

## ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ОЧИСТКЕ ШАХТНЫХ ВОД ОТ КРУПНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Н. П. Овчинников<sup>1</sup>, И. В. Зырянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

<sup>2</sup> Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова» (МПТИ (ф) СВФУ), Мирный, Россия

**Аннотация:** погрузочно-доставочным машинам механоэнергетического участка подземного кимберлитового рудника «Удачный» АК «АЛРОСА» (ПАО) свойственны более частые отказы в сравнении с другими производственными участками, где используется аналогичное оборудование. Менее надежная работа указанных технологических машин механоэнергетического участка объясняется преждевременной потерей работоспособности электрооборудования в результате попадания в его элементы загрязненной жидкости в процессе чистки и откатки сгущенных шламо-иловых отложений. Установлено, что на рассматриваемом руднике наиболее интенсивное заиливание характерно для водосборных горных выработок участковой водоотливной установки, время функционирования которых между чистками обычно составляет до пяти дней. В настоящей научно-исследовательской работе приведен подробный обзор известных технологических решений по снижению интенсивности заиливания водосборных горных выработок в условиях шахтного и рудничного водоотлива. Установлено, что для снижения интенсивности заиливания водосборников участковой водоотливной установки кимберлитового рудника «Удачный» необходимо минимизировать попадание в них механических крупных примесей размером более 0,2 мм. Для решения данной актуальной научно-практической задачи авторами статьи был предложен и в достаточной мере обоснован специальный гидромеханизированный комплекс по очистке шахтных вод от крупных механических примесей.

**Ключевые слова:** кимберлитовый рудник, шахтная вода, водоотливная установка, шлам, заиливание водосборника, погружной насос, гидроциклон, виброрито.

**Для цитирования:** Овчинников Н. П., Зырянов И. В. Гидромеханизированный комплекс по очистке шахтных вод от крупных механических примесей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–2. – С. 114–123. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_52\_0\_114.

### Hydro-mechanized complex for the purification of mine waters from large mechanical impurities

N. P. Ovchinnikov<sup>1</sup>, I. V. Zyryanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M. K. Ammosov North-Eastern Federal university, Yakutsk, Russia;

<sup>2</sup> Polytechnic Institute (branch) of M. K. Ammosov North-Eastern Federal university (MPIT (branch) of NEFU), Mirny, Russia, ZyryanovIV@alrosa.ru

**Abstract:** A loading and delivery machines of the mechano-energetic sector of the underground kimberlite mine Udachny of AK ALROSA are characterized by frequent failures in comparison

with other production sectors where similar equipment is used. The less reliable operation of these technological machines of the mechanoenergetic sector is explained by the premature loss of operability of electrical equipment as a result of contaminated liquid entering its elements during cleaning and rolling back of condensed mud deposits. It has been established that the most intensive silting at the mine under consideration is characteristic of the drainage mine workings of the district water-drainage system, the operation time of which between cleanings is usually up to five days. This research paper provides a detailed overview of known technological solutions to reduce the intensity of silting of drainage mine workings in conditions of mine water-drainage. It has been established that in order to reduce the intensity of silting of the water reservoir of the district water-drainage system of the Udachny kimberlite mine, it is necessary to minimize the ingress of large mechanical impurities larger than 0.2 mm into them as much as possible. To solve this urgent scientific and practical problem, the authors of the article proposed and sufficiently justified a special hydro-mechanized complex for cleaning mine waters from large mechanical impurities.

**Key words:** kimberlite mine, mine water, water-drainage installation, mud, silting of the water reservoir, immersional pump, hydrocyclone, shale shaker.

**For citation:** Ovchinnikov N. P., Zyryanov I. V. Hydro-mechanized complex for the purification of mine waters from large mechanical impurities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):114–123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_52\_0\_114.

### Постановка задачи

Межремонтный ресурс погружно-доставочных машин (далее — ПДМ) механоэнергетического участка (далее — МЭУ) подземного кимберлитового рудника «Удачный» не превышает 120 ч (табл. 1), что обычно в 1,3...1,4 раза ниже, чем у аналогичных машин, задействованных на других производственных участках рудника.

Более низкая долговечность ПДМ участка МЭУ объясняется частыми отказами генератора и стартера, что связано с попаданием в них жидкости в процессе чистки водосборных горных выработок от осевшей шламо-иловой пульпы и ее дальнейшей откатки. Наиболее быстрое заиливание характерно для водосборников участковой водоотливной установки (далее — УНС) рудника (табл. 2).

Проблеме интенсивного заиливания водосборных горных выработок в условиях шахтного и рудничного водоотлива посвящено достаточное количество исследований. Несмотря на многообразие работ, описанные в них технологии

были бы малоэффективны в условиях эксплуатации УНС.

Существенным минусом водоотливных установок [1, 2], является то, что предусматриваемое при их функционировании взмучивание механических примесей подвергает детали насосного оборудования интенсивному гидробразивному изнашиванию.

Основным недостатком, сдерживающим практическое применение водоотливной установки [3], является работа отдельных узлов ее насосного оборудования со стороны всасывания при давлении выше критического значения (более, чем 0,2 МПа).

Широкое применение гидроэлеваторов в системах шахтного и рудничного водоотлива [4, 5] сдерживает их низкий КПД, обычно составляющий 10...15%.

Применять водоотливные установки с самоочищающимися водосборниками [6] целесообразней только в том случае, когда при подземной разработке месторождений полезных ископаемых используется гидрозакачка выработанного пространства. На рассматри-

Таблица 1

**Основные сведения о ПДМ участка ПМЭУ****Basic information about loading and delivery machines of the mechano-energetic sector of underground mine**

| Модель ПДМ           | Межремонтный ресурс, ч | Год введения в эксплуатацию на руднике |
|----------------------|------------------------|--|
| Caterpillar R1600B   | 115                    | 2018                                   |
| Sandvik LH410        | 120                    | 2020                                   |
| GH Fahrzeuge LH 10EX | 74                     | 2017                                   |

Таблица 2

**Основные сведения о работе главного и участкового водоотлива****Basic information about operation of head and district the water-drainage**

| Наименование водоотливной установки     | Тип и количество водосборных горных выработок   | Время заиливания одной водосборной горной выработки, сут. | Время чистки одной водосборной горной выработки, сут. |
|---|---|---|---|
| Главная водоотливная установка (ГВУ)    | Осветляющие резервуары № 3 (780 м <sup>3</sup> ) и № 4 (900 м <sup>3</sup> ), водосборники № 1 (900 м <sup>3</sup> ) и № 2 (1100 м <sup>3</sup> ), шламоотстойник (900 м <sup>3</sup> ) | 25...30   | 12...14   |
| Участковая водоотливная установка (УНС) | 2 водосборника с вместимостью каждого 100 м <sup>3</sup>  | 3...7   | 3...5   |

ваемом руднике вместо технологии закладки выработанного пространства используется технология с этажным самообрушением горных пород. По этой же причине внедрение водоотливной установки [7] также является нецелесообразным решением.

Одним из сдерживающих факторов эффективного применения водоотливной установки [8] является высокая стоимость высоконапорных погружных насосов. К тому же вероятен больший риск отказа гибкого трубопровода насоса при работе установки.

Использование механизированного комплекса для очистки шахтных вод отшламо-иловой пульпы [9] будет

затруднять из-за низкой эффективности вакуумного насоса, что подтверждается опытно-промышленными испытаниями самоходной вакуумной установки «TransVers Vac» фирмы «Henscon» на горизонте «отм. – 611» рудника «Удачный».

Отличительной особенностью процесса заиливания водосборников УНС является то, что осевшая в нихшламо-иловая пульпа в основном (до 60...70%) представлена крупными механическими примесями (классом +0,2 мм). Данная закономерность объясняется малым временем отстаивания шахтных вод в водосборниках, что связано с их недостаточной аккумулярую-

щей способностью. Более мелкие примеси, составляющие преобладающую долю от всей твердой фазы шахтных вод, просто не успевают осесть и увлекаются в трубопроводную сеть насосного оборудования.

Таким образом, для увеличения времени заиливания водосборников УНС необходимо максимально ограничить попадание в них крупных механических примесей.

Предлагаемое техническое решение

Для снижения концентрации крупных механических примесей, поступаемых вместе с шахтной водой в водосборники, предлагается специальный гидромеханизированный комплекс по очистке шахтных вод.

Схема работы данного комплекса представлена на рис. 1.

Погружной насос 1, установленный в начальной части водосборника 2, отделенной от всей его остальной части насыпью 3, откачивает поступающую из водоотливной канавки 4 шахтную воду и подает ее в гидроциклон 5. Осветленная шахтная вода, выходящая из трубопровода, соединенного со сливным патрубком гидроциклона, поступает в основную часть

водосборника и затем откачивается секционными насосами 6 водоотливной установки на вышележащие горизонты. Крупные механические примеси, выходящие вместе с шахтной водой из песковой насадки гидроциклона, поступают на вибросито 7, в котором происходит процесс их обезвоживания. После обезвоживания крупных механических примесей на вибросите оставшаяся осветленная шахтная вода самотеком поступает в водоотливную канавку. Сам обезвоженный твердый продукт вывозится ПДМ в комплекс загрузки скипа и затем транспортируется на дневную поверхность.

Ключевым звеном в представленном техническом решении является гидроциклон, чьи параметры работы во многом зависят как от его собственных конструктивных характеристик, так и от гидравлических параметров погружного насоса [10–12].

Для эффективного извлечения механических примесей классом + 0,14 мм из шахтных вод необходимо использовать гидроциклоны диаметром от 650 мм и менее. При этом манометрическое давление на входе

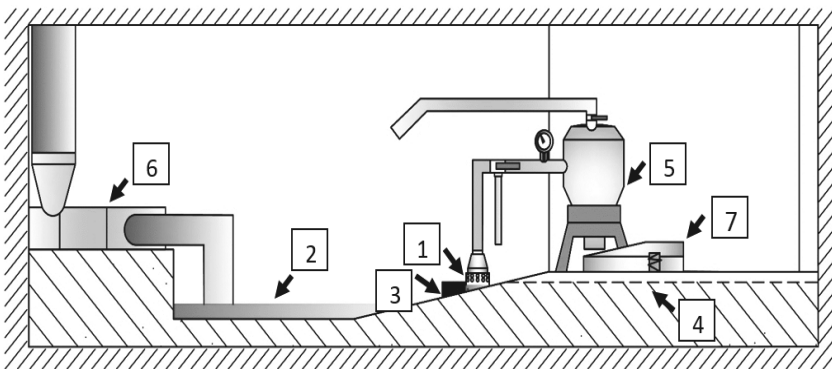


Рис. 1. Схема работы предлагаемого комплекса: 1 – погружной насос; 2 – водосборник; 3 – насыпь; 4 – водоотливная канавка; 5 – гидроциклон; 6 – секционный насос; 7 – вибросито

Fig. 1. Scheme of operation of the proposed complex: 1 – immersional pump; 2 – water reservoir; 3 – dike; 4 – drainage groove; 5 – hydrocyclone; 6 – sectional pump; 7 – shale shaker

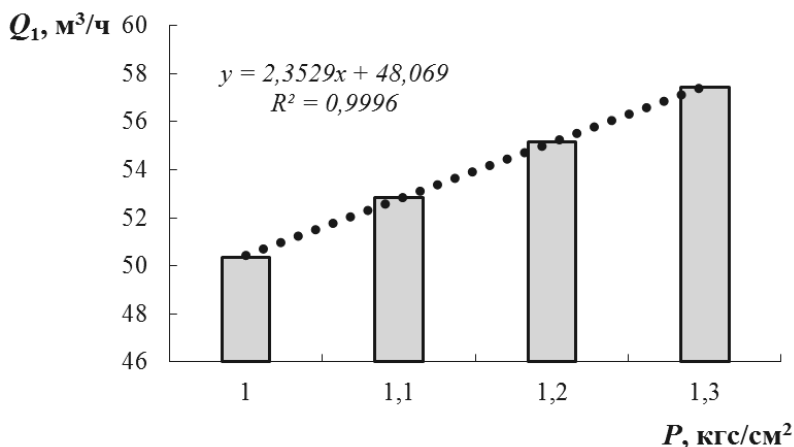


Рис. 2. Зависимость производительности гидроциклона ГЦ-250 по питанию от давления на его входе

Fig. 2. Dependence of the performance of the GCP-250 hydrocyclone on overflow on the pressure at inlet

в устройство должно лежать в диапазоне 1...1,3 кгс/см<sup>2</sup>.

Практика показывает, что максимальный водоприток в водосборники УНС составляет порядка 50...60 м<sup>3</sup>/ч. В соответствии с методикой, представленной в источнике [10], такую производительность по питанию  $Q_1$  при соблюдении рабочего манометрического давления  $P$  на входе в устройство может обеспечить гидроциклон ГЦП-250 (рис. 2).

Детали гидроциклона изготавливаются из полиуретана, так как по сравнению с другими материалами при аналогичной стоимости отливки его износостойкость в 4...9 раз выше [13, 14]:

Для обеспечения безопасной и эффективной работы по классификации механических примесей линия питания гидроциклона оснащена байпасом и шаровым краном, а линия слива — шаровым краном.

Часовая производительность погружного насоса  $Q_H$  должна удовлетворять следующему требованию:

$$Q_H = Q + q, \quad (1)$$

где  $Q$  — средний часовой водоприток в водосборники УНС;  $q$  — количество шахтной воды, поступающей в водоотливную канавку после обезвоживания продуктов выхода из песковой насадки гидроциклона.

Шахтные воды, поступающие в горные выработки рудника «Удачный», представляют собой химически активные среды. В связи с этим в качестве насосного оборудования, питающего гидроциклон в предлагаемом гидромеханизированном комплексе, рекомендуется использовать погружные шламовые насосы фирмы «Flygt». Данные насосы уже успели себя хорошо зарекомендовать в системах водоотлива подземных кимберлитовых рудников России [8].

Погружной насос должен быть обязательно оснащен средствами автоматизации, которые будут отвечать за его автоматический пуск и останов в зависимости от уровня воды в месте монтажа.

Для подбора вибросита необходимо руководствоваться производительностью гидроциклона по пескам, которая напрямую зависит от давления на входе в устройство.

В настоящее время отсутствует единая методика расчета процесса гидроциклонирования, что объясняется сложностью гидродинамических процессов, протекающих в гидроциклоне [10]. Погрешность расчета отдельных параметров гидроциклонирования, в том числе и производительности по пескам по отношению к результатам экспериментальных исследований, может достигать до 100%.

Для определения производительности гидроциклона ГЦП-250 по пескам  $Q_3$  при различных значениях манометрического давления на его входе были проведены экспериментальные исследования на лабораторной насосной установке с гидроциклоном-моделью, установленным на линии нагнетания (рис. 2) [9].

Конструктивные характеристики гидроциклона-модели приведены в табл. 3. Как видно из табл. 4, все соотношения между основными конструктивными характеристиками гидроциклонов приблизительно равны.

Таблица 3  
**Конструктивные характеристики гидроциклона-модели**  
*Design characteristics of the hydrocyclone model*

| Параметр      | Значение |
|---------------|----------|
| $C$ , мм      | 275      |
| $D_r$ , мм    | 67       |
| $D_{вх}$ , мм | 20       |
| $D_{сл}$ , мм | 26,6     |
| $D_n$ , мм    | 8,4      |

Таблица 4  
**Геометрические соотношения между конструктивными характеристиками гидроциклонов**  
*Geometric relations between the design characteristics of hydrocyclones*

| Величина  | $C / D_r$ | $D_{вх} / D_r$ | $D_{сл} / D_r$ | $D_n / D_r$ |
|---|-----------|----------------|----------------|-------------|
| Соотношение между конструкционными параметрами гидроциклона ГЦП-250 | 4,24      | 0,26           | 0,32           | 0,12        |
| Соотношение между конструкционными параметрами гидроциклона-модели  | 4,1       | 0,3            | 0,4            | 0,125       |

При проведении экспериментальных исследований давление на входе в гидроциклон-модель фиксировалось манометром, установленным на улите насоса (рис. 3, позиция 1) и регулировалось с помощью шарового крана (рис. 3, позиция 2).

На основе корреляционно-регрессионного анализа результатов экспериментальных исследований получено уравнение регрессии вида  $Q_2 = 121,43P - 6,0714$ , которое позволило рассчитать производительность гидроциклона ГЦП-250 по пескам при манометрическом давлении  $P$  в интервале  $1 \dots 1,3$  кгс/см<sup>2</sup> (рис. 4).

Исходя из рассчитанной производительности  $Q_2$ , в качестве вибросита целесообразнее использовать оборудование ВСМ-01 производительностью до 70 м<sup>3</sup>/ч. Выбранное вибросито хорошо себя зарекомендовало при очистке буровых растворов от механических примесей классом +0,1 мм и выше [15].

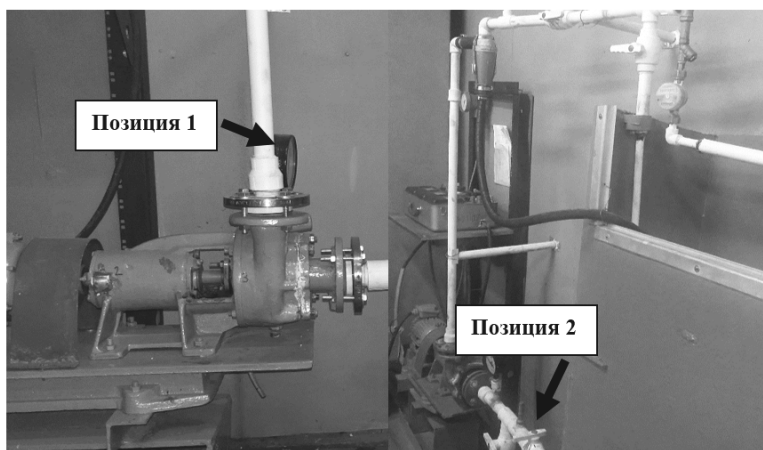


Рис. 3. Лабораторная насосная установка с гидроциклоном-моделью  
 Fig. 3. Laboratory pump unit with hydrocyclone model

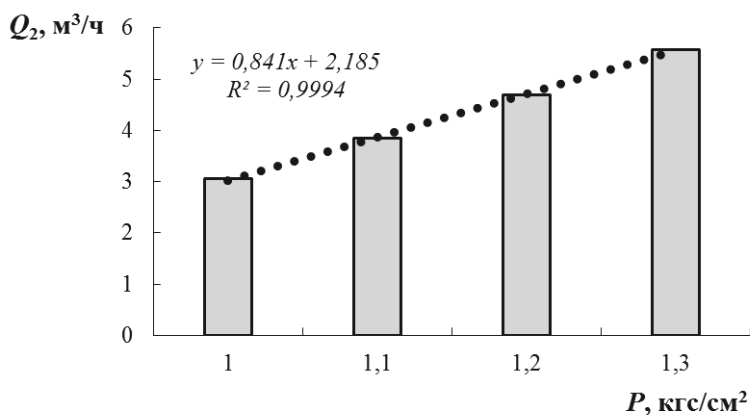


Рис. 4. Зависимость производительности гидроциклона ГЦП-250 по пескам от давления на его входе  
 Fig. 4. Dependence of the performance of the GCP-250 hydrocyclone on underflow on the pressure at inlet

Внедрение рассмотренного в работе гидромеханизированного комплекса по очистке шахтных вод от крупных механических примесей позволит повысить время заиливания водосборников УНС в среднем в 2...3 раза.

#### Заключение

1. Чистка водосборных горных выработок от осевшей шламоиловой пульпы на руднике «Удач-

ный» способствует снижению межремонтного ресурса ПДМ участка МЭУ в 1,3...1,4 раза по сравнению с аналогичными машинами, используемыми при выполнении других технологических операций.

2. Основным источником быстрого заиливания водосборников в системе участкового водоотлива рудника «Удачный» являются механические примеси классом +0,2 мм.

3. Увеличения времени функционирования водосборников УНС в среднем в 2...3 раза можно добиться путем применения предлагаемого гидромеханизированного комплекса по очистке шахтных вод от крупных механических примесей.

### **Вклад авторов**

*Овчинников Н. П.* (генерация идеи исследования, выполнение задач исследования, написание текста);

*Зырянов И. В.* (постановка задач исследования, написание текста).

Конфликт интересов авторов отсутствуют.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Попов В. М.* Рудничные водоотливные установки. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1983. — 304 с.
2. *Овчинников Н. П.* Способ борьбы с твердой фазой шахтных вод путем полезного использования избыточной напорности насосного оборудования // Известия Уральского государственного горного университета. — 2018. — Вып. 4(52). — С. 108—113. DOI: 10.21440/2307—2091—2018—4—108—113
3. Патент РФ № 2472971, 20.01.2013. Тимухин С. А., Угольников А. В., Петровых Л. В., Стожков Д. С., Лубинский А. Ю. Шахтная водоотливная установка, 2013. Бюл. № 2.
4. *Тимухин С. А., Долганов А. В., Петровых Л. В.* К вопросу обоснования параметров гидроэлеваторных установок насосных станций главного водоотлива шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 2. — С. 118—120.
5. *Долганов А. В.* Шламы медно-колчеданных рудников: проблемы и пути решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 4. — С. 10—14.
6. *Ким Ч. Х.* Разработка технологической схемы водоотливной установки с самоочищающимися водосборниками: (КНДР): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Донецк: Донецкий политехнический институт, 1990. — 20 с.
7. *Горелкин И. М.* Гидромеханизированный комплекс оборудования для очистки воды в системах шахтного водоотлива // Записки Горного института. — 2014. — Т. 209. — С. 170—172.
8. *Овчинников Н. П.* Способ борьбы с заиливанием водосборников участковых водоотливных установок кимберлитовых рудников // Записки Горного института. — 2018. — Т. 231. — С. 317—320. DOI:10.255515/pmi.2018.3.317
9. *Овчинников Н. П.* Повышение ресурса секционных насосов главного водоотлива подземного кимберлитового рудника «Удачный» // Вестник машиностроения. — 2018. — № 9. — С. 48—52.
10. *Бушмелев В. А., Вольман Н. С.* Процессы и аппараты целлюлозно-бумажного производства. — М.: Лесная промышленность, 1969. — 408 с.
11. *Samaeili M., Hashemi J., Sabeti M., Sharifi K.* Modelling and analyzing hydrocyclone performances // Iranian journal of chemistry and chemical engineering-international english edition. 2017, vol. 36, no. 6, pp. 177—190.
12. *Jiang L., Liu P., Zhang Y., Yang X.* Particle monition characteristics in W-Shaped hydrocyclones // Separations. 2021, vol. 8, no. 8, 121. DOI:10.3390/separations8080121.
13. *Shuang X., Kevin A. L., Hailin W., Fengchao H., Hung-Jue S.* Physical correlation between,abrasive wear performance and scratch resistance in model polyurethane elastomers // Wear. 2018, vol. 418—419, pp. 281—289. DOI: DOI:10.101 6/J.WEAR.2018.10.009.
14. *Kwiatkowski K., Nachman M.* The abrasive wear resistance of the segmented linear polyurethane elastomers based on a variety of polyols as soft segments // Polymers. 2017, vol. 9, no. 12, 705. DOI: 10.3390/polym9120705.



15. Мищенко В. И., Кортунов А. В. Вибросита и гидроциклонные устройства для очистки буровых растворов // Бурение и нефть. — 2008. — № 3. — С. 8–10. **VIAB**

## REFERENCES

1. Popov V. M. *Rudnichnye vodootlivnye ustanovki* [Mine drainage installations]. 2nd ed., reprint and additional, Moscow, Nedra, 1983 304 p. [In Russ]
2. Ovchinnikov N. P. The method of fighting with the solid phase of mine waters by the beneficial use of excessive pressure pumping equipment. News of the Ural State Mining University. 2018, no. 4(52), pp. 108–113. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307–2091–2018–4–108–113
3. Ugol'nikov A. V., Petrovyh L. V., Stozhkov D. S., Lubinskij A. Yu. Patent RU 2472971, 20.01.2013. [In Russ]
4. Timuhin S. A, Dolganov A. V., Petrovyh L. V. On the issue of substantiating the parameters of hydroelevator installations of main drainage pumping stations in pits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011, no. 2, pp. 118–120. [In Russ]
5. Dolganov A. V. Slurry of coppers and pyrites pits: problems and ways of decision. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013, no. 4, pp. 10–14. [In Russ]
6. Kim Ch. H. Razrabotka tekhnologicheskoy skhemy vodootlivnoj ustanovki s samoochishchayushchimisya vodosbornikami: (KNDR) [The development of a technological scheme of a drainage system with self-cleaning water collectors: (NK)]: Kandidat's autoreferat of thesis, Donetsk, DPI, 1990, 20 p. [In Russ]
7. Gorelkin I. M. *Gidromekhanizirovannyj kompleks oborudovaniya dlya ochistki vody v sistemah shahtnogo vodootliva* [The hydro-mechanized complex of equipment for water purification in mine drainage systems]. Journal of mining institute. 2014, vol. 209, pp. 170–172. [In Russ]
8. Ovchinnikov N. P. A *Sposob bor'by s zailivaniem vodosbornikov uchastkovykh vodootlivnykh ustanovok kimberlitovykh rudnikov* [Method for controlling siltation of water catchments of district drainage systems of kimberlite mines]. Journal of mining institute. 2018, vol. 231, pp. 317–320. [In Russ] DOI: DOI:10.255515/pmi.2018.3.31710
9. Ovchinnikov N. P. *Povyshenie resursa sekcionnykh nasosov glavnogo vodootliva podzemnogo kimberlitovogo rudnika "Udachnyj"* [Increase of the resource of sectional pumps of the main dewatering of the "Udachny" underground kimberlite mine]. Bulletin of Mechanical Engineering. 2018, no. 9, pp. 48–52. [In Russ]
10. Bushmelev V. A., Vol'man N. S. *Processy i apparaty cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [The pulp and paper production processes and devices]. Moscow, Lesnaya promyshlennost', 1969, 408 p. [In Russ]
11. Samaeili M., Hashemi J., Sabeti M., Sharifi K. Modelling and analyzing hydrocyclone performances. Iranian journal of chemistry and chemical engineering-international english edition. 2017, vol. 36, no. 6, 2017. pp. 177–190.
12. Jiang L., Liu P., Zhang Y., Yang X. Particle monition characteristics in W-Shaped hydrocyclones. Separations. 2021, vol., 8, no. 8, 121. DOI: <https://doi.org/10.3390/separations8080121>
13. Shuang X., Kevin A. L., Hailin W., Fengchao H., Hung-Jue S. Physical correlation betweenabrasive wear performance and scratch resistance in model polyurethane elastomers. Wear. 2018, vol. 418–419, pp. 281–289 DOI: 10.1016/j.wear.2018.10.00916.
14. Kwiatkowski K., Nachman M. The abrasive wear resistance of the segmented linear polyurethane elastomers based on a variety of polyols as soft segments. Polymers. 2017, vol. 9, no. 12, 705 DOI: 10.3390/polym9120705.
15. Mishenko V. I., Kortunov. A. V. *Vibrosita i gidrociklonnye ustrojstva dlya ochistki burovyyh rastvorov* [Shale shaker and hydrocyclonic devices for mud control]. Drilling and oil. 2008, no. 3, pp. 8–10. [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Овчинников Николай Петрович* — канд. техн. наук, доцент, директор, <http://orcid.org/0000-0002-4355-5028>, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, 677000, Россия, [ovchinnlar1986@mail.ru](mailto:ovchinnlar1986@mail.ru);

*Зырянов Игорь Владимирович* — докт. техн. наук, заведующий кафедрой, Мирнинский политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Мирный, 678170, Россия, [iv.zyrianov@s-vfu.ru](mailto:iv.zyrianov@s-vfu.ru).

**Для контактов:** *Овчинников Н. П.*, [ovchinnlar1986@mail.ru](mailto:ovchinnlar1986@mail.ru).

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Ovchinnikov N. P.*, Cand. Sci (Eng.), Assistant professor, director, <http://orcid.org/0000-0002-4355-5028>, M. K. Ammosov North-Eastern Federal university, Yakutsk, 677000, Russia, [ovchinnlar1986@mail.ru](mailto:ovchinnlar1986@mail.ru);

*Zyryanov I. V.*, Dr. Sci (Eng.), head of chair, Mirny Polytechnic Institute (branch) M. K. Ammosov North-Eastern Federal university, Mirny, 678170, Russia, [iv.zyrianov@s-vfu.ru](mailto:iv.zyrianov@s-vfu.ru).

Получена редакцией 01.10.2021; получена после рецензии 15.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 01.10.2021; received after the review 15.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

