

Способ борьбы с твердой фазой шахтных вод путем полезного использования избыточной напорности насосного оборудования

Николай Петрович ОВЧИННИКОВ*

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Россия, Республика Саха (Якутия), Якутск

Актуальность работы. Шахтная вода, откачиваемая из горных выработок подземных кимберлитовых рудников Российской Федерации, находящихся в ведении компании АК «АЛРОСА» (ПАО), является высокоминерализованной натурной жидкостью, в связи с чем она обладает плотностью, превосходящей плотность чистой водопроводной воды в 1,2–1,4 раза. Для откачки такой натурной жидкости на названных рудниках используют секционные насосы с избыточной напорностью, что исключает их работу в режиме перегрузки – нежелательном рабочем режиме с точки зрения эксплуатации. На ряде водоотливных установок подземных кимберлитовых рудников напорность эксплуатируемых секционных насосов превышает расчетный полный напор более чем в 1,7 раза. Завышенный запас избыточной напорности данных рудничных водоотливных установок снижает эффективность их эксплуатации вследствие непроизводительных затрат на электроэнергию, из-за этого полезное использование избыточной напорности их секционных насосов представляет собой востребованную научно-практическую задачу.

Цель работы. Настоящая работа посвящена разработке и научному обоснованию технического решения, направленного на борьбу с твердой фазой шахтных вод, откачиваемых из водосборников подземных кимберлитовых рудников Российской Федерации, путем полезного использования избыточной напорности используемого насосного оборудования.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели использовался комплексный подход, включающий в себя: анализ различных литературных источников по тематике исследования, анализ значительного практического материала по работе насосного оборудования подземных кимберлитовых рудников Российской Федерации, аналитические расчеты, экспериментальные исследования на лабораторной насосной установке на базе центробежного насоса модели К8/18.

Результаты. На основании выполненных автором научных исследований было предложено техническое решение, направленное на борьбу с твердой фазой шахтных вод, поступаемых в водосборники подземных кимберлитовых рудников Российской Федерации. Данное техническое решение защищено патентом на изобретение Российской Федерации.

Ключевые слова: шахтная вода, подземный кимберлитовый рудник, секционные насосы, избыточная напорность, шлам, устройство для взмучивания шлама, подпор, гидроциклон.

Введение. Постановка задачи

Шахтная вода, откачиваемая из горных выработок подземных кимберлитовых рудников России, обладает плотностью, превосходящей в 1,2–1,4 раза плотность чистой воды [1–4].

Для откачки такой натурной жидкости на подземных кимберлитовых рудниках Российской Федерации, находящихся в ведении компании АК «АЛРОСА» (ПАО), используют секционные насосы с избыточной напорностью, что исключает их работу в режиме перегрузки – нежелательном рабочем режиме с точки зрения эксплуатации.

Ранее проведенные автором исследования свидетельствуют, что применительно к условиям подземных кимберлитовых рудников России секционные насосы считаются оптимально подобранными, когда их напорность превышает расчетный полный напор в 1,5–1,7 раза [3].

Однако на нескольких водоотливных установках указанных рудников напорность эксплуатируемых секционных насосов превышает расчетный полный напор более чем в 1,7 раза [3]. Работа такого насосного оборудования определенно влечет за собой значительные непроизводительные затраты на электроэнергию.

Исходя из всего изложенного, констатируем, что снижение избыточной напорности секционных насосов до оптимальных значений или ее полезное использование позволит повысить эффективность эксплуатации ряда водоотливных установок подземных кимберлитовых рудников Российской Федерации.

Краткий анализ работ по тематике исследования

Анализ различных источников показал, что снижения или полезного использования избыточной напорности насосного оборудования можно добиться различными путями [5–9].

На производстве одним из распространенных методов борьбы с избыточной напорностью насосного оборудования до сих пор является дросселирование задвижкой на нагнетательном трубопроводе. Данный метод обеспечивает снижение нагрузки на электродвигатель, однако в тоже время у насоса значительно снижается КПД [5].

В работах [6, 8] отмечается, что избыточная напорность насоса может значительно быть снижена путем впуска воздуха в его всасывающий патрубок. Серьезным минусом этого способа является то, что он может способствовать интенсивному развитию кавитационных процессов в насосе, негативно влияющих на его работоспособность.

Для снижения избыточной напорности насосного оборудования был рассмотрен вариант с использованием преобразователей частоты [5–8]. Как выяснилось, снижение избыточной напорности насосного оборудования до оптимальных значений путем изменения частоты вращения сопряжено со снижением его производительности, что в ряде случаев недопустимо. К примеру, некоторые рудничные водоотливные установки практически бесперебойно работают по схеме «один насос в работе, один насос в резерве, один насос в ремонте». В случае принудительного снижения производительности насоса из-за использования преобразователя частоты в работу дополнительно включается насос, ранее находящийся в резерве. Таким образом, водоотливная установка остается без резерва, что создает аварийную ситуацию.

В работе [9] избыточную напорность насосного оборудования предлагается использовать в качестве генератора высоконапорной струи гидроэлеваторной установки. Реализация такого технического решения может привести к повы-

* ovchinnlar1986@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4355-5028>

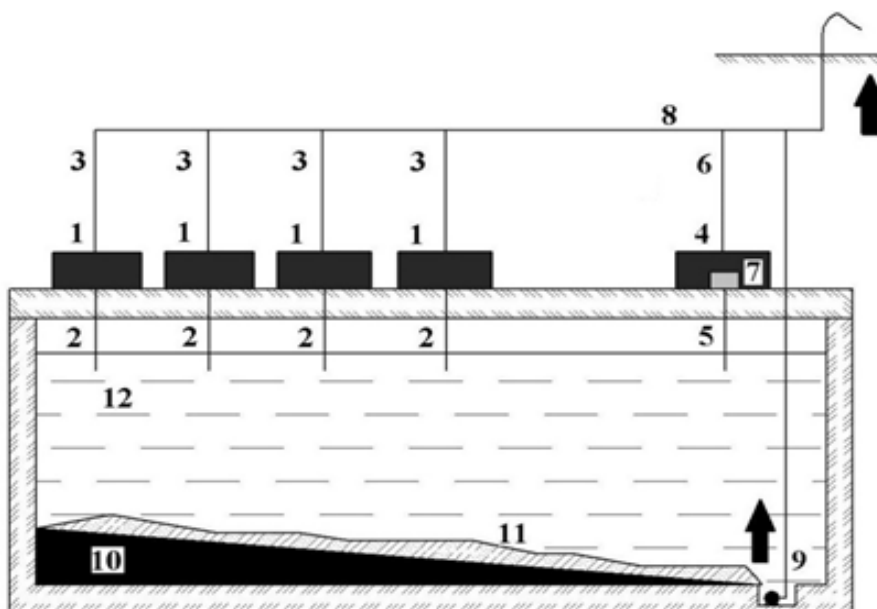


Рисунок 1. Гидромеханизированный комплекс рудничного водоотлива. 1 – секционные насосы; 2, 3 – всасывающие и напорные трубопроводы; 4 – секционный насос; 5, 6 – всасывающие и напорные трубопроводы; 7 – гидроциклон; 8 – общий напорный коллектор; 9 – устройство для взмучивания шлама; 10 – параллельные наклонные пластины; 11 – шлам; 12 – зумпф водосборника.

Figure 1. Hydromechanized mine drainage complex. 1 – stage chamber pumps; 2, 3 – intake and pressure pipelines; 4 – stage chamber pump; 5, 6 – intake and pressure pipelines; 7 – cyclone; 8 – general discharge header; 9 – device for spreading sludge; 10 – parallel inclined plates; 11 – sludge; 12 – drain sump of water-collecting header.

шению числа отказов насосов, так как полезное использование их избыточной напорности сопряжено со значительным повышением нагрузки гидравлической природы на их уплотнительные элементы со стороны всасывания.

Предлагаемое техническое решение

Для повышения эффективности эксплуатации ряда водоотливных установок подземных кимберлитовых рудников России сотрудниками Горного института Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова было предложено техническое решение (рис. 1), позволяющее полезно использовать избыточную напорность насосного оборудования в целях борьбы со шламом – твердой фазой откачиваемой шахтной воды. Стоит отметить, что устройство и способ работы данного технического решения защищены патентом на изобретение Российской Федерации [10].

Гидромеханизированный комплекс рудничного водоотлива работает следующим образом.

Поступающая в зумпф водосборника 12 шахтная вода предварительно осветляется за счет оседания на наклонных пластинах 10 шлама 11, входящего в состав воды, с последующим его перемещением в специальную канаву, где установлено устройство для взмучивания шлама 9.

Устройство для взмучивания шлама 9 обеспечивает поднятие шламового облака на поверхность зумпфа водосборника 2, которое под действием центробежных сил разделяется в гидроциклоне 7, установленном на всасывающем трубопроводе 5 секционного насоса 4, на жидкую и твердую составляющие с последующим удалением последней. Устройство для взмучивания шлама 9 состоит из двух трубопроводов. Один трубопровод врезан в общий напорный коллектор 8, обеспечивающий необходимый подпор для поднятия шламового облака, и опущен на дно зумпфа водосборника 12, где соединен со вторым трубопроводом, представляющим собой трубу прямого действия, закрытую с обоих торцов, с врезанными в одну из ее боковых стенок соплами, направленными вверх.

Секционные насосы 1 на вышележащий горизонт или дневную поверхность уже откачивают осветленную шахтную воду.

Необходимый подпор для поднятия шламового облака обеспечивает давление общего напорного коллектора 8, в который врезан один из двух трубопроводов устройства для взмучивания шлама 9.

Таким образом, видно, что избыточная напорность секционных насосов 1 используется для создания подпора, необходимого для поднятия шламового облака на поверхность зумпфа водосборника 12.

Научное обоснование предлагаемого технического решения

В предлагаемом техническом решении гидроциклон является напорным. Для обеспечения положительного давления на входе в гидроциклон необходимо выполнить следующее условие:

$$h > H_{\text{вак}},$$

где h – подпор, необходимый для поднятия шламового облака, м; $H_{\text{вак}}$ – фактическая вакуумметрическая высота всасывания секционного насоса, м (рис. 1, поз. 4).

В нашем случае фактическая вакуумметрическая высота всасывания секционного насоса равна:

$$H_{\text{вак}} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5,$$

где H_1 – геометрическая высота всасывания секционного насоса, м; H_2 – высота от оси сливного патрубка гидроци-

клона, м (рис. 1, поз. 5) до оси всасывающего трубопровода секционного насоса; H_3 – потери напора во всасывающем трубопроводе секционного насоса, м; H_4 – динамический напор во всасывающем трубопроводе секционного насоса, м; H_5 – потери напора в гидроциклоне, м.

Величину H_4 находим по следующей формуле, Па:

$$H_5 = \rho v^2 / 2.$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; v – скорость жидкости во всасывающем трубопроводе, м/с.

Обычно в расчетах величина H_1 составляет 2–5 м (принимая 4 м). Исходя из того, что шахтный водоприток в водосборники участковых водоотливных установок подземных кимберлитовых рудников с избыточной напорностью насосного оборудования не превышает 300 м³/ч, а средняя концентрация механических примесей в воде составляет 20 г/л, то для осветления такой воды подойдет напорный гидроциклон малой производительности.

Например, максимальная величина H_2 для напорных гидроциклонов с производительностью до 50 м³/ч составляет 1 м. Величина H_3 обычно не превышает 0,5 м, а H_4 – 2600 Па или 0,265 м (при условии, что $\rho = 1300$ кг/м³; $v = 2$ м/с).

Экспериментальные исследования, выполненные на лабораторной насосной установке (рис. 2), показали, что при работе с гидроциклоном, установленным на всасывающей линии насоса-имитатора (модель К8-18), отрицательное давление на входе последнего снизилось на 25 %.

Таким образом,

$$H_{\text{вак}} = 1,25 (H_1 + H_2 + H_3 + H_4), \quad (1)$$

Тогда:

$$H_{\text{вак}} \approx 7,2 \text{ м.}$$

Минимальное давление на входе в гидроциклон производительностью до 50 м³/ч составляет 0,03 МПа (3 м)¹.

С учетом обязательного коэффициента запаса (принимая 0,5) и расстояния от устройства для взмучивания шлама до всасывающей линии секционного насоса (принимая 1,3 м) минимально допустимый подпор $h_{\text{мин}}$, необходимый для поднятия шламowego облака, в нашем случае должен составлять 12 м.

Не стоит забывать, что создание и рост подпора h непременно связаны со снижением гидравлических параметров насосного оборудования. Чрезмерное снижение подачи Q и напора H секционных насосов может привести к их работе с критическим осевым смещением ротора, т. е. к работе в аварийных режимах.

Проведенные автором экспериментальные исследования на уже известной нам лабораторной насосной установке (рис. 3) позволили установить эмпирические формулы, выведенные с помощью аппроксимации линейных зависимостей (рис. 4, а, б), благодаря которым можно рассчитать оптимальный для поднятия шламowego облака подпор с точки зрения безопасного функционирования водоотливной установки.

Рассмотрим реализацию предлагаемого технического решения на примере участковой водоотливной установки УНС-310 подземного кимберлитового рудника «Мир».

Исходные данные водоотливной установки: средняя производительность Q – 360 м³/ч; средний напор H – 227,5 м.



Рисунок 2. Работа насоса-имитатора с установленным на всасывающей линии гидроциклоном в лабораторных условиях.
Figure 2. The operation of the simulator pump with a cyclone installed in the suction line in laboratory setting.

¹ Гидроциклоны. Технические условия 1104-022-05773333-2008. URL: http://pzgo.ru/uploadedFiles/files/TU_1104-022-05773333-2008_Gidrociklon.pdf



Рисунок 3. Работа насоса-имитатора с установленным на напорной линии устройством для взмучивания шлама в лабораторных условиях.

Figure 3. The operation of the simulator pump with a device installed on the pressure line for spreading sludge in laboratory setting.

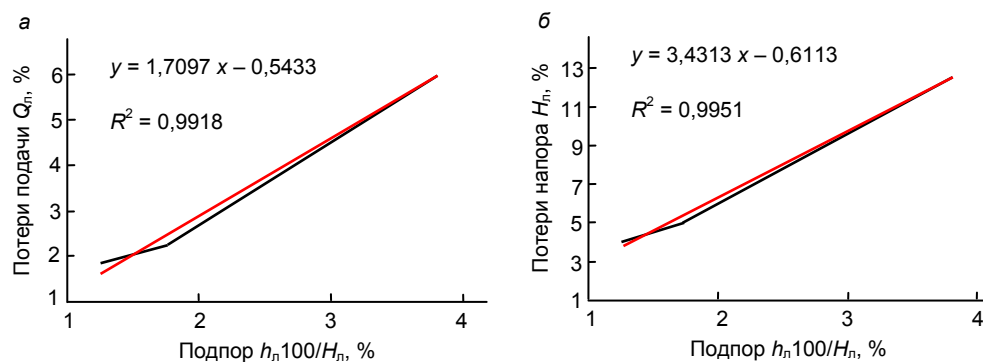


Рисунок 4. Линейные зависимости потерь подачи – а и напора – б насоса-имитатора от создаваемого подпора.

Figure 4. Linear dependences of supply losses – a and pressure – b of the pump-simulator from the created backwater.

Как было отмечено ранее, минимальный подпор h_{min} для поднятия шлама равен 12 м, что составляет 5,3 % от напора водоотливной установки УНС-310. Проверим, является ли такой подпор оптимальным с точки зрения безопасности функционирования рассматриваемой водоотливной установки.

Согласно выведенным эмпирическим формулам (рис. 4, а, б), водоотливная установка УНС-310 обеспечивает подпор, равный 12 м, при условии снижения подачи Q на 8,5 % и напора H на 17,6 %, что вполне приемлемо, так как предельное снижение подачи варьируется в диапазоне 20–30 % (производственные данные), а максимальное снижение напора данной водоотливной установки до оптимальных значений составляет 20 % (расчетные данные).

Исходя из основ теории подобия, такие потери гидравлических параметров водоотливной установки УНС-310 возможны в случае длины горизонтальной трубы устройства для взмучивания шлама, равной 1,6 м, и внутреннего диаметра сопел, равного 0,08 м, расстояние между центрами которых составляет 0,16 м:

$$\frac{H_n}{l_n} = \frac{H}{l} \Rightarrow \frac{21,6}{0,15} = \frac{227,5}{1,6}; \quad \frac{l_n}{d_n} = \frac{l}{d} \Rightarrow \frac{0,15}{0,008} = \frac{1,5}{0,08}; \quad \frac{d_n}{a_n} = \frac{d}{a} \Rightarrow \frac{0,008}{0,016} = \frac{0,08}{0,16}.$$

где H_n, H – номинальный напор лабораторной насосной установки и водоотливной установки; l_n, l – длина трубы устройства для взмучивания шлама лабораторной насосной установки и водоотливной установки; d_n, d – внутренний диаметр сопел трубы устройства для взмучивания шлама лабораторной насосной установки и водоотливной установки; a_n, a – расстояние между центрами сопел трубы устройства для взмучивания шлама лабораторной насосной установки и водоотливной установки.

Так как длина горизонтальной трубы устройства для взмучивания шлама будет заведомо больше диаметра сетчатого фильтра, установленного на всасывающей линии насоса, то далеко не вся поднятая устройством пульпа (~ 35 м³/ч) поступит в насос. Учитывая это, можно предположить, что производительность по питанию гидроциклона составит около 15–20 м³/ч. Такую производительность по питанию при давлении 0,03 МПа (3 м) может обеспечить напорный гидроциклон модели ГЦ-250. Исходя из модели гидроциклона, в качестве насоса можно использовать насос модели ЦНС(К) 13-280.

Выводы

В ходе проведенных научных исследований было разработано и научно обосновано техническое решение, направленное на повышение эффективности эксплуатации ряда водоотливных установок подземных кимберлитовых рудников Российской Федерации, обладающих избыточной напорностью. Стоит отметить, что предложенный гидромеханизированный комплекс рудничного водоотлива в большей степени направлен на борьбу с заиливанием водосборников, а не с гидроабразивным изнашиванием деталей проточной части насосного оборудования, являющимся одной из основных причин его отказов [3, 4, 11–17], так как устройство для взмучивания шлама способствует сохранению взвешенных частиц в откачиваемой насосным оборудованием воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов А. В. Оценка возможности закачки дренажных рассолов карьера и рудника «Удачный» в среднекембрийский водоносный комплекс // Вестник ИрГТУ. 2013. № 7(78). С. 32–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19959899>
2. Дроздов А. В., Крамсков Н. П., Гензель Г. Н. Особенности гидромеханического мониторинга под водными объектами на алмазных месторождениях Западной Якутии // Вестник ИрГТУ. 2011. № 1(48). С. 72–79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15585929>
3. Овчинников Н. П., Зырянов И. В. Оценка долговечности секционных насосов подземных кимберлитовых рудников АК «АЛРОСА» // Горный журнал. 2017. № 10. С. 41–44. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.10.08>
4. Овчинников Н. П. Проблемы эксплуатации электронасосных агрегатов секционного типа на кимберлитовых рудниках АК «АЛРОСА» и пути их решения // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, № 6. С. 66–73. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35410967>
5. Сташинов Ю. П., Боченков Д. А., Волков В. В. Технические и энергетические аспекты применения регулируемого электропривода на главных водоотливных установках шахт // ГИАБ. 2009. № 16. С. 202–209.
6. Петровых Л. В., Марченко А. Ю., Иващенко Е. П., Марченко М. Ю., Салтанов С. Н., Баринев И. М., Викулов Е. А. Определение необходимой глубины регулирования водоотливных установок в условиях завышенного напора насосов // Изв. УГГУ. 2015. № 4(40). С. 62–66. URL: <https://iuggu.ru/download/2015-4-Petrovykh.pdf>
7. Тимухин С. А., Дмитриев С. В., Петровых Л. В. Оценка затрат на техническое обслуживание шахтных центробежных насосов с учетом их избыточной напорности // Изв. УГГУ. 2011. № 25/26. С. 102–104.
8. Косарев Н. П., Молодцов В. В., Тимухин С. А., Белов С. В., Упоров С. А., Шлейвин В. В. Пути энергосбережения на водоотливных установках шахт ОАО «Севералюбокситруда» // Изв. УГГГА. 2003. № 16. С. 41–43.
9. Тимухин С. А., Угольников А. В., Петровых Л. В., Стожков Д. С., Лубинский А. Ю. Шахтная водоотливная установка: пат. 2472971 Рос. Федерация; заявл. 09.06.11; опубл. 20.01.13.
10. Овчинников Н. П., Викулов М. А. Гидромеханизированный комплекс рудничного водоотлива: пат. 2649198 Рос. Федерация; заявл. 27.09.17; опубл. 30.03.18, Бюл. № 10.
11. Antoev K. P., Zarovnyaev B. N., Khristoforova A. A. An apparatus that analyzes the hydroabrasive wear of fiberglass pipes // Journal of Friction and Wear. 2017. Vol. 38, issue 3. P. 208–210. <https://doi.org/10.3103/S1068366617030023>
12. Kesler R. Considerations in selecting a positive displacement slurry pump // Mining World. 2016. Vol. 13(4). P. 34–37. URL: https://www.abel-pumps.com/en/Press/2016/MiningWorld_diaphragm_pump_slurry_pump.pdf
13. Patsera S., Protsiv V., Kosmin V. Feasible ways to improve the durability of the pumps' parts operating with hydroabrasive mixtures // Mechanics, Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 1. P. 133–137. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4039.5286>
14. Долганов А. В. Шламы медно-колчеданных рудников: проблемы и пути решения // ГИАБ. 2013. № 4. С. 10–14.
15. Aleksandrov V. I., Avksentiev S. Y. Vibration-based diagnostics of slurry pump technical state // Indian journal of science and technology. 2016. Vol. 9, issue 5. P. 1–6. <http://dx.doi.org/10.17485/ijst2016v9i587590>
16. Khalid Y. A., Sapuan S. M. Wear analysis of centrifugal slurry pump impellers // Industrial lubrication and tribology. 2007. Vol. 59, issue 1. P. 18–28. <https://doi.org/10.1108/00368790710723106>
17. Walker C. I. Slurry pump side-linerwear: comparison of some laboratory and field results // Wear. 2001. Vol. 250, issue. 1. P. 81–87. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00613-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00613-5)

Статья поступила в редакцию 29 мая 2018 г.

The method of fighting with the solid phase of mine waters by the beneficial use of excessive pressure pumping equipment

Nikolay Petrovich OVCHINNIKOV*

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Relevance of the work. Mine water pumped from the mine workings of the underground kimberlite mines of the Russian Federation, administered by PJSC ALROSA, is a highly mineralized natural fluid, and therefore it has a density that exceeds the density of pure tap water by 1.2–1.4 times. For pumping out such natural fluid in the mines mentioned above, sectional pumps with excessive pressure are used that excludes their operation in the overload mode — an undesirable operating mode from the operational point of view. At a number of drainage installations of underground kimberlite mines, the pressure of the used sectional pumps exceeds the predicted total head by more than 1.7 times. The excessive supply of excess pressure of these mining drainage plants reduces the efficiency of their operation due to unproductive energy costs; because of this, the beneficial use of the excessive pressure of their sectional pumps is a demanded scientific and practical task.

Purpose of the work. This paper is devoted to the development and scientific substantiation of a technical solution aimed at combating the solid phase of mine water pumped out of the water-collecting headers of the underground kimberlite mines within the Russian Federation, through the beneficial use of excessive pressure equipment used by the pump equipment.

Method of research. To achieve this goal, an integrated approach was used, including: analysis of various literature sources on the subject of research, analysis of significant practical information on the operation of pumping equipment at underground kimberlite mines of the Russian Federation, analytical calculations, and experimental studies using a laboratory pumping unit based on a K8/18 centrifugal pump.

Results. On the basis of the scientific studies carried out by the author, a technical solution was proposed aimed at fighting the solid phase of mine water entering the water-collecting headers of the underground kimberlite mines of the Russian Federation. This technical solution is protected by patent of the Russian Federation.

Keywords: mine water, underground kimberlite mine, stage chamber pump, excessive pressure, sludge, device for spreading sludge, backwater, cyclone.

REFERENCES

1. Drozdov A. V. 2013, Assessment of the possibility of pumping drainage brines of the open pit and the Udachny mine into the Middle Cambrian aquiferous complex. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], no. 7 (78), pp. 32–40. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19959899>
2. Drozdov A. V., Kramskov N. P., Hansel G. N. 2011, Features of hydromechanical monitoring under water bodies in the diamond deposits of Western Yakutia. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], no. 1 (48), pp. 72–79. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15585929>
3. Ovchinnikov N. P., Zyryanov I. V. 2017, Estimation of durability of stage chamber pump of the underground kimberlite mines of PJSC ALROSA. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], no. 10, pp. 41–44. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.10.08> (In Russ.)
4. Ovchinnikov N. P. 2018 Problems of operation of electric pump units of the sectional type at the kimberlite mines of AK ALROSA and ways to solve them. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering], vol. 329, no. 6, pp. 66–73. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35410967>
5. Stashinov Yu. P., Bochenkov D., Volkov V. V. 2009, Technical and energy aspects of the use of an adjustable electric drive on the main drainage installations of mines. *Gornyi Informatsionno-Analiticheskii Byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 16, pp. 202–209. (In Russ.)
6. Petrovykh L. V., Marchenko A. Yu., Ivashchenko E. P., Marchenko M. Y., Saltanov S. N., Barinov I. M., Vikulov E. A. 2015, Determination of the required depth of regulation of drainage plants in conditions of high pump pressure. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 4 (40), pp. 62–66. URL: <https://iuggu.ru/download/2015-4-Petrovykh.pdf>
7. Timukhin S. A., Dmitriev S. V., Petrovykh L. V. 2011, Estimation of costs for maintenance of centrifugal type pumps taking into account their excessive pressure. *Izvestiya UGGU* [News of the State Mining University], No 25/26, pp. 102–104. (In Russ.)
8. Kosarev N. P., Molodtsov V. V., Timukhin S. A., Belov S. V., Uporov S. A., Shleivin V. V. 2003, Ways of energy saving at water-drainage installations of the mines of OAO “Sevuralboksitruda”. *Izvestiya ural'skoy gosudarstvennoy gorno geologicheskoy akademii* [News of the Ural State Mining and Geological Academy], no. 16, pp. 41–43. (In Russ.)
9. Timukhin S. A., Ugolnikov A. V., Petrovykh L. V., Stozhkov D. S., Lubinsky A. Yu. 2013, *Shakhtnaya vodootlivnaya ustanovka* [Water-drainage installations of the mine]. Patent RF no. 2472971.
10. Ovchinnikov N. P., Vikulov M. A. 2018, *Gidromekhanizirovanny kompleks rudnichnogo vodootliva* [Hydromechanized complex of mine drainage]. Patent RF no. 2649198. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/264/2649198.html>
11. Antoev K. P., Zarovnyaev B. N., Khristoforova A. A. 2017, An apparatus that analyzes the hydroabrasive wear of fiberglass pipes. *Journal of Friction and Wear*, vol. 38, issue 3, pp. 208–210. <https://doi.org/10.3103/S1068366617030023>
12. Kesler R. 2016, Considerations is selecting a positive displacement slurry pump. *Mining World*, vol. 13(4), pp. 34–37. URL: https://www.abel-pumps.com/en/Press/2016/MiningWorld_diaphragm_pump_slurry_pump.pdf
13. Patsera S., Protsiv V., Kosmin V. 2015, Feasible ways to improve the durability of the pumps' parts operating with hydroabrasive mixtures. *Mechanics, Materials Science and Engineering*. Vol. 1. P. 133–137. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4039.5286>
14. Dolganov A. V. 2013, Sludges of copper-pyrite mines: problems and ways of their solving. *Gornyi Informatsionno-Analiticheskii Byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 4, pp. 10–14. (In Russ.)
15. Aleksandrov V. I., Avksentiev S. Y. 2016, Vibration-based diagnostics of slurry pump technical state. *Indian journal of science and technology*, vol. 9, issue 5, pp. 1–6. <http://dx.doi.org/10.17485/ijst2016v9i587590>
16. Khalid Y. A., Sapuan S. M. 2007, Wear analysis of centrifugal slurry pump impellers. *Industrial lubrication and tribology*, vol. 59, issue 1, pp. 18–28. <https://doi.org/10.1108/00368790710723106>
17. Walker C. I. 2001, Slurry pump side-linerwear: comparison of some laboratory and field results. *Wear*, vol. 250, issue 1, pp. 81–87. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00613-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00613-5)

The article was received on May 29, 2018

* ovchinnlar1986@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4355-5028>