

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЖЕКТОРНЫХ ЗЕМСНАРЯДОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ШЛАМОНАКОПИТЕЛЕЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

В.С. Федотенко¹, А.А. Корякин¹

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия,
e-mail: fedotenko_v@ipkonran.ru

Аннотация: На основании анализа перспектив развития добычи угля и повышения требований к качеству угля определена тенденция интенсивного строительства обогатительных фабрик (ОФ) в Кемеровской области, что обуславливает необходимость развития опережающими темпами современных способов разработки, перемещения и утилизации угольных шламов. На основании задачи, которые требуется решить для совершенствования работы водосламового хозяйства ОФ Кузбасса, учитывая результаты работы гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М при доработке обводненных запасов песчано-гравийных месторождений в Московской области, принято решение аналитическими расчетами обосновать возможности применения этого оборудования для разработки и гидротранспортирования гидросмеси шлама с целью его утилизации. Основанием этой возможности является различие физико-механических характеристик гидросмесей шлама и песчано-гравийной смеси, что должно обеспечить заметное увеличение производительности земснаряда при разработке хвостохранилищ. Методический подход, произведенные расчеты и установленный диапазон изменения часовой производительности земснаряда УГБ-2М по твердому для различных горнотехнических условий его эксплуатации – расстояний транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диаметрах пульповода — позволяют считать перспективным применение мобильных эжекторных земснарядов для очистки шламонакопителей ОФ в Кузбассе. Установлена зона технического использования гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М при разработке хвостов обогащения. Для оперативного планирования работы техническим службам предприятия в целях определения производительности гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М при очистке илонакопителя в производственных условиях определены упрощенные эмпирические зависимости с целью прогнозирования изменения часовой производительности земснаряда по твердому (шламу) относительно каждого из технически возможных диаметров пульповода при переносе места выпуска гидросмеси и изменении расстояния ее перемещения или геодезической высоты подъема. Статистическая оценка полученных зависимостей характеризует высокую степень достоверности результатов расчета по эмпирическим формулам.

Ключевые слова: углеобогащение, гидромеханизация, шламонакопители, разработка угольных шламов, производительность, гидроэлеваторный земснаряд, зона технического использования, эмпирические зависимости часовой производительности.

Для цитирования: Федотенко В. С., Корякин А. А. Перспективы применения эжекторных земснарядов для очистки шламонакопителей обогатительных фабрик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 9. – С. 15–28. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_9_0_15.

Application prospects for ejector dredges in cleaning of sludge collectors at processing plants

V.S. Fedotenko¹, A.A. Korjakin¹

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: fedotenko_v@ipkonran.ru

Abstract: From the analysis of growth prospects in coal production and increased coal quality standards, this study defines a trend of high-rate construction of processing plants (PP) in the Kemerovo Region, which governs rapid development of the advanced technologies for coal mining/handling and sludge management. According to the objectives to be met to improve operation of water-and-sludge facilities at PP in Kuzbass, and with regard to performance of hydraulic dredge UGB-2M in re-excavation of watered sand and gravel deposits in the Moscow Region, it was decided to analytically justify applicability of this equipment in extraction and hydraulic handling of sludge for its further utilization. The basis of such applicability is the difference in physical and mechanical characteristics of sludge and sand/gravel mix, which should ensure a noticeable increase in productivity of the dredge in operation at tailings ponds. The technical approach, appropriate computation and the found variation range of the hourly solid intake of dredge UGB-2M in different geotechnical conditions of the machine operation—haulage distance and geodetic hoist height at different diameters of sludge pipe, make it possible to consider promising to use mobile ejector dredges for cleaning of sludge collectors at PP in Kuzbass. The industrial application range of hydraulic dredges UGB-2M in extraction of tailings ponds is determined. For operational planning services, to determine productivity of hydraulic dredge UGB-2M in cleaning of a sludge pit at production field, the simplified empirical relations are proposed to predict variation in the hourly solid (sludge) intake of the dredge per each feasible diameter of sludge pipe at displacement of the sludge outlet point or upon changing the sludge haulage distance or geodetic height. The statistical assessment of the relations shows high reliability of calculations from these empirical formulas.

Key words: coal preparation, hydraulic mining, sludge collectors, coal sludge management, productivity, hydraulic dredge, industrial application range, empirical hourly productivity relations.

For citation: Fedotenko V. S., Korjakin A. A. Application prospects for ejector dredges in cleaning of sludge collectors at processing plants. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(9):15-28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_9_0_15.

Введение

Государственная энергетическая стратегия России на период до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009. № 1715р. предусматривает увеличение на 100 млн т годовой добычи угля к 2030 г. и рост производительности труда в 5 раз. Планируется осуществление модернизации

на основе полного обновления производственных мощностей и повышение уровня промышленной и экологической безопасности [1 – 3]. Вклад Кемеровской области составляет 48% от всего угля, что добывается в России. В результате этого там уже сейчас в зоне действия промышленных объектов, связанных с разработкой угольных место-

рождений, площадь нарушенных земель — природных комплексов и естественных ландшафтов — увеличилась до 60—100 тыс. га [4].

Особое внимание потребители уделяют качеству угля, что определило интенсивное строительство ОФ в Кузбассе, и в перспективе переработка угля будет развиваться опережающими темпами, а вопросы утилизации угольных шламов из хвостохранилищ потребуют должного к ним внимания.

Известно, что в результате обогащения углей образуются отходы — обводненные шламы и тонкие илы (мелкодисперсный и высокозольный продукт), в твердой части которых, кроме органического вещества углей, содержится от 30 до 80 масс.% минеральной части. Их влажность — содержание воды — до 50 масс.%, что затрудняет использование. Применяемая в настоящее время переработка угольных шламов малоэффективна. Обычно угольный шлам находится в шламовых водах на эмпирические, сначала часть воды удаляется в пирамидальных отстойниках или в сгустительных воронках. Слив используется как техническая вода, возвра-

щаемая в цикл обогащения. Сгущенный продукт обезвоживается на грохотах и осадительных центрифугах. Он добавляется к необогащенному отсеvu и используется в виде топлива, что не является рациональным применением этого продукта [5].

В последнее время из-за повышения зольности добываемых углей (а иногда в результате несовершенства технологии его извлечения из недр содержание мелких фракций заметно увеличивается) возможностей использования механизированных отстойников оказывается уже недостаточно, поэтому на ОФ хвосты обогащения сбрасываются в шламонакопители.

В шламонакопителях Кузбасса находится более 25 млн т отходов углеобогащения [6].

Они загрязняют окружающую среду, занимают большие территории, и рано или поздно после их заполнения шлам придется утилизировать.

Цель данной работы — исследовать существующие способы очистки шламонакопителей углеобогатительных фабрик и обосновать высокоэффективную технологию разработки и перемещения



Рис. 1. Намыв шламов в хвостохранилище (Хазмина Т. Угольный шлам: вторая жизнь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (дата обращения: 22.03.2022))

Fig. 1. Accretion of sludge in tailings pond

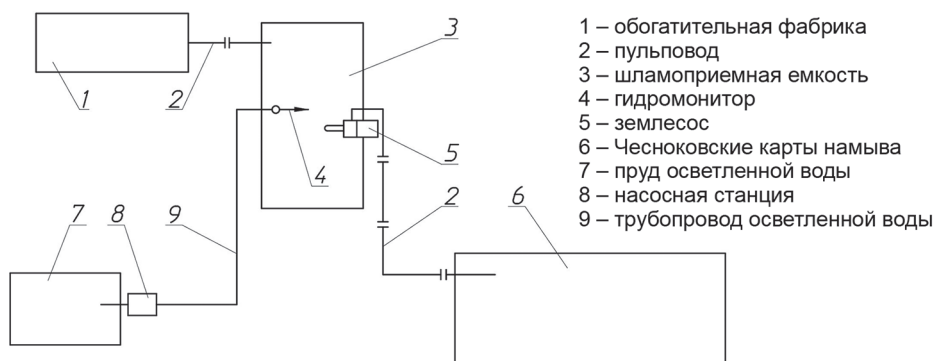


Рис. 2. Принципиальная схема обустройства водошламового хозяйства ОФ «Черниговская»
 Fig. 2. Management flow chart for water-and-sludge facilities at Chernigovskaya PP

отходов обогащения мобильными техническими средствами для их дальнейшей переработки и утилизации.

Анализ современного состояния вопроса. На углеобогащательных фабриках получили широкое применение илонакопители (рис. 1), куда сбрасываются отходы флотации, илистые шламы, а также складироваются твердые частицы (хвосты) и осветляется вода для повторного использования в технологических процессах.

Илонакопитель размещается как можно ближе к ОФ. Желательно, чтобы его вместимость могла обеспечивать прием сбрасываемых с фабрики отходов флотации, илов в течение 10 лет.

В состав илонакопителя входят системы гидротранспорта загрязненных и осветленных вод, сооружения для прие-

ма и отвода атмосферных вод, ограждающие плотины, дамбы, водосборные сооружения [7 – 8].

В подобных условиях функционирует ОФ «Черниговская», входящая в состав АО «Черниговец». Достаточно распространенная в Кузбассе схема ее объектов водошламового хозяйства показана на (рис. 2). Шлам в объеме около 200 тыс. м³ в год транспортируется в шламоприемную емкость, где происходит процесс его накопления, который длится, как правило, 8 – 9 месяцев. В теплый период времени шламоприемная емкость подвергается размыву с использованием гидромонитора ГМД-250, а землесосы ЗГМ-2м перекачивают угле-шламовую смесь по трубопроводу на шламовые карты, расположенные на отвале Чесноковский. На них происхо-

Таблица 1

Гранулометрический состав и зольность шлама
Grain size composition and ash content of sludge

№ п/п	Класс, мм	Вес, г	Выход классов, %	Ad, %
1	+0,5	0,038	10,4	13,2
2	0,3 – 0,5	0,014	3,9	14,9
3	0,2 – 0,3	0,034	9,4	15,5
4	0,1 – 0,2	0,046	12,6	22,2
5	-0,1	0,232	63,7	41,2
6	Итого	0,364	100	32,5



Рис. 3. Гидроэлеваторный земснаряд УГБ-2М на карьере ТКСМ

Fig. 3. Hydraulic dredge UGB-M at TKSM Open Pit Mine

дит обезвоживание поступающей смеси, а после заполнения карты и ее последующего осушения выполняются работы по очистке карты от шлама, его вывозка и складирование. После чего карта готова к приему очередной партии водошламовой смеси. Чистая вода, необходимая для создания давления на гидромониторе и получения необходимой по условию гидротранспортирования водошламовой смеси, поступает по трубам из водного объекта, расположенного вблизи отвала, принадлежащего ОАО «КРУ» – «Разрез Кедровский».

Характеристика складированного шлама представлена в табл. 1, его влажность 18%; средняя зольность 20,7%. Состав водошламовой смеси 1:9 (10% шлам, 90% вода), средневзвешенный диаметр твердых частиц $d_{cp} = 0,168$ мм.

Анализ опыта проведения работ

Обширный опыт применения гидромеханизации с целью создания условий вовлечения в переработку природного и техногенного минерального сырья описан в работах [9–11].

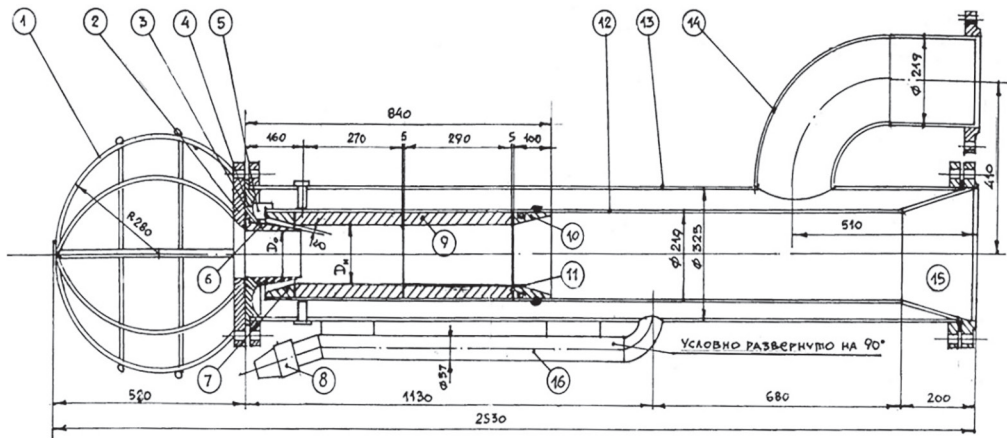
В определенных условиях для разработки грунтов во время строительства ряда Волжских гидротехнических сооружений эффективно применялись гид-

роэлеваторные земснаряды. Широкое распространение опыта проведения подобных работ сдерживалось из-за их ограниченных возможностей, в первую очередь сравнительно небольшого расстояния транспортирования, а также сравнительно низкого коэффициента полезного действия [12–14].

На карьере Тучковского комбината строительных материалов (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.

Для доработки обводненной части запасов песчаногравийных месторождений строительных материалов в таких условиях успешно эксплуатировался земснаряд УГБ-2М (рис. 3) [15].

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 17 300–18 090 м³ в месяц, а при увеличении дальности



- 1 – ограждение оголовка; 2 – прижимной фланец; 3 – паронитовая прокладка; 4 – оголовок; 5 – центрирующие опорные «сухарики»; 6 – стакан; 7 – упорная пирамидка; 8 – насадок гидрорыхлителя; 9 – вкладыш; 10 – ограничитель; 11 – паронитовая прокладка; 12 – пульпопровод; 13 – кожух водяной рубашки; 14 – трубопровод водопроводной линии; 15 – переход; 16 – трубопровод гидрорыхлителя; D_0 – диаметр всаса; D_i – диаметр камеры смешивания, δ – ширина рабочей щели инжектора

Рис. 4. Конструкция всасывающего патрубка

Fig. 4. Suction pipe design

до 300 м она сокращалась до величины 14 100 – 15 200 м³ [16].

Конструкция всасывающего патрубка показана на рис. 4.

Водоснабжение осуществлялось водяным насосом 1Д630-90. Расход воды на гидрорыхление – 68,7 м³/ч, а на пульпообразование – 561,3 м³/ч. Были определены графические зависимости характеристик гидрозелеваторного земснаряда УГБ-2М при различных значениях величины $\delta = \rho_{\text{вс}} / \rho_0$ ($\rho_{\text{вс}}$ – плотность всасываемой в эжектор гидросмеси, ρ_0 – плотность воды [17].

Анализ влияния горнотехнических условий эксплуатации на производительность земснаряда УГБ-2М при его работе по очистке шламонакопителей обогатительных фабрик

Физико-механическая характеристика гидросмеси шлама сильно отличает-

ся от песчано-гравийной смеси, в которой нередко встречаются куски гравия размером 40 – 70 мм. Следовательно, скорость движения гидросмеси и потери напора при гидротранспортировании для шлама будут значительно меньше, что может обеспечить заметное увеличение производительности земснаряда.

Для обоснования области эффективного применения земснарядной переукладки шламов при разработке хвостов обогащения земснарядом УГБ-2М необходимо произвести расчет производительности земснаряда при различных значениях расстояния транспортирования и геодезической высоты подъема гидросмеси [18, 19]. Для этого в соответствии с современной и многократно проверенной графоаналитической методикой расчета производительности гидротранспортного оборудования требуется определить параметры гидротранспорта для конкретных горнотехнических условий, и должны быть построены графические зависимости сопротивления

внешней сети. Точка пересечения характеристики гидроэлеваторного земснаряда и соответствующей графической зависимости сопротивления внешней сети определяет «рабочую точку», т.е. фактическую величину подачи (производи-

тельности) гидротранспортного оборудования.

Первоначально определяются физико-механические характеристики гидро-смеси. Средневзвешенный диаметр твердых частиц ($d_{cp} = 0,168$ мм) свидетель-

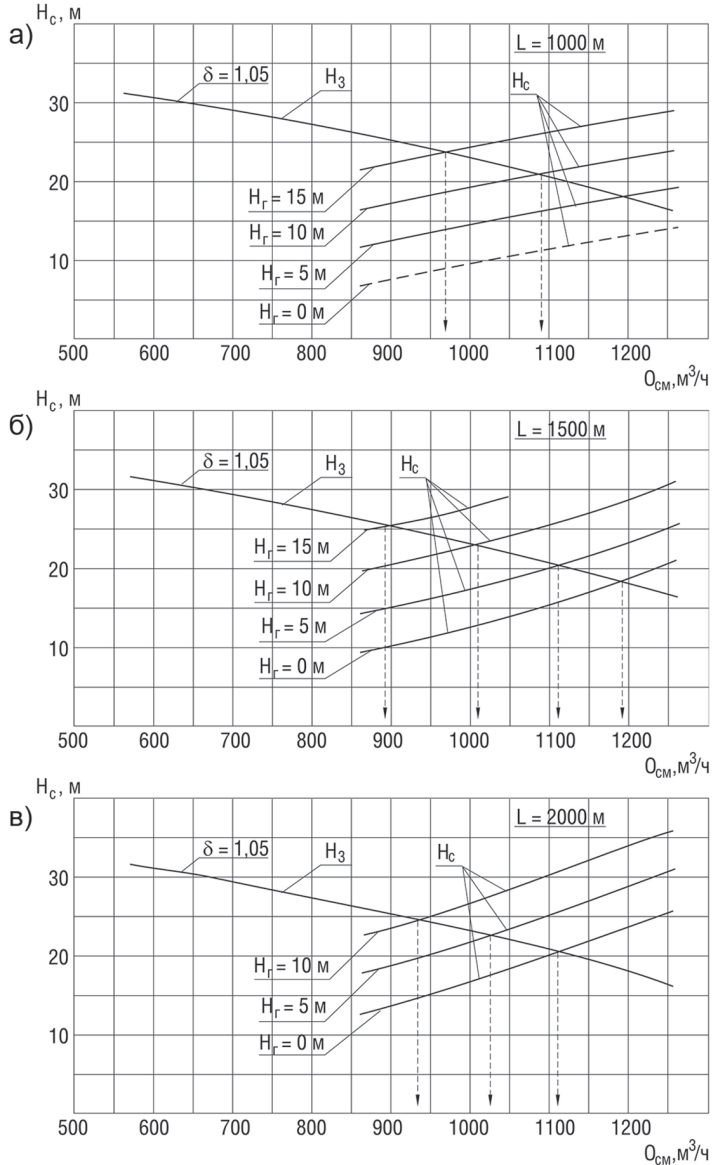


Рис. 5. Графические зависимости для определения фактической производительности земснаряда УГБ-2М при перекачивании шлама углеобогатительных фабрик (диаметр пульповода 0,40 м)

Fig. 5. Dependency graph to determine actual capacity of dredge UGB-2M in pumping sludge of coal preparation plants (pipeline diameter 0.40 m)

стует об отсутствии крупных фракций минеральных частиц, что является большим преимуществом с точки зрения их разработки и гидротранспортирования средствами гидромеханизации, и определяет использование для расчета критической скорости гидротранспортирования методику В.С. Кнороза [20].

Далее в соответствии с нормативными требованиями [22] распределения грунтов по группам их разработки землесосными снарядами определим категорию грунта – 1 (хвосты обогащения) и удельный расход воды – $6,5 \text{ м}^3$ на разработку и транспортирование 1 м^3 шлама.

Расчет параметров гидротранспорта – определение критических и действительных скоростей, диаметра пуль-

повода и удельных потерь напора при гидротранспортировании производим в соответствии с методикой [21].

При проведении расчетов была осуществлена проверка величины предельного значения подсосываемого потока Q_{BC} , которая определяет значение величины Q_{CM} ($Q_{\text{CM}} = Q_{\text{BC}} + Q_{\text{P}}$) и зависит от конструкции и параметров инжектора.

В качестве примера произведенных расчетов на рис. 5 приведены графики зависимости изменения величины сопротивления внешней сети гидротранспортной установки для принятых условий (расстояние транспортирования $L = 1000; 1500; 2000 \text{ м}$; геодезическая высота подъема гидросмеси $H_{\text{r}} = 5; 10; 15 \text{ м}$) от характеристики земснаряда УГБ-2М при $\delta = \rho_{\text{BC}}/\rho_0 = 1,05$. Точка

Таблица 2

**Производительность по твердому (шламу) гидроэлеваторного снаряда УГБ-2М
Solid (sludge) intake of hydraulic dredge UGB-2M**

D, м	L, м	Производительность УГБ-2М, Q; м³/ч				
		H _r = 0 м	H _r = 5 м	H _r = 10 м	H _r = 15 м	H _r = 20 м
0,30	300	85,2	72,0	58,8	42,9	–
	600	60,9	50,5	–	–	–
0,35	300	–	–	86,6	68,6	–
	600	–	81,8	68,6	53,3	–
	1000	75,9	62,3	52,6	38,0	–
	1500	58,2	47,7	–	–	–
	2000	44,3	–	–	–	–
0,40	300	–	–	–	77,6	–
	600	–	–	87,3	70,7	–
	1000	–	88,7	74,1	56,8	–
	1500	86,6	76,2	61,6	45,7	–
	2000	76,2	64,4	51,2	–	–
0,45	300	–	–	–	89,4	68,6
	600	–	–	–	81,1	60,2
	1000	–	–	91,5	72,7	54,0
	1500	–	97,0	81,8	64,4	43,6
	2000	–	87,3	72,0	56,8	–

пересечения этих графических зависимостей определяет «рабочую точку» – фактическую величину подачи (производительности) земснарядом УГБ-2М гидросмеси.

Когда определена величина подачи гидросмеси Q_{CM} , производительность по твердому (шламу) может быть рассчитана по формуле:

$$Q_T = \frac{Q_{CM} - Q_0}{1 - m + q_{BC}} = \frac{Q_{BC}}{1 - m + q_{BC}} \quad (1)$$

где Q_0 – расход рабочего потока воды (на пульпообразование), для УГБ-2М – 561,3 м³/ч.

Таким образом, была установлена производительность гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М при очистке илонакопителя для различных горнотехнических условий его эксплуатации – расстояний транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диаметрах пульповода (табл. 2).

Устойчивая, безаварийная работа эжекторного земснаряда УГБ-2М, исключающая возможность заилиения трубопровода, обеспечивается в пределах расстояния транспортирования гидро-

смеси от 250 до 2100 м. Геодезической высота подъема гидросмеси H_r не превышает значение 20 м. Диапазон изменения часовой производительности земснаряда УГБ-2М по твердому составляет $\approx 38,0$; максимальное значение – $\approx 97,0$ м³/ч. При этом величина диаметра пульповода изменяется от $D = 0,30$ м до $D = 0,45$ м. Установленные значения производительности земснаряда УГБ-2М обеспечивают устойчивую безаварийную производительность оборудования и исключают возможность заилиения трубопровода.

Расчеты показали, что производительность земснаряда УГБ-2М превышает требуемую для условий ОФ «Черниговская» (200 тыс. м³ за сезон) даже в наиболее сложных из принятых условий: $H_r = 10$ м; $L = 2000$ м (при количестве рабочих дней за сезон, равном 210).

Предлагаемый методический подход, произведенные расчеты и диапазон изменения часовой производительности земснаряда УГБ-2М по твердому для различных горнотехнических условий его эксплуатации – расстояний транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диа-

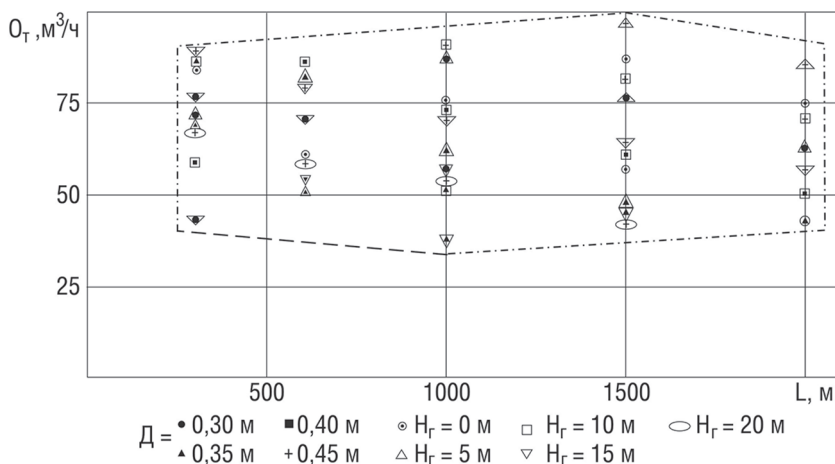


Рис. 6. Зона технического использования земснаряда УГБ-2М

Fig. 6. Range of industrial application of dredge UGB-2M

метрах пульповода — позволяют считать перспективным применение мобильных эжекторных земснарядов для очистки шламонакопителей обогатительных фабрик в Кузбассе.

Таким образом, нами установлена зона технического использования гидроэлеваторных земснарядов УГБ-2М при разработке хвостов обогащения, которая показана на рис. 6.

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 выполняется специалистами-проектировщиками, предлагаются установленные в работе эмпирические

зависимости. Они позволяют рассчитать производительность гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М в границах зоны его технического использования:

- при различных диаметрах пульповода;
- с учетом физико-механических свойств хвостов углеобогащения;
- в случае изменения горнотехнических условий.

На основании данных, характеризующих изменение производительности земснаряда УГБ-2М при очистке илонакопителя для условий ОФ «Черниговская», полученных в результате расчета по алгоритму, построим графики зависимостей изменения производительности земснаряда для каждого из технически возможных диаметров пульповода (от $D = 0,30$ м до $D = 0,45$ м), кото-

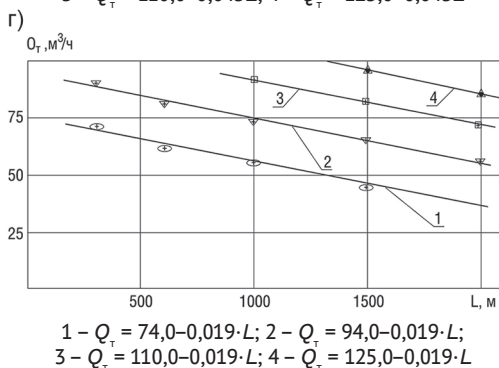
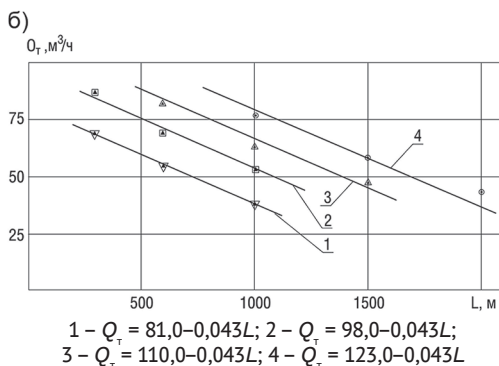
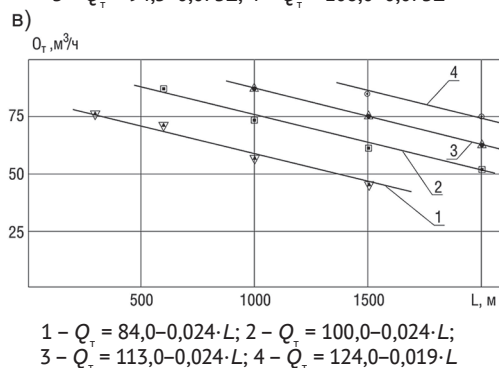
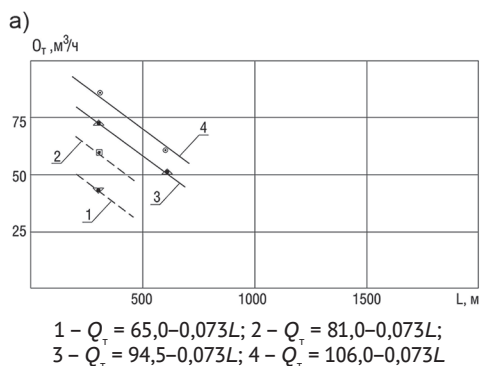


Рис. 7. Графики зависимостей изменения производительности земснаряда для каждого из технически возможных диаметров пульповода: $D = 0,30$ м (а); $D = 0,35$ м (б); $D = 0,40$ м (в); $D = 0,45$ м (г)

Fig. 7. Dredge capacity versus technically possible diameter of pipeline: $D = 0,30$ m (a); $D = 0,35$ m (b); $D = 0,40$ m (v); $D = 0,45$ m (g)

рые приведены на рис. 7. Прежде всего замечаем характерные особенности их изменения — это угол наклона графика, который для каждого из диаметров пульповода является постоянным.

Кроме того, 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 в зависимости от геодезической высоты подъема гидросмеси H_r при одном и том же значении L также зависит от диаметра пульповода D .

Следовательно, 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 — H_c), а также расчет, построение характеристики земснаряда и определение «рабочей точки» графоаналитическим способом, целесообразно определить упрощенную эмпирическую зависимость. 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 оперативно 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 по твердому землесосного снаряда УГБ-2М:

$$\text{для } D = 0,30 \text{ м } Q_T = 108 - 2,7 \cdot H_r - 0,073 \cdot L;$$

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

$$\text{для } D = 0,40 \text{ м } Q_T = 126 - 2,6 \cdot H_r - 0,024 \cdot L;$$

$$\text{для } D = 0,45 \text{ м } Q_T = 139 - 3,1 \cdot H_r - 0,019 \cdot L.$$

Статистическая оценка достоверности результатов расчета производительности землесосного снаряда УГБ-2М по установленным эмпирическим формулам для различных условий его работы (в пределах ранее определенных технических границ его применения) показала, что в зависимости от значений принятых диаметров пульповода величина среднеквадратического отклонения изменялась в диапазоне $1,97 - 3,32\%$, а коэффициент вариации — $4,17 - 5,80\%$.

Заключение

Методический подход, произведенные расчеты и установленный диапазон изменения часовой производительности земснаряда УГБ-2М по твердому для различных горнотехнических условий его эксплуатации (расстояний транспортирования гидросмеси и геодезической высоты ее подъема при различных диаметрах пульповода) позволяют считать перспективным применение мобильных эжекторных земснарядов для очистки шламонакопителей обогатительных фабрик в Кузбассе.

В целях оперативности определения техническими службами предприятия производительности гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М при очистке илонакопителя 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.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федотенко Н. А. Проблемы управления негативным воздействием на окружающую среду при добыче угля открытым способом. Актуальные решения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2012. — № 6. — С. 64–66.
2. Каплунов Д. Р., Федотенко В. С. Устойчивое развитие горнотехнических систем как переход от добычи полезных ископаемых к освоению георесурсов и сохранению недр // Горный журнал. — 2021. — № 8. — С. 4–7. DOI: 10.17580/gzh.2021.08.01.
3. Каплунов Д. Р., Айнбиндер И. И., Федотенко В. С., Юков В. А. Актуальные геотехнологии подземной добычи руд, проблемы устойчивого развития и перехода к новому технологическому укладу // Горный журнал. — 2021. — № 9. — С. 4–11. DOI: 10.17580/gzh.2021.09.01.
4. Подурец О. Рукотворная природа // Уголь Кузбасса. — 2013. — № 1. — С. 78–80.
5. Серегин А. И., Горлов Е. Г. Разработка технологических схем переработки угольных шламов в товарную продукцию // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 5. — С. 241–244.
6. 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. — С. 51–57.
7. Белокопытов П. И., Сазыкин Г. П. Решение экологических проблем Кузбасса в проектах обогатительных фабриках // ТЭК и ресурсы Кузбасса. — 2003. — № 4/13. — С. 17–19.
8. Белокопытов П. И., Сазыкин Г. П., Синеокий Б. А. Обогащение углей в Кузбассе // ТЭК и ресурсы Кузбасса. — 2002. — № 4/8. — С. 25–29.
9. Blyuss B., Semenenko Y., Medvedieva O., Kyrychko S., Karatayev A. Parameters determination of hydromechanization technologies for the dumps development as technogenic deposits // Mining of Mineral Deposits. 2020, vol. 1, pp. 51–61. DOI: 10.33271/mining14.01.051.
10. Engel J., Mihok J., Rybar R., Tyulenev M. Defining the main parameters of hydro-dumping at open pits // E3S Web of Conferences. 2018, vol. 41, article 01004. DOI: 10.1051/e3s-conf/20184101004.
11. Golik V., Dmitrak Y. Parameters of transportation of tailings of metals lixiviating // E3S Web of Conferences. 2017, vol. 21, article 01025. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101025.
12. Карлина А. И. Исследование работы гидроэлеваторов и безнапорного самотечного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2014. — № 4 (44). — С. 62–69.
13. Хрулев А. С. Скважинная гидротехнология — проблемы и решения // Вестник РАЕН. — 2013. — Т. 13. — № 5. — С. 51–54.
14. Малухин Н. Г., Дробаденко В. П., Вильмис А. Л., Щемеров А. А. Повышение эффективности скважинной гидродобычи за счет оптимизации процессов пульпоприготовления и всасывания // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 2. — С. 378–385.
15. 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. — С. 135–142.
16. Бекренев С. В., Белоусов К. С. Тучковский комбинат строительных материалов: История, современное состояние и опыт решения производственных задач // Горный журнал. — 2007. — № 1. — С. 33–35.
17. Кононенко Е. А., Белоусов К. С. Анализ работы и возможности гидроэлеваторного земснаряда в условиях карьера Тучковского комбината строительных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 9. — С. 210–214.
18. Дробаденко В. П., Салахов И. Н. Особенности определения расходно-напорных характеристик грунтонасосов при работе на гидросмесях различных плотности и грансостава // Недропользование XXI век. — 2020. — № 6(89). — С. 122–131.

19. Дробаденко В. П., Малухин Г. Н., Салахов И. Н. К вопросу пересчета паспортных характеристик грунтонасосов с воды на гидросмесь / Новые идеи в науках о Земле: тезисы доклада конференции. — М.: РГГРУ им С. Орджоникидзе, 2019. — С. 178–181.
20. Кнороз В. С. Движение гидросмесей в напорных трубопроводах и метод расчета. — М.: Известия ВНИИГ, 1941. — 256 с.
21. Шелоганов В. И. Исследование процессов безнапорного гидротранспортирования кусковых полускальных пород в условиях угольных карьеров: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. — М.: МГИ, 1969. — 13 с.
22. Федеральные единичные расценки на строительные работы ФЕР-2001-01 Земляные работы (Госстрой России). — М., 2001. — 116 с. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Fedotenko N. A. Problems of managing the negative impact on the environment during open-pit coal mining. Current solutions. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2012, no. 6, pp. 64–66. [In Russ].
2. Kaplunov D. R., Fedotenko V. S. Sustainable development of mining systems as a transition from mining to resource development and conservation of mineral resources. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 8, pp. 4–7. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.08.01.
3. Kaplunov D. R., Einbinder I. I., Fedotenko V. S., Yukov V. A. Sustainable development of mining systems as a transition from mining to resource development and conservation of mineral resources. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 9, pp. 4–11. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.09.01.
4. Podurets O. Man-made nature. *Ugol' Kuzbassa*. 2013, no. 1, pp. 78–80. [In Russ].
5. Серегин А. И., Горлов Е. Г. Разработка технологических схем переработки угольных шламов в товарную продукцию. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2008, no. 5, pp. 241–244. [In Russ].
6. Gorlov E. G., Seregin A. I., Khodakov G. S. Conditions for the sale of sludge from coal mining and coal processing enterprises in the form of suspension fuel. *Khimiya tverdogo topliva*. 2007, no. 6, pp. 51–57. [In Russ].
7. Belokopytov P. I., Sazykin G. P. The solution of environmental problems of Kuzbass in the projects of enrichment plants. *TEK i resursy Kuzbassa*. 2003, no. 4/13, pp. 17–19. [In Russ].
8. Belokopytov P. I., Sazykin G. P., Sineokiy B. A. Coal enrichment in Kuzbass. *TEK i resursy Kuzbassa*. 2002, no. 4/8, pp. 25–29. [In Russ].
9. Blyuss B., Semenenko Y., Medvedieva O., Kyrychko S., Karatayev A. Parameters determination of hydromechanization technologies for the dumps development as technogenic deposits. *Mining of Mineral Deposits*. 2020, vol. 1, pp. 51–61. DOI: 10.33271/mining14.01.051.
10. Engel J., Mihok J., Rybar R., Tyulenev M. Defining the main parameters of hydro-dumping at open pits. *E3S Web of Conferences*. 2018, vol. 41, article 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101004.
11. Golik V., Dmitrak Y. Parameters of transportation of tailings of metals lixiviating. *E3S Web of Conferences*. 2017, vol. 21, article 01025. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101025.
12. Karlina A. I. Investigation of the operation of hydraulic elevators and non-pressure gravity transport. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*. 2014, no. 4(44), pp. 62–69. [In Russ].
13. Khrulev A. S. Borehole hydrotechnology — problems and solutions. *Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk*. 2013, vol. 13, no. 5, pp. 51–54. [In Russ].
14. Malukhin N. G., Drobadenko V. P., Vilmis A. L., Shchemerov A. A. Improving the efficiency of borehole hydraulic extraction by optimizing the processes of pulp preparation and suction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013, no. 2, pp. 378–385. [In Russ].
15. Babichev N. I., Dvorovenko A. E. Design and operational experience of new types of hydraulic mining plants for the development of flooded deposits of sand-gravel mixtures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2006, no. 4, pp. 135–142. [In Russ].

16. Bekrenev S. V., Belousov K. S. Tuchkovsky combine of building materials: History, current state and experience of solving production problems. *Gornyi Zhurnal*. 2007, no. 1, pp. 33–35. [In Russ].

17. Kononenko E. A., Belousov K. S. Analysis of the work and capabilities of a hydro-elevator dredger in the conditions of a quarry of the Tuchkovsky combine of building materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. 9, pp. 210–214. [In Russ].

18. Drobadenko V. P., Salakhov I. N. Features of determining the flow-pressure characteristics of ground pumps when working on hydraulic mixtures of various densities and granulation. *Nedropol'zovanie XXI vek.* 2020, no. 6(89), pp. 122–131. [In Russ].

19. Drobadenko V. P., Malukhin G. N., Salakhov I. N. On the issue of recalculation of the passport characteristics of ground pumps from water to a hydraulic mixture. *Novye idei v nauках o Zemle: tezisy doklada konferentsii* [New ideas in Earth sciences: abstracts of the report of the conference], Moscow, RGGRU im S. Ordzhonikidze, 2019, pp. 178–181.

20. Knoroz V. S. *Dvizhenie gidrosmesey v napornykh truboprovodakh i metod rascheta* [Movement of hydraulic mixtures in pressure pipelines and calculation method], Moscow, Izvestiya VNIIG, 1941, 256 p.

21. Sheloganov V. I. *Issledovanie protsessov beznapornogo gidrotransportirovaniya kuskovatykh poluskal'nykh porod v usloviyakh ugol'nykh kar'erov* [Investigation of the processes of non-pressure hydrotransportation of lumpy semi-basement rocks in the conditions of coal pits], Candidate's thesis, Moscow, MGI, 1969, 13 p.

22. *Federal'nye edinichnye rastsenki na stroitel'nye raboty FER-2001-01 Zemlyanye raboty (Gostroy Rossii)* [Federal unit prices for construction works FER-2001-01 Earthworks (Gostroy of Russia)], Moscow, 2001, 116 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федотенко Виктор Сергеевич¹ — д-р техн. наук,

ведущий научный сотрудник,

e-mail: victorfedotenko@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-2082-6040,

Корякин Артем Александрович¹ — аспирант,

e-mail: rtn-kaa@mail.ru,

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

Для контактов: Федотенко В.С., e-mail: victorfedotenko@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.S. Fedotenko¹, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher,

e-mail: victorfedotenko@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-2082-6040,

A.A. Korjakin¹, Graduate Student,

e-mail: rtn-kaa@mail.ru,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

Corresponding author: V.S. Fedotenko, e-mail: victorfedotenko@gmail.com.

Получена редакцией 10.01.2022; получена после рецензии 24.05.2022; принята к печати 10.08.2022.

Received by the editors 10.01.2022; received after the review 24.05.2022; accepted for printing 10.08.2022.

