; 0,40; 0,45 м) и расстояния транспортирования гидросмеси от 300 до 2000 м при геодезической высоте подъема пульпы от 0 до 20 м. При этом производительность по твердому (шламу) находилась в пределах зоны технического использования и изменялась от 38,0 до 97,0 м³/ч [22].

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

Таким образом, разработан методологический подход



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

Fig. 1. Diagram of the relationship between the criteria of mining conditions and the main factors of technological processes of the technology for cleaning sludge storage facilities using an ejector dredger

к определению условий, обеспечивающих устойчивую и безопасную работу гидроэлеваторного земснаряда при разработке хвостов обогащения. На первом этапе определена величина значений диаметра пульпопровода, соответствующая условию: действительная скорость движения гидросмеси V_d должна быть больше или равной критической $V_{кр}$, что учитывает физико-механические свойства гидросмеси хвостов и исключает закупорку (заиливание) трубопровода. А на втором этапе для различных расстояний перемещения пульпы и геодезической высоты ее подъема рассчитывается соответствующая величина производительности гидротранспортной установки, что позволило установить

диапазон ее изменения в пределах зоны технического использования [22, 23].

Известно, что расчет параметров гидротранспорта является довольно сложной задачей. Поэтому для применения в производственных условиях и оценки перспектив изменения параметров гидрокомплекса в проекте, выполненном специалистами-проектировщиками, предлагаются установленные в работе эмпирические зависимости, позволяющие рассчитать производительность гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М в границах зоны его технического использования при различных диаметрах пульпопровода с учетом физико-механических свойств хвостов углеобогащения и горнотехнических условий.

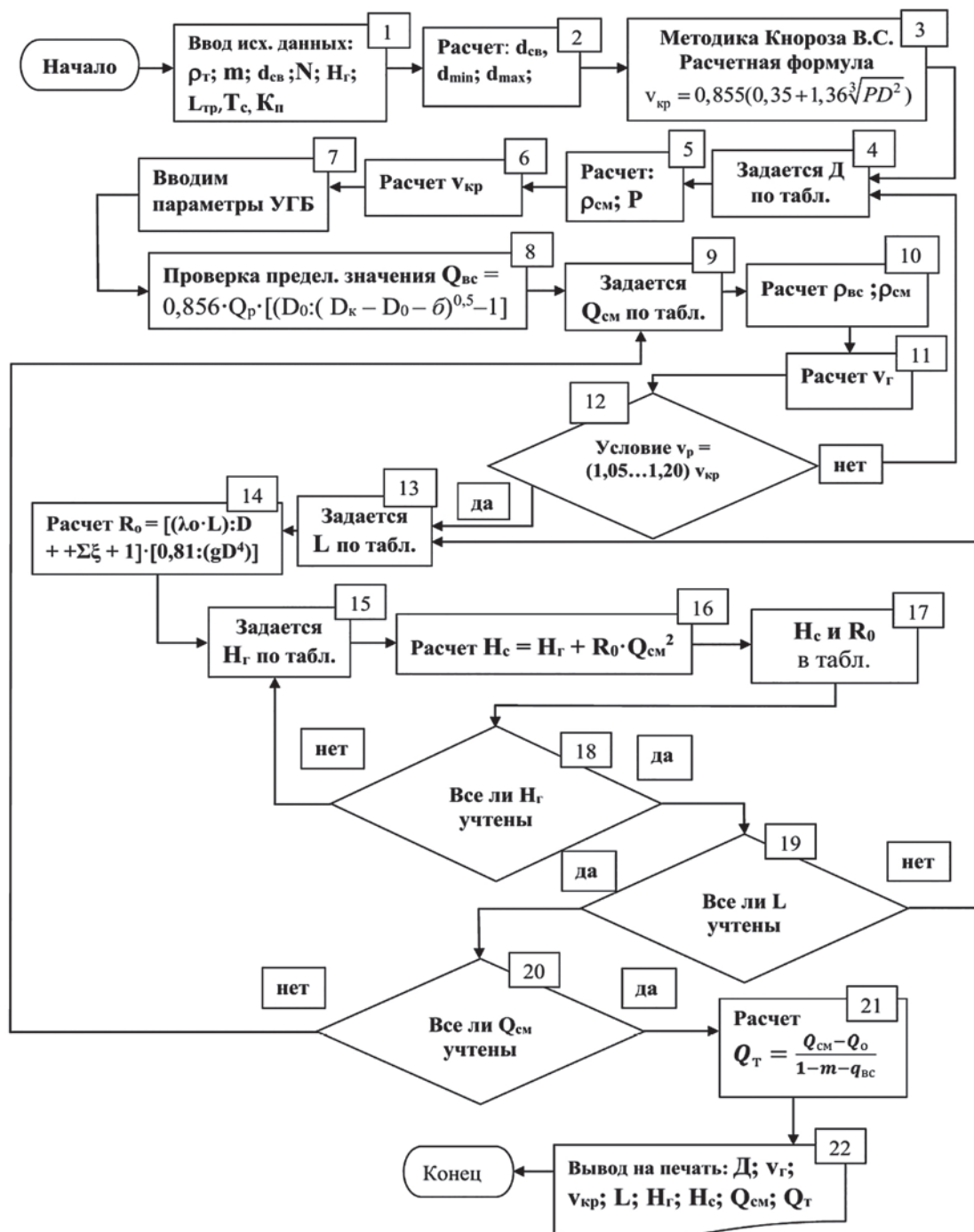


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета параметров системы гидротранспорта технологии очистки шламохранилищ углеобогажительных фабрик

с применением гидроэлеваторных земснарядов и его производительности в зависимости от горнотехнических условий работы /
Fig. 2. Block diagram of the algorithm for calculating the parameters of the hydraulic transport system for cleaning the sludge storage facilities of coal preparation plants using hydraulic elevator dredgers and its productivity depending on the mining and technical conditions of its operation

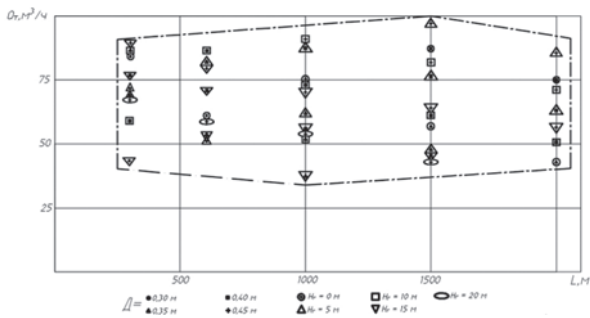


Рис. 3. Диапазон промышленного использования земснаряда УГБ-2М /
Fig. 3. Range of industrial use of the UGB-2M dredger

Построив графики зависимостей изменения производительности земснаряда для каждого из технически возможных диаметров пульповода (от $D = 0,30$ 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_r при одном и том же значении L зависит от диаметра пульповода D .

Учитывая довольно сложную методику определения часовой производительности земснаряда УГБ-2М при изменении вышеуказанных параметров L и H_r , которая включает

расчет параметров гидротранспорта и характеристики трубопровода (сети Нс), 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:

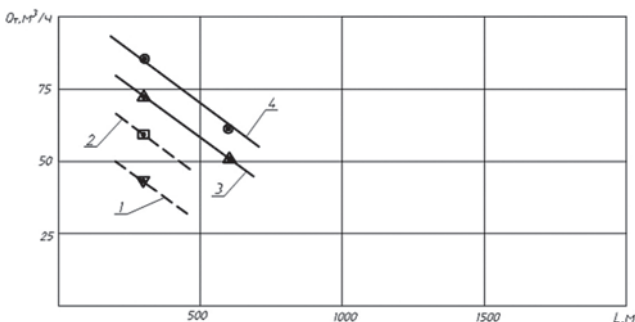
$$- \text{для } D = 0,30 \text{ м } Q_r = 108 - 2,7 \cdot H_r - 0,073 \cdot L; \quad (1)$$

$$- \text{для } D = 0,35 \text{ м } Q_r = 123 - 2,8 \cdot H_r - 0,043 \cdot L; \quad (2)$$

$$- \text{для } D = 0,40 \text{ м } Q_r = 126 - 2,6 \cdot H_r - 0,024 \cdot L; \quad (3)$$

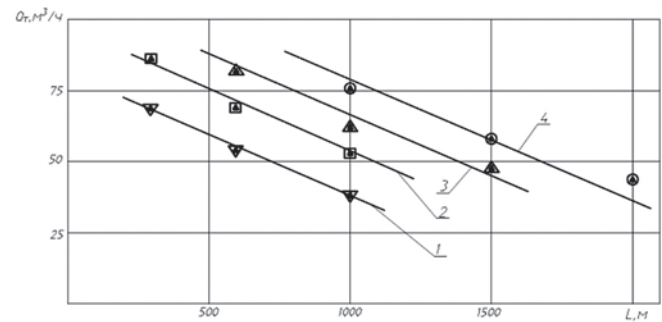
$$- \text{для } D = 0,45 \text{ м } Q_r = 139 - 3,1 \cdot H_r - 0,019 \cdot L. \quad (4)$$

Например, подставив в формулу (4) при диаметре пульповода $D = 0,45$ м значения геодезической высоты подъема гидросмеси $H_r = 5$ м и расстояние транспортирования $L = 1500$ м, можем определить величину производительности по твердому землесосного снаряда УГБ-2М в производственных условиях ОФ «Черниговской» – $Q_r = 95,0$ м³/ч.



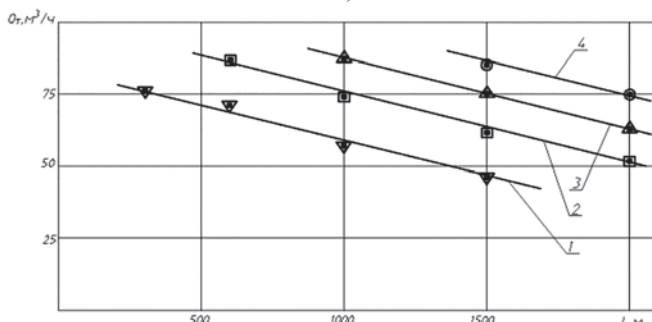
$$1 - Q_r = 65,0 - 0,073 \cdot L; \quad 2 - Q_r = 81,0 - 0,073 \cdot L; \\ 3 - Q_r = 94,5 - 0,073 \cdot L; \quad 4 - Q_r = 106,0 - 0,073 \cdot L;$$

а)



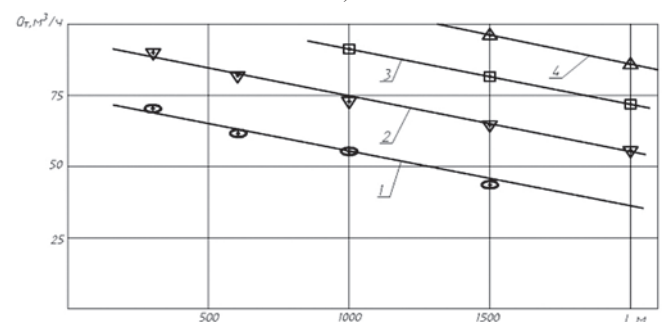
$$1 - Q_r = 81,0 - 0,043 \cdot L; \quad 2 - Q_r = 98,0 - 0,043 \cdot L; \\ 3 - Q_r = 110,0 - 0,043 \cdot L; \quad 4 - Q_r = 123,0 - 0,043 \cdot L;$$

б)



$$1 - Q_r = 84,0 - 0,024 \cdot L; \quad 2 - Q_r = 100,0 - 0,024 \cdot L; \\ 3 - Q_r = 113,0 - 0,024 \cdot L; \quad 4 - Q_r = 124,0 - 0,019 \cdot L;$$

в)



$$1 - Q_r = 74,0 - 0,019 \cdot L; \quad 2 - Q_r = 94,0 - 0,019 \cdot L; \\ 3 - Q_r = 110,0 - 0,019 \cdot L; \quad 4 - Q_r = 125,0 - 0,019 \cdot L;$$

г)

Рис. 4. Графики зависимостей изменения производительности земснаряда для каждого из технически возможных диаметров пульповода:

а – $D = 0,30$ м; б – $D = 0,35$ м; в – $D = 0,40$ м; г – $D = 0,45$ м /

Fig. 4. Graphs of the dependence of changes in the dredger productivity for each of the technically possible diameters of the slurry pipeline:

а – $D = 0,30$ м; б – $D = 0,35$ м; в – $D = 0,40$ м; г – $D = 0,45$ м

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 / Table 1

Результаты статистической оценки полученных зависимостей /
The results of the statistical evaluation of the dependencies obtained

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. Это значит, что для оперативного планирования на предприятиях определены эмпирические зависимости, позволяющие упростить расчет производительности гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М в границах зоны его технического использования для различных диаметров пульповода при изменении горно-технических условий [22, 23].

Совокупность результатов проведенных исследований позволила разработать новый способ решения задачи по повышению эффективности использования мобильных гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М для очистки шламохранилищ углеобогащательных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов, работающих на трубопровод, который попеременно используется как пульповод и водовод. Решение 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 [24].

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 плавучим 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.

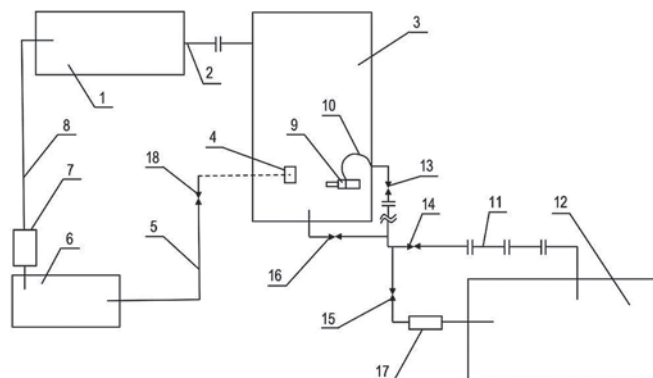


Рис. 5. Схема организации новой технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогащательных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов, работающих на трубопроводе, который попеременно используется как пульповод и водовод /
Fig. 5. Scheme of the organization of a new technology for the development and movement of enrichment tailings from sludge storage facilities of coal enrichment plants using hydraulic elevator dredgers operating on a pipeline that is alternately used as a slurry pipeline and a water pipeline

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 заиливания, 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 том числе и уже очищенную земснарядом часть общей емкости.

Условиями функционирования нового способа очистки шламохранилищ углеобогащательных 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

$$V_{\text{т.год}} = Q_{\text{т}} \times (T_{\text{с}} - t_{\text{в}}) \times K_3; \quad (5)$$

где $V_{\text{т.год}}$ – годововой объем шлама, намытого в шламохранилище, м^3 ;

$Q_{\text{т}}$ – производительность гидроэлеваторного земснаряда по твердому, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$T_{\text{с}}$ – продолжительность сезона гидромеханизации в регионе, ч;

$t_{\text{в}}$ – продолжительность работы системы водоснабжения за сезон, ч;

K_3 – 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:

$$V_{\text{т.год}} \times q = V_{\text{т.год}} \times (T_{\text{с}} : T_{\text{оф}}) \times q_{\text{ф}} + V_{\text{п}} - V_{\text{н}} - V_{\text{ф}} - V_{\text{зп}} + V_{\text{с}} + V_{\text{о}}, \quad (6)$$

где $q_{\text{ф}}$ – удельный расход воды в гидросмеси, поступающей с обогатительной фабрики, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

q – удельный расход воды при разработке пород земснарядом, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

$T_{\text{с}}$ – продолжительность сезона гидромеханизации в регионе, ч;

$T_{\text{оф}}$ – годовой фонд рабочего времени ОФ, ч;

$V_{\text{п}}$ – величина подпитки по пульповоду земснаряда, м^3 ;

$V_{\text{н}}$ – величина потерь на испарение, м^3 ;

$V_{\text{ф}}$ – потери воды на фильтрацию, м^3 ;

$V_{\text{зп}}$ – потери воды в укладываемой породе (заполнение пор), м^3 ;

$V_{\text{с}}$ – величина поверхностного стока, м^3 ;

$V_{\text{о}}$ – остаточный запас воды к началу сезона, м^3 .

3. Требуемая величина подпитки по пульповоду земснаряда должна обеспечиваться производительностью принятого водяного насоса $Q_{\text{в}}$ (7) и возможностью прокачки по трубопроводу (8):

$$V_{\text{п}} = t_{\text{в}} \times N \times Q_{\text{в}} \times K_3; \quad (7)$$

$$Q_{\text{в}} \leq 900 \times \pi \times D^2 \times v; \quad (8)$$

где $Q_{\text{в}}$ – производительность водяного насоса системы подпитки, $\text{м}^3/\text{ч}$;

N – количество земснарядов, единицы (целочисленное значение);

K_3 – коэффициент использования оборудования системы водоснабжения за сезон, в долях единицы;

D – диаметр трубопровода (пульповода земснаряда), м;

v – скорость движения воды в трубопроводе, оптимальное значение которой обычно составляет $2 \div 2,5$ м/с.

Соблюдение всех трех условий, то есть система уравнений (9) с неизвестными: N , $t_{\text{в}}$, $V_{\text{п}}$, $Q_{\text{в}}$, определяет условия функционирования новой, предлагаемой технологии очистки шламонакопителя углеобогатительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда, который работает на трубопровод, попеременно использующийся как пульповод и водовод:

$$\begin{cases} V_{\text{т.год}} = Q_{\text{т}} \times N \times (T_{\text{с}} - t_{\text{в}}) \times K_3; \\ V_{\text{т.год}} \times q = V_{\text{т.год}} \times (T_{\text{с}} : T_{\text{оф}}) \times q_{\text{ф}} + V_{\text{п}} - V_{\text{н}} - V_{\text{ф}} - V_{\text{зп}} + V_{\text{с}} + V_{\text{о}}; \quad (9) \\ V_{\text{п}} = t_{\text{в}} \times N \times Q_{\text{в}} \times K_3; \\ Q_{\text{в}} \leq 900 \times \pi \times D^2 \times v. \end{cases}$$

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 (рис. 6), которая является продолжением алгоритма, представленного на рисунке 2.

Обсуждение результатов исследований, предложения по практическому применению

В результате проведенных исследований 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 водошламового 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» (принимая $D = 0,45$ м, $L = 2,0$ км, $H_{\text{г}} = 10$ м, $Q_{\text{т}} = 72,0$ $\text{м}^3/\text{ч}$) позволило установить следующие основные параметры этой технологии, которые обеспечивают баланс процессов и устойчивую безаварийную работу всего гидрокомплекса:

– продолжительность сезона гидромеханизации в регионе $T_{\text{с}} = 4032$ ч;

– производительность гидроэлеваторного земснаряда по твердому $Q_{\text{т}} = \text{м}^3/\text{ч}$;

– удельный расход воды на разработку и транспортирование шлама земснарядом составляет $q = 6,5$ $\text{м}^3/\text{м}^3$;

– удельный расход воды, поступающей с обогатительной фабрики, составляет $q_{\text{ф}} = 6,3$ $\text{м}^3/\text{м}^3$;

– максимальное значение времени на работу системы подпитки без ущерба производительности земснаряда $t_{\text{в}} = 559,778$ ч;

– величина подпитки по пульповоду земснаряда $V_{\text{п}} = 750186,84$ $\text{м}^3/\text{сезон}$;

– производительность принятого водяного насоса $Q_{\text{в}} = 1486,13$ $\text{м}^3/\text{ч}$;

– общий объем воды, который может быть подан по системе подпитки, $V_{\text{п}} = 750186,84$ $\text{м}^3/\text{сезон}$;

– объема шламов, который на протяжении года укладывается ОФ «Черниговская» в шламохранилище и должен быть

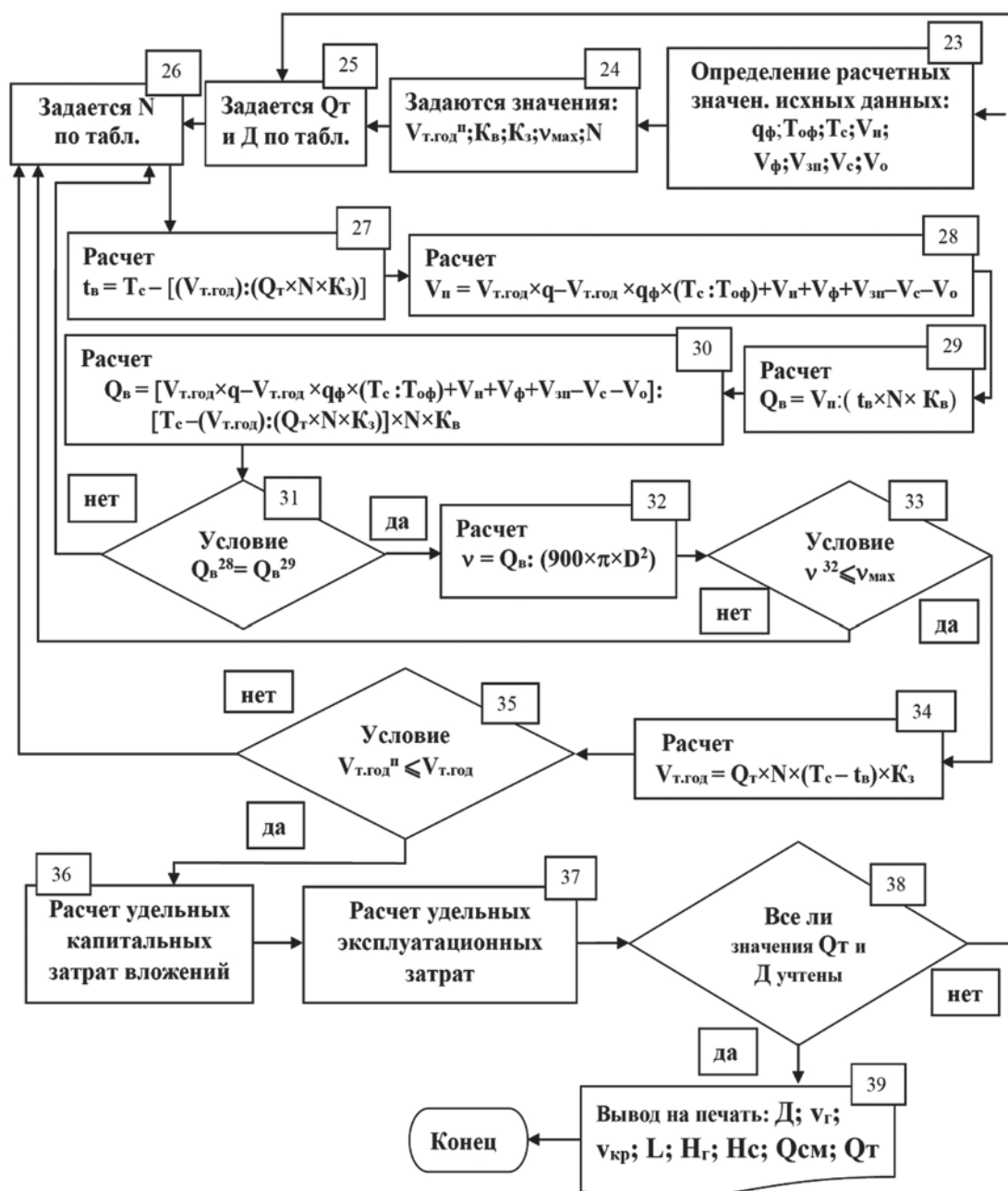


Рис. 6. Блок-схема алгоритма оптимизации параметров технологии очистки шламохранилищ углеобогажительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов /

Fig. 6. Block diagram of the algorithm for optimizing the parameters of the technology for cleaning sludge storage facilities of coal preparation plants using hydraulic elevator dredgers

разработан гидроэлеваторным земснарядом за сезон гидро-механизации, $V_{\text{т.год}} = 199987,2 \approx 200$ тыс. м³/сезон.

Таким образом, требуемая для условий ОФ «Черниговская» (производительность – 200 тыс. м³ за сезон) технология разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилища ОФ может быть реализована с применением гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М, работающего на трубопровод, который попеременно используется как пульповод и водовод. При этом обеспечивается сокращение металлоемкости на 174 тонны и исключаются затраты на монтаж и обслуживание этого трубопровода.

Следовательно, установленная система уравнений (9), определяющая условия функционирования новой технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогажительных фабрик с применением ги-

дроэлеваторных земснарядов, работающих на трубопровод, который попеременно используется как пульповод и водовод, гарантирует устойчивую и эффективную работу комплекса в условиях ОФ «Черниговская».

Анализируя принятую в настоящее время организацию работы водошламового хозяйства ОФ «Черниговская», отметим, что прежде всего обращает на себя внимание принципиально неправильный выбор технических средств гидро-механизации для разработки шламов, намытых (уложенных) в шламохранилище «Техническая вода». Использование гидромонитора ГМД-250 для размыва пород требует формирования уступа, который разрабатывается встречным или боковым забоем, с «подрезкой», что вызывает его обрушение и разрушение пород за счет сил гравитации. Размыв гидромонитором поверхностного слоя шламов малоэффективен.

Плотность гидросмеси, которую удастся создать при гидромониторном размыве забоя (по опыту разработки четвертичных вскрышных работ в Кузбассе), составляет 1,12–1,14 т/м³ ($T : Ж \approx 1 : 7$). Когда разработка шламов осуществляется принятым способом, соотношение $T:Ж$, вероятно, составляет $\approx 1:15$! Фактически землесос перекачивает не угле-шламовую смесь, а грязную воду, либо землесос ЗГМ-2М фактически перекачивает гидросмесь, поступающую с ОФ.

Учитывая полученные результаты исследования, возможности гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М для очистки шламохранилищ углебогатительных фабрик, предлагается новая структура гидромеханизированного водошламового комплекса ОФ «Черниговская».

В период сезона гидромеханизации (для Кузбасса это конец апреля – начало ноября) подача шламовых вод с ОФ осуществляется не в шламохранилище «Техническая вода», а на карту № 1 шламового отстойника, которая очищена от шлама и находится в резерве (рис. 7). Там формируется емкость, из которой гидросмесь шламов может забираться землесосом ЗГМ-2М, оснащенный зумифовым гидромонитором ГМД-250, главная задача которого формировать зону всоса и очищать ее при запуске осевших шламов. В эту же емкость одновременно подается гидросмесь от гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М, который располагается в шламоприемной емкости шламохранилища «Техническая вода» и производит размыв ранее уложенных шламов. Землесос ЗГМ-2М по пульповоду перекачивает угле-шламовую смесь на карты инфильтрации, расположенные на отвале Чесноковском. На них происходит обезвоживание поступающей смеси, а после заполнения карты и ее последующего осушения, выполняются работы по очистке карты от шлама, его вывозка и складирование.

В зимний период подача шламовых вод с ОФ осуществляется, как и раньше, в шламохранилище «Техническая вода».

Предлагаемая новая структура гидромеханизированного водоплавающего комплекса ОФ «Черниговская» с применением гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М в виде

«Рекомендаций по совершенствованию технологии очистки шламохранилищ углеобогадательной фабрики гидроэлеваторным земснарядом УГБ-2М в условиях работы водосламового 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 возможность очистки всего водоема «Техническая вода».

Заключение

В статье изложены научно обоснованные технические и технологические решения по обоснованию параметров гидромеханизированной технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогачительных 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.

1. На основании анализа горнотехнических условий и организации работы водошламового хозяйства углеобогательных фабрик 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 углеобогательных фабрик для различных горнотехнических условий его эксплуатации: расстояния транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диаметрах пульповода.

2. С целью оперативного планирования и определения производительности гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М

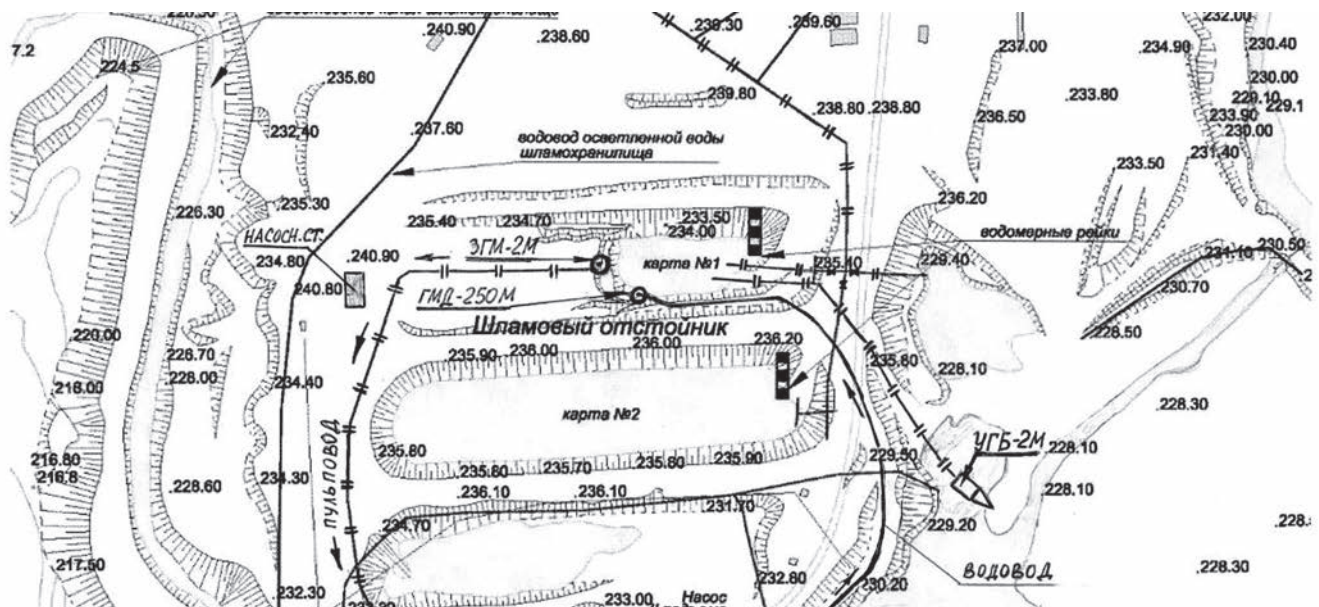


Рис. 7. Предлагаемая схема гидротранспортирования шламов землесосом ЗГМ-2М при одновременном поступлении гидросмеси с обогатительной фабрики и от земснаряда УГБ-2М /

Fig. 7. Proposed scheme for hydrotransportation of sludge by the ZGM-2M dredger with simultaneous delivery of hydraulic mixture from the OF and from the UGB-2M dredger

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 изменения расстояния ее перемещения или геодезической высоты подъема.

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

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

6. Разработана блок-схема алгоритма расчета параметров системы гидротранспорта и оптимизации параметров технологии разработки и перемещения хвостов обогащения из шламохранилищ углеобогажительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов в зависимости от горнотех-

нических условий эксплуатации при различных диаметрах трубопровода для гидросмеси.

7. Рекомендации по совершенствованию работы вододшамового комплекса гидротехнических сооружений ОФ «Черниговская» с применением гидроэлеваторного земснаряда переданы в проектный институт ООО «Сибгеопроект». Годовой экономический эффект при применении для отработки хвостов ОФ «Черниговская» гидроэлеваторным земснарядом УГБ-2М составит более трех миллионов рублей в год.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований параметров процессов новой технологии очистки шламохранилищ углеобогажительных фабрик с применением гидроэлеваторного земснаряда и условия функционирования гидрокомплекса с учетом технических характеристик принятого оборудования, горнотехнических условий эксплуатации и физико-механических свойств шламов.

2. Результаты исследований могут быть полезными в качестве рекомендаций по совершенствованию системы вододшламового комплекса гидротехнических сооружений ОФ разреза АО «Черниговец» с применением гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Суфиянов Р.Ш., Катайлов А.В., Гольберг Г.Ю. Экологический аспект основных направлений повышения эффективности ресурсосбережения в сфере топливпереработки. *Кокс и химия*. 2010; 2: 39-43.
Sufyanov R.Sh., Katalaymov A.V., Golberg G.Yu. Ecological aspect of the main directions to increase resource-saving efficiency in fuel processing. *Coke and Chemistry*. 2010; 2: 39-43. (In Russ.).
- Рашевский В. Обогащение угля – один из главных приоритетов стратегии СУЭК. *Уголь*. 2016; 8 (1085): 70.
Rashevsky V. Coal beneficiation is one of the key priorities of SUEK strategy. *Coal*. 2016; 8 (1085): 70. (In Russ.).
- Ефимова Н.В. Анализ состояния и основные тенденции добычи, обогащения и экологии потребления энергетических углей в России. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017; 1: 83-91.
Efimova N.V. Analysis of the state and main trends in mining, beneficiation and environmental aspects of energy coal consumption in Russia. *Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2017; 1: 83-91. (In Russ.).
Жолобова Ю.С., Сафронов А.Е., Куций Н.А. и др. Минимизация воздействия на окружающую среду при применении новых технологий обогащения углей и утилизации отходов добычи. *Горный журнал*. 2016; 5: 109-112. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.05.18>.
Zholobova Yu.S., Safronov A.E., Kushchiy N.A., et al. Minimizing environmental impact when using new coal beneficiation technologies and mining-waste utilization. *Mining Journal*. 2016; 5: 109-112. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.05.18>.
- Харионовский А.А., Данилова М.Ю. О методических подходах к переходу предприятий угольной промышленности на систему нормирования сбросов загрязняющих веществ в водные объекты по технологическим показателям. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2018; 10 (130): 50-61.
Kharionovskiy A.A., Danilova M.Yu. Methodological approaches to the transition of coal-industry enterprises to a discharge-standard system based on technological indicators. *Water Purification. Water Treatment. Water Supply*. 2018; 10 (130): 50-61. (In Russ.).
- Ефимов В.И., Сидоров Р.В., Корчагина Т.В. К вопросу образования отходов производства от предприятий угольной отрасли в Кузбассе. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017; 1: 85-96.
Efimov V.I., Sidorov R.V., Korchagina T.V. On the issue of waste generation by coal-industry enterprises in Kuzbass. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 1: 85-96. (In Russ.).
- Белокопытов П.И., Сазыкин Г.П., Синецкий Б.А. Обогащение углей в Кузбассе. *ТЭК и ресурсы Кузбасса*. 2002; 4/8: 25-29.
Belokopytov P.I., Sazykin G.P., Sineckiy B.A. Coal Enrichment in the Kuzbass. *Fuel and Energy Complex and Resources of the Kuzbass*. 2002; 4/8: 25-29. (In Russ.).
- Белокопытов П.И., Сазыкин Г.П. Решение экологических проблем Кузбасса в проектах обогатительных фабрик. *ТЭК и ресурсы Кузбасса*. 2003; 4/13: 17-19.
Belokopytov P.I., Sazykin G.P. Solving environmental problems of Kuzbass in projects of beneficiation plants. *Fuel and Energy Complex and Resources of Kuzbass*. 2003; 4/13: 17-19. (In Russ.).
- Серегин А.И., Горлов Е.Г. Разработка технологических схем переработки угольных шламов в товарную продукцию. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008; 5: 241-244.
Seregin A.I., Gorlov E.G. Development of process flowsheets for converting coal slurries into marketable products. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2008; 5: 241-244. (In Russ.).
- Горлов Е.Г., Серегин А.И., Ходаков Г.С. Условия реализации шламов угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в виде суспензионного топлива. *Химия твердого топлива*. 2007; 6: 51-57.
Gorlov E.G., Seregin A.I., Khodakov G.S. Conditions for utilizing slurries of coal-mining and coal-processing enterprises as suspension fuel. *Solid Fuel Chemistry*. 2007; 6: 51-57. (In Russ.).

11. Мосикян А.В. Признаки отнесения накопителей гетерофазных отходов к гидротехническим сооружениям. *Управление техносферой*. 2021; 4 (2): 221-228. <https://doi.org/10.34828/UdSU.2021.30.58.010>.
Mosikyan A.V. Criteria for classifying storages of heterophase waste as hydraulic-engineering structures. *Technosphere Management*. 2021; 4 (2): 221-228. (In Russ.). <https://doi.org/10.34828/UdSU.2021.30.58.010>.
12. Кононенко Е.А., Белоусов К.С. Анализ работы и возможностей гидроэлеваторного земснаряда в условиях карьера Тучковского комбината строительных материалов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009; 9: 210-214.
Kononenko E.A., Belousov K.S. Analysis of performance and capabilities of a hydro-elevator dredger at the Tuchkovo Construction Materials Plant quarry. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2009; 9: 210-214. (In Russ.).
13. Бабичев Н.И., Дворовенко А.Е. Конструкция и опыт эксплуатации новых типов гидродобычных установок для разработки обводненных залежей песчано-гравийных смесей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006; 4: 135-142.
Babichev N.I., Dvorenko A.E. Design and operational experience of new hydraulic-mining units for water-saturated sand-gravel deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2006; 4: 135-142. (In Russ.).
14. Федотенко В.С., Корякин А.А. Перспективы применения эжекторных земснарядов для очистки шламонакопителей обогатительных фабрик. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022; (9): 15-28. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_9_0_15.
Fedotenko V.S., Koryakin A.A. Prospects for using ejector dredgers to clean tailings ponds of beneficiation plants. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2022; (9): 15-28. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_9_0_15.
15. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы и другие струйные аппараты. Москва, 1950: 348.
Kamenev P.N. Hydroelevators and other jet devices. Moscow, 1950: 348. (In Russ.).
16. Бекренев С.В., Белоусов К.С. Тучковский комбинат строительных материалов: история, современное состояние и опыт решения производственных задач. *Горный журнал*. 2007; 1: 33-35.
Bekrenev S.V., Belousov K.S. Tuchkovo Construction Materials Plant: history, current state and experience in solving production tasks. *Mining Journal*. 2007; 1: 33-35. (In Russ.).
17. Кнороз В.С. Движение гидросмесей в напорных трубопроводах и метод расчета. *Известия ВНИИГ*. Ленинград, 1941: 256.
Knoroz V.S. Movement of hydraulic mixtures in pressure pipelines and calculation method. *News VNIIG*. Leningrad 1941: 256. (In Russ.).
18. Юфин А.П. Гидромеханизация: учебное пособие для вузов. Москва, 1974: 223.
Yufin A.P. Hydromechanization: textbook for universities. Moscow, 1974: 223. (In Russ.).
19. Гришко А.П. Стационарные машины карьеров. Москва, 1982: 224.
Grishko A.P. Stationary machines of open-pit mines. Moscow, 1982: 224. (In Russ.).
20. Коржаев С.А. Теоретические основы расчета гидроэлеваторов. *Известия АН СССР. Отделение технических наук*. 1939; 6: 31-54.
Korzhaev S.A. Theoretical foundations of hydro-elevator calculation. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Technical Sciences Section*. 1939; 6: 31-54. (In Russ.).
21. Коржаев С.А. Пути улучшения работы гидроэлеваторов и метод их расчета. Москва, 1961: 12.
Korzhaev S.A. Ways to improve hydro-elevator performance and their calculation method. Moscow, 1961: 12. (In Russ.).
22. Корякин А.А. Производительность эжекторного земснаряда УГБ-2м при очистке шламонакопителя обогатительной фабрики. *Маркшейдерия и недропользование*. 2022; 3: 36-41.
Koryakin A.A. Productivity of the UGB-2m ejector dredger during cleaning of a beneficiation plant tailings pond. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2022; 3: 36-41. (In Russ.).
23. Федотенко В.С., Корякин А.А. Перспективы применения эжекторных земснарядов для очистки шламонакопителей обогатительных фабрик. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022; 9: 15-28. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_9_0_15.
Fedotenko V.S., Koryakin A.A. Prospects for using ejector dredgers to clean tailings ponds of beneficiation plants. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2022; 9: 15-28. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_9_0_15.
24. Корякин А.А. Обоснование параметров технологии очистки илонакопителей углеобогатительных фабрик гидроэлеваторными земснарядами. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025; 4: 41-46. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-4-41-46>.
Koryakin A.A. Substantiation of technological parameters for cleaning sludge ponds of coal-processing plants by hydro-elevator dredgers. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025; 4: 41-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-4-41-46>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Артём Александрович Корякин –
директор ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу», г. Новосибирск, Российская Федерация;
e-mail: rtn-kaa@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.08.2025
Поступила после рецензирования: 10.12.2025
Принята к публикации: 18.12.2025

ABOUT THE AUTHOR

Artem A. Koryakin –
Director, Federal Budgetary Institution "Territorial Fund of Geological Information for the Siberian Federal District",
Novosibirsk, Russian Federation; e-mail: rtn-kaa@mail.ru

Article info

Received: 22.08.2025
Revised: 10.12.2025
Accepted: 18.12.2025