УДК 622.5; 622.58 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-8-62-71

Повышение эффективности эксплуатации горных машин на примере оборудования шахтного водоотлива в условиях Учалинского подземного рудника

Рыбаков А. Н.[1]*, Габбасов Б. М.[1], Курочкин А. И.[1], Ильинов Н. Д.[1],
[1] Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия
e-mail: rybakov174@yandex.ru

Реферат

Введение. *В статье рассмотрены вопросы исследования параметров и характеристик элементов шахтного водоотлива при транспортировании неосветленной шахтный воды, дана оценка эффективности и рациональности использования таких транспортных комплексов, как погрузочно-доставочные машины, скреперные лебедки, вагонетки, которые применяются для механизированной очистки водосборников от оседающего и скапливающегося шахтного шлама. В настоящее время решение этих вопросов является актуальной задачей для эксплуатационных служб горных предприятий и перспективным направлением для научных исследований.*

Методология проведения исследования. *Выполнены анализ и обобщение научно-практического опыта в области горно-шахтного водоотлива, дано описание и рассмотрены принципы работы шахтных водосборников, рассчитан и описан «рабочий цикл» эксплуатации водосборников и выполнен расчет эксплуатационных параметров при механизированном способе их очистки с помощью транспортных комплексов. Произведен расчет и оценка эффективности мероприятий по очистке водосборников с помощью средств механизированного комплекса путем определения количественных показателей эффективности в виде времени, затрачиваемого погрузочно-доставочными машинами и транспортными комплексами на очистку.*

Результаты и их анализ. *Дана оценка эффективности использования транспортных комплексов путем расчета времени их использования на непроизводительную работу. Разработана структурная схема последовательной работы водоосборников и процесса их очистки в течение календарного времени. Определено, что существующие водосборники на данный момент малоэффективно выполняют функцию по осветлению шахтных вод. Установлена взаимосвязь между снижением наработки элементов центробежных насосов водоотлива и составом перекачиваемой жидкости.*

Область применения результатов. *Результаты исследований, выполненных в работе, рекомендованы к внедрению для всех предприятий, ведущих подземные горные работы с применением шахтного водоотлива, а также для проектных институтов, осуществляющих проектирование шахтных выработок.*

Ключевые слова: *водосборник; транспортный комплекс; производительное время.*

Введение. Опыт эксплуатации водоотливных установок медноколчеданных рудников, оборудованных центробежными секционными кислотоупорными насосами типа ЦНС(К), показал, что их фактическая наработка до капитального ремонта составляет 248–1000 ч, в то время как в «Руководстве по эксплуатации насосов ЦНС(К) 300-120…600.000 РЭ» указано 6500 ч, что объясняется наличием в откачиваемой шахтной, кислотной воде с pH 3–4 значительного объема высокоабразивных примесей горных руд и пород, не соответствующих требуемым заводом-изготовителем условиям эксплуатации насосного оборудования [1].

По статистическим данным, основанным на наблюдениях обслуживающего персонала, выявлено, что после капитального ремонта насосы нарабатывают примерно 570 машино-часов практически без остановок, после чего требуется замена кольца и диска гидравлической пяты.

После замены дисков насос переводится в резерв («на подкачку», его включают только при сильном притоке воды) и работает в среднем еще 200 машиночасов. Далее, в зависимости от износа деталей, производится замена втулок и дисков или капитальный ремонт [2].

Требования к водоотливным установкам. Основываясь на описанных данных, можно сформулировать требования, предъявляемые к водоотливным установкам, обеспечивающие эффективность их эксплуатации:

– производительность до 800 м^3/ч (на основании статистических данных об объемах водопритока);

– исполнение рабочих элементов насосов, устойчивое к гидроабразивному износу и обладающее повышенной коррозионной стойкостью;

– способность перекачивать шахтную воду с показателем pH = 7,2, содержащую включения размером до 2 мм и весовое содержанием твердого – 60 % [3–5].

Расчет и оценка эффективности мероприятий по очистке водосборников с помощью средств механизированного комплекса. При объемах водосборников 1360, 1530 и 2300 м^3, количестве твердых частиц в шахтной воде 0,05 кг/л (50 кг/м^3), плотности твердых частиц 3000 кг/м^3 и водопритоке 296,66 м^3/ч за 1 час оседает 14 833 г (27,78 м^3) твердых частиц. Таким образом, полное заиливание каждого водосборника произойдет через 48,96, 55,08 и 82,79 ч соответственно. Отсюда получаем, что при последовательном заполнении водосборников каждые 559,84 ч все водосборники будут полностью заполнены и перестанут выполнять функцию осветления шахтной воды, что увеличит гидроабразивный износ рабочих элементов насосов главного водоотлива. В связи с этим возникает необходимость своевременной очистки водосборников.

Таким образом, для очистки водосборников требуется погрузить и транспортировать суммарный объем шлама 5190 м^3 массой 9342 т.

Очистка водосборников производится циклическим механизированным способом с помощью погрузочно-доставочных машин (ПДМ) и транспортных средств, в связи с чем данные средства исключаются из основного технологического процесса. Данный способ является трудоемким и приводит к неэффективной эксплуатации всей транспортной системы околоствольного двора и транспорта поверхностного комплекса шахты.

Рабочие процессы такой очистки имеют невысокий уровень механизации с большой долей малопроизводительного труда, что связано со значительными материальными затратами и антисанитарными условиями [6].

Для оценки количественных показателей эффективности требуется определить производительность ПДМ и транспортных комплексов, а также время, затрачиваемое ими на процесс очистки водосборника [7–9].

Определение производительности ковшовых погрузочных машин.

Теоретическая производительность

$$\Pi_{\text{теор}} = nE = 4 \cdot 3{,}5 = 14 \text{ м}^3/\text{мин};$$

техническая производительность

$$\Pi_{\text{тех.п}} = \Pi_{\text{теор}} \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}} = 14 \cdot \frac{0{,}7}{0{,}92} = 10{,}65 \text{ м}^3/\text{мин},$$

где $n = 60/\text{Т}_{\text{ц}}$ – число циклов погрузки в минуту (n = 4...6 теоретически); E – геометрическая вместимость ковша, м^3; $K_{\text{н}}$ – (0,7...0,9) – коэффициент наполнения ковша; $K_{\text{р}}$ = (0,92...0,95) – коэффициент дополнительного разрыхления в ковше.

Эксплуатационная производительность

$$П_{экс.п} = П_{тех.п} K_в T_{см} = 10,65 \cdot 0,4 \cdot 360 = 1533,6 \text{ м}^3/\text{смену},$$

где $T_{см}$ – длительность смены, мин; $K_в$ = 0,4…0,6 – коэффициент использования машины.

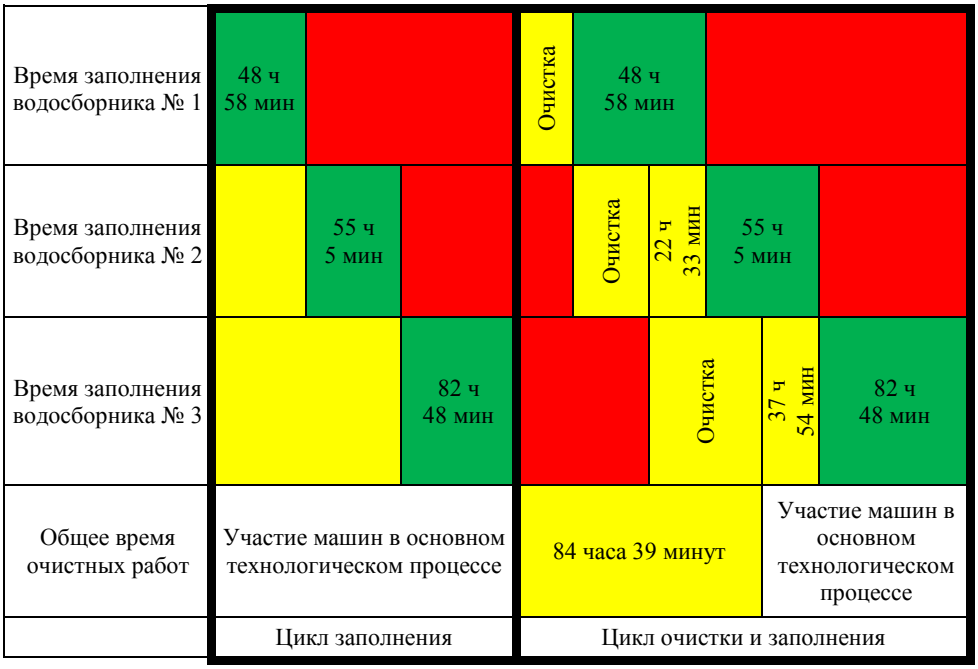

Рисунок 1. Структурная схема последовательной работы водосборников и процесса их очистки
Figure 1. The structural diagram of the sequential operation of drain sumps and the process of their cleaning

Таким образом, ПДМ может очистить за смену 1533,6 м^3 шахтного шлама массой 2760,48 т.

Техническая производительность вагонеток типа ВГ-3,3

$$П_{тех.т} = \frac{60 E_к K_н \gamma_р}{T_р} = \frac{60 \cdot 3,3 \cdot 0,95 \cdot 1,8}{39,3} = 19,3 \text{ т/ч},$$

где $E_к$ – вместимость кузова, м^3; $K_н$ = (3,3 · 1,8)/6 = 0,95 – коэффициент наполнения; $\gamma_р$ – плотность шахтного шлама, т/м^3; $T_р$ – время рейса, мин.

Время рейса

$$T_р = T_{пог} + t_{раз} + t_{ож} + t_{гр} + t_{пор} = 15 + 3 + 2 + 6,85 + 6 = 39,3 \text{ мин},$$

где $T_{пог}$ = 15 – время погрузки, мин; $t_{раз}$ = 3 – время разгрузки, мин; $t_{ож}$ = 3 – время ожидания, мин; $t_{гр}$ = 6,85 – время движения груженого состава, мин; $t_{пор}$ = 6 – время движения порожнего состава, мин;

$$t_{гр} = \frac{60 L_г}{V_{гр}} = \frac{60 \cdot 0,4}{3,5} = 6,85 \text{ мин};$$

$$t_{пор} = \frac{60 L_п}{V_{пор}} = \frac{60 \cdot 0,4}{4} = 6 \text{ мин};$$

$V_{гр}$ – скорость движения груженой машины, км/ч; $V_{пор}$ – скорость движения порожней машины, км/ч; $L_г = L_п$ – длина трассы, км.

Для данного типа работ наиболее часто используют 3 вагонетки.

Сменная производительность вагонетки

$$П_{экс.т} = П_{тех.т} T_{см} K_В = 19,3 \cdot 6 \cdot 0,6 = 69,48 \text{ т/см},$$

где $T_{см} = 6$ – продолжительность смены, ч; $K_В = 0,6$ – коэффициент использования состава.

Таблица 1. Затраты времени на заполнение, ожидание и очистку водосборников
Table 1. Time required for filling, holding and cleaning the drain sumps

Номер водосборника	Затраты времени на операцию			
	Заполнение водосборника	Ожидание начала работы	Ожидание очистки	Очистка водосборника
Водосборник № 1	2007 ч 38 мин (2007,63 ч)	–	5653 ч 13 мин (5653,22 ч)	939 ч 20 мин (939,33 ч)
Водосборник № 2	2258 ч 25мин (2258,42 ч)	950 ч 58 мин (950,97 ч)	4334 ч 8 мин (4334,13 ч)	1056 ч 40 мин (1056,67 ч)
Водосборник № 3	3394 ч 48 мин (3394,8 ч)	1620 ч 3 мин (1620,05 ч)	1996 ч 0 мин (1996 ч)	1588 ч 40 мин (1588,67 ч)

Сменная производительность состава

$$П_{экс.с} = \Pi_{экс.т} \cdot 9 = 69,48 \cdot 9 = 625,32 \text{ т/см}.$$

Таким образом, за 1 смену может быть очищен объем водосборника, равный 347,4 м^3.

Так как для очистки водосборников требуется погрузить и транспортировать суммарный объем шлама 5190 м^3 массой 9342 т, то получим общие затраты времени на процесс очистки: $t_{очистки}$ = 14,94 смен (84 ч 39 мин сменного времени).

Процесс очистки водосборника № 1 занимает 3,91 смены (23 ч 29 мин сменного времени); водосборника № 2 – 4,4 смены (26 ч 25 мин сменного времени); водосборника № 3 – 6,62 смены (39 ч 43 мин сменного времени).

С момента заполнения и до момента полной очистки водосборник практически полностью теряет свое функциональное назначение. Представим наиболее распространенную структурную схему последовательной работы водосборников до их заполнения и процесса очистки в течение календарного времени. Необходимо учитывать, что водосборники функционируют круглосуточно, а время работы технологических машин рассчитывается при времени смены 6 ч.

Таким образом, для приведения графика к единому календарному времени необходимо ко времени на выполнение каждой операции, рассчитанному ранее, добавить 2 ч на каждую смену.

Условный принцип действия данной схемы следующий. Изначально все три водосборника пустые и заполняются последовательно (рис. 1, на схеме – «цикл заполнения»). В момент заполнения всех трех водосборников начинают последовательную очистку каждого водосборника. После очистки водосборника № 1 производится очистка водосборника № 2, а водоосборник № 1 вводится в работу.

Аналогично очищается водоосборник № 3. После заполнения водоосборника № 3 начинается очистка всех трех водосборников. Таким образом, цикл (на схеме – «цикл очистки и заполнения») повторяется [10–13].

Цикл заполнения водосборника шахтной водой происходит только при вводе в эксплуатацию новых водосборников, таким образом, расчет количества циклов очистки и заполнения будет выглядеть следующим образом:

$$n_{\text{циклов}} = \frac{8760 - t_{\text{ц.з}}}{t_{\text{ц.о.з}}},$$

где $t_{\text{ц.з}}$ – время цикла заполнения; $t_{\text{ц.о.з}}$ – время цикла очистки и заполнения.

Таблица 2. Таблица производительного времени функционирования водосборников
Table 2. Table of productive time of drain sumps operation

Номер водосборника	Производительное время	Непроизводительное время
Водосборник № 1	2007 ч 38 мин (2007,63 ч)	6592 ч 33 мин (6592,55 ч)
Водосборник № 2	2258 ч 25мин (2258,42 ч)	6341 ч 46 мин (6341,77 ч)
Водосборник № 3	3394 ч 48 мин (3394,8 ч)	5204 ч 43 мин (5204,72 ч)

Согласно расчетам и графикам имеем: $t_{\text{ц.з}}$ = 186 ч 51 мин (186,85 ч), $t_{\text{ц.о.з}}$ = 210 ч 20 мин (210,33 ч), отсюда

$$n_{\text{циклов}} = \frac{8760 - 186,85}{210,33} = 40,76.$$

Принимаем $n_{\text{циклов}} = 40$.

На основе полученного количества циклов очистки и заполнения построим таблицу затрат времени на заполнение, ожидание очистки и непосредственно на очистку водосборников (табл. 1).

Таблица 3. Оценка эффективности функционирования водосборников
Table 3. Efficiency evaluation of drain sumps operation

Номер водосборника	Производительное время		Непроизводительное время	
	в часах	в %	в часах	в %
Водосборник № 1	2007 ч 38 мин (2007,63 ч)	23,34	6592 ч 33 мин (6592,55)	76,66
Водосборник № 2	2258 ч 25мин (2258,42 ч)	26,26	6341 ч 46 мин (6341,77 ч)	73,74
Водосборник № 3	3394 ч 48 мин (3394,8 ч)	39,13	5204 ч 43 мин (5204,72 ч)	60,87

За «Ожидание начала работы» принимается время ожидания чистым водосборником полного заполнения предыдущих водосборников, находящихся в работе.

Данные в столбцах «Ожидание начала работы», «Ожидание очистки (при полном заполнении водосборника)» и «Очистка водосборника» фактически указывают на время простоя водосборников.

Таким образом, под производительным временем эксплуатации водосборника понимаем время заполнения водосборника, под непроизводительным временем – время, в течение которого один водосборник заполняется, а остальные очищены и не заполнены («ожидание начала работы»), ожидание очистки при полном заполнении водосборника и сам процесс очистки водосборника при его полном заполнении [14, 15] (табл. 2).

Таблица 4. Показатели по откачке различных типов вод насосами водоотлива
Table 4. Indicators for pumping out various types of water by drainage pumps

Наименование оборудования	Показатели			
	Откачка осветленной воды		Откачка неосветленной воды	
	в часах	в %	в часах	в %
Центробежные насосы водоотлива типа ЦНС(К) 300-600 в количестве 3 шт	7660 ч 25 мин (7660,42 ч)	89,08	939 ч 20 мин (939,33 ч)	10,92

Кроме того, для проведения очистки водосборников необходимо «заимствовать» из основного технологического процесса погрузочно-доставочную машину и подвижной состав на время 84 ч 39 мин (39,65 ч) в течение каждого цикла или 1982 ч 30 мин (1982,5 ч) в течение одного календарного года.

Таблица 5. Показатели участия ПДМ и подвижного состава в технологических процессах
Table 5. Indicators of load-haul machines and rolling stock participation in technological processes

Наименование оборудования	Показатели			
	Участие в основном технологическом процессе		Участие в процессе очистки водосборников	
	в часах	в %	в часах	в %
ПДМ (погрузочно-доставочная машина типа ПТ-4) и подвижной состав (вагонетки типа ВГ-3,3)	4587 ч 30 мин (4587,5 ч)	69,82	1982 ч 30 мин (1982,5 ч)	33,18

Основываясь на проведенных расчетах, построенных схемах и т. д., построим таблицы и диаграммы для оценки эффективности эксплуатации водосборников.

В качестве параметра оценки эффективности принимаем производительное время работ. За 100 % при оценке работы водосборников и насосов водоотлива принимаем сумму времени одного цикла заполнения и 40 циклов заполнения и очистки – 8599,75 ч.

За 100 % при оценке работы погрузочно-доставочной машины и подвижного состава принимаем количество часов в календарном году, предназначенных на выполнение основного технологического процесса, т. е. 6570 ч (табл. 3).

Основываясь на ранее произведенных расчетах, построенных схемах и т. д., построим расчетные таблицы и диаграммы для оценки эффективности показателей работы насосов водоотлива, ПДМ и подвижного состава (табл. 4, 5, рис. 2).

На основе данных табл. 4 и 5 построим диаграмму показателей работы насосов водоотлива и технологического оборудования (рис. 3).

Выводы. Таким образом, существующие водосборники на данный момент малоэффективно выполняют функцию по осветлению шахтных вод и требуют высоких материальных затрат на эксплуатацию.

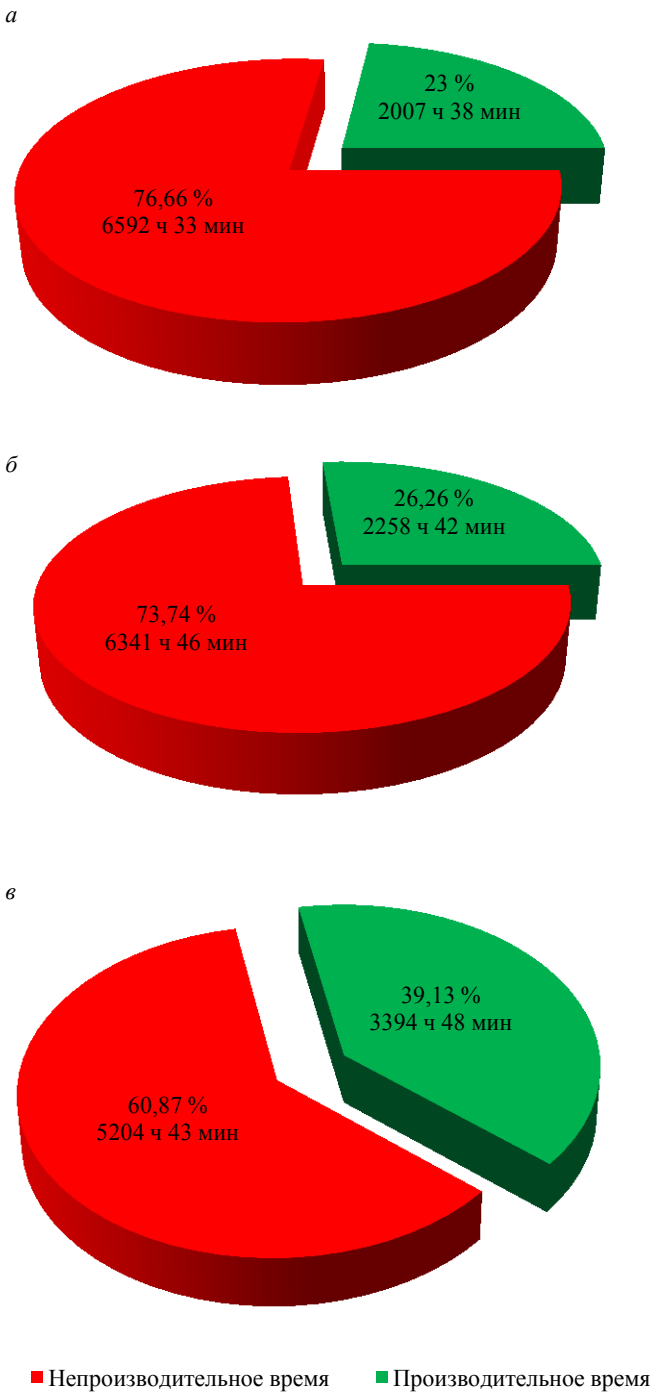

Рисунок 2. Оценка эффективности функционирования водосборников:
а – № 1; *б* – № 2; *в* – № 3
Figure 2. Evaluating the effectiveness of the of drain sumps operation:
а – no. 1; *б* – no. 2; *в* – no. 3

Именно то, что 61–76 % времени насосы водоотлива вынуждены перекачивать неосветленную воду, является причиной низкой наработки деталей центробежных насосов шахтного водоотлива.

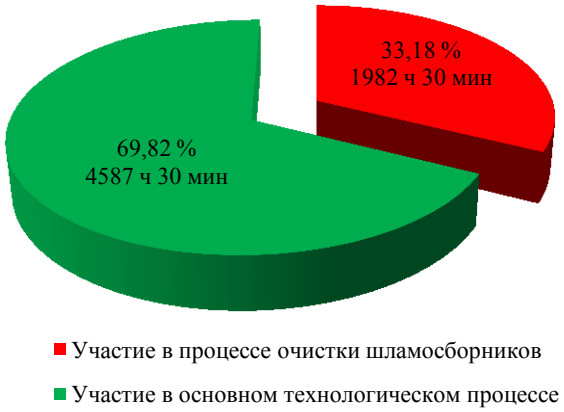

Рисунок 3. Показатели участия ПДМ и подвижного состава в технологических процессах
Figure 3. Indicators of participation of load-haul machines and rolling stock in technological processes

Полученные по построенной фактической эксплуатационной структурной схеме последовательного функционирования водосборников фактические показатели при откачке осветленной воды и при откачке неосветленной воды соответственно указывают на взаимосвязь снижения наработки элементов центробежных насосов водоотлива и состава перекачиваемой жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долганов А. В. Повышение эффективности эксплуатации водоотливных установок медноколчеданных рудников: автореф. дис. … канд. техн. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2012. 20 с.
2. Олизаренко В. В., Мингажев М. М. Рудничный водоотлив при отработке медноколчеданных месторождений Южного Урала: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2010. 183 с.
3. Мельников Т. И. Анализ существующих формул для определения критических скоростей и гидравлических уклонов в пульпопроводах // Труды Магнитогорского горнометаллургического института. 1958. Вып. 15. С. 69–109.
4. Рыбаков А. Н., Габбасов Б. М. Повышение эффективности работы поршневых насосов при откачке шахтного шлама // Актуальные проблемы современной науки, техники образования: матер. 72-й межрегион. науч.-техн. конф. / под ред. В. М. Колокольцева. Магнитогорск, 2014. Т. 1. С. 36–39.
5. Мажитов А. М., Кутлубаев И. М., Половнев В. В., Простихин И. В. Разработка модели горнотехнической системы освоения сложноструктурного месторождения // Современные достижения университетских научных школ: сб. докл. национ. науч. школы-конф. Магнитогорск, 2020. С. 169–171.
6. Шахтная водоотливная установка: пат. 2472971 Рос. Федерация. № 2011123628/06; заявл. 09.06.11; опубл. 20.01.13. Бюл. № 2. 4 с.
7. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1983. 487 с.
8. Кнороз В. С. Движение гидросмесей в напорных трубопроводах и метод их расчета // Известия ВНИИГ. 1941. Т. 30. 256 с.
9. Пособие по проектированию гидравлического транспорта // Промтрансниипроект. М.: Стройиздат, 1988. 40 с.
10. Zhang N., Gao B., Ni D., Liu X. Coherence analysis to detect unsteady rotating stall phenomenon based on pressure pulsation signals of a centrifugal pump // Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. No. 148. DOI: 10.1016/j.ymssp.2020.107161
11. Cao P., Zhu R., Yin G. Spike-type disturbances due to inlet distortion in a centrifugal pump // Renewable Energy. 2021. No. 165. P. 288–300. DOI: 10.1016/j.renene.2020.11.060
12. Li Q., Li S., Wu P., Huang B., Wu D. Investigation on reduction of pressure fluctuation for a double-suction centrifugal pump // Chinese Journal of Mechanical Engineering (English edition). 2021. No. 34(1). DOI: 10.1186/s10033-020-00505-8

13. Pacello J., Pacello J. L. Solving the problems of pumping medium-to-high density paper stock // World Pumps. 1997. Is. 368. P. 68–71.
14. Мажитов А. М. Оценка степени техногенного преобразования участка недр при разработке месторождения с обрушением руды и вмещающих пород в восходящем порядке // Горная промышленность. 2021. № 4. С. 113–118.
15. Мажитов А. М., Волков П. В., Красавин А. В., Аллабердин А. Б. Разработка технологии формирования искусственного массива с заданными геотехническими характеристиками // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 2. С. 51–58.

Поступила в редакцию 20 октября 2021 года

Сведения об авторах:

Рыбаков Александр Николаевич – ассистент кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: rybakov174@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-9063-2738
Габбасов Булат Маратович – кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: bulatg74@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-3811-0697
Курочкин Антон Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: a.kurochkin@magtu.ru; https://orcid.org/0000-0003-3287-4653
Ильинов Никита Дмитриевич – научный сотрудник Научно-исследовательского института комплексного освоения георесурсов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: ilinov99@inbox.ru; https://orcid.org/0000-0002-1635-0537

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-8-62-71

Improving the efficiency of mining machines operation by example of mine dewatering equipment in conditions of Uchaly underground mine

Aleksandr N. Rybakov[1], Bulat M. Gabbasov[1], Anton I. Kurochkin[1], Nikita D. Iliinov[1]
[1] Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract
Introduction. *The article deals with the research of parameters and characteristics of mine drainage elements for conveying unlit mine water, evaluation of efficiency and rationality of using such transport complexes as loading-delivery machines, scraper winches, wagons for mechanized cleaning of drain sumps from settling and accumulating mine sludge. At present, the solution of this issue is a widespread task for operating services of mining enterprises. At the same time, it is a promising direction for scientific research.*
Methods of research. *The scientific and practical experience in the field of mining drainage was analyzed and generalized. Mine drain sumps and their principles operation were described. Drain sumps operation working cycle was calculated and described. Operational parameters for a mechanized method of cleaning with transport complexes were calculated. The effectiveness of the measures for cleaning drain sumps using the means of a mechanized complex were calculated and assessed by determining quantitative efficiency indicators in the form of time spent by load-haul machines and transport complexes for cleaning.*
Results and analysis. *The efficiency of transport complexes was evaluated by calculating the time of their use for non-productive work. The structural scheme of sequential operation of water collectors and the process of their treatment during the calendar time is developed. It is determined that the existing drain sumps currently perform the function of mine water clarification ineffectively. The interrelation of decreasing of operating time of elements of centrifugal drainage pumps and composition of pumped liquid has been established.*
Scope of results. *The results of the research are recommended for implementation for all enterprises conducting underground mining works with the use of mine drainage, as well as for design institutes designing mine workings.*

Keywords: *drain sump; transport complex; productive time.*

REFERENCES

1. Dolganov A. V. *Improving the efficiency of water drainage operation at copper-sulphide mines: PhD in Engineering abstract of diss*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2012. (In Russ.)
2. Olizarenko V. V., Mingazhev M. M. *Main drainage in copper-sulphide deposits development in the Southern Urals: monograph*. Magnitogorsk: MSTU Publishing; 2010. (In Russ.)
3. Melnikov T. I. Analyzing the existing formulae for the determination of critical speed and hydraulic slope in dredge piping. *Trudy Magnitogorskogo gornometallurgicheskogo instituta = Proceedings of Magnitogorsk Mining Metallurgical Institute*. 1958; 15: 69–109. (In Russ.)

4. Rybakov A. N., Gabbasov B. M. Improving the efficiency of piston pumps when pumping off the sludge. In: Kolokoltsev V. M. (ed.) *Burning Issues of Modern Science, Technology, and Education: Proceedings of the 72nd Interregional Scientific and Technical Conference*. Magnitogorsk: 2014. Vol. 1. p. 36–39. (In Russ.)

5. Mazhitov A. M., Kutlubaev I. M., Polovnev V. V., Prostikhin I. V. Developing the model of a mining system for a complex deposit development. In: *The Latest Achievements of Academic Scientific Schools: Proceedings of the National Scientific Conference*. Magnitogorsk; 2020. p. 169–171. (In Russ.)

6. Timukhin S. A., Ugol'nikov A. V., Petrovykh L. V., Stozhkov D. S., Lubinskii A. Iu. Mine drainage. Patent RF no. 2472971; 2013. 4 p.

7. Spivakovskii A. O., Diachkov V. K. *Transporting machines*. Moscow: Mashinostroenie Publishing; 1983. (In Russ.)

8. Knoroz V. S. Hydraulic fluid motion in pressure lines and their analysis method. *Izvestiia VNIIG = Proceedings of VNIIG*. 1941; 30: 256. (In Russ.)

9. Reference guide on hydraulic transport design. Promtransniiproekt. Moscow: Stroiizdat Publishing; 1988. (In Russ.)

10. Zhang N., Gao B., Ni D., Liu X. Coherence analysis to detect unsteady rotating stall phenomenon based on pressure pulsation signals of a centrifugal pump. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021; 148. Available from: doi: 10.1016/j.ymssp.2020.107161

11. Cao P., Zhu R., Yin G. Spike-type disturbances due to inlet distortion in a centrifugal pump. *Renewable Energy*. 2021; 165: 288–300. Available from: doi: 10.1016/j.renene.2020.11.060

12. Li Q., Li S., Wu P., Huang B., Wu D. Investigation on reduction of pressure fluctuation for a double-suction centrifugal pump. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English edition)*. 2021; 34(1). Available from: doi: 10.1186/s10033-020-00505-8

13. Pacello J., Pacello J. L. Solving the problems of pumping medium-to-high density paper stock. *World Pumps*. 1997; 368: 68–71.

14. Mazhitov A. M. Assessment of the extent of man-induced transformation of a subsoil block in upward mining using ore and host rock caving. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry*. 2021; 4: 113–118. (In Russ.)

15. Mazhitov A. M., Volkov P. V., Krasavin A. V., Allaberdin A. B. Developing the technology for the formation of an artificial array with specified geotechnical characteristics. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 2: 51–58. (In Russ.)

Received 20 October 2021

Information about authors:

Aleksandr N. Rybakov – assistant lecturer, Department of Mining Machines and Transportation Technological Complexes, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: rybakov174@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-9063-2738

Bulat M. Gabbasov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Machines and Transportation Technological Complexes, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: bulatg74@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-3811-0697

Anton I. Kurochkin – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Machines and Transportation Technological Complexes, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: a.kurochkin@magtu.ru; https://orcid.org/0000-0003-3287-4653

Nikita D. Iliinov – researcher, Research and Development Institute of Integrated Development of Subsurface Resources, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: ilinov99@inbox.ru; https://orcid.org/0000-0002-1635-0537

Для цитирования: Рыбаков А. Н., Габбасов Б. М., Курочкин А. И., Ильинов Н. Д. Повышение эффективности эксплуатации горных машин на примере оборудования шахтного водоотлива в условиях Учалинского подземного рудника // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 8. С. 62–71. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-8-62-71

For citation: Rybakov A. N., Gabbasov B. M., Kurochkin A. I., Iliinov N. D. Improving the efficiency of mining machines operation by example of mine dewatering equipment in conditions of Uchaly underground mine. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii = Minerals and Mining Engineering*. 2021; 8: 62–71 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-8-62-71