Оригинальная статья / Original Paper

https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-206-210

Обеспечение эффективной работы рудничной водоотливной установки в условиях перекачивания высокоабразивных и агрессивных рассолов

Н.П. Овчинников[1] ✉, И.В. Зырянов[2]
[1] Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация
[2] Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Мирном, г. Мирный, Российская Федерация
✉ ovchinnlar1986@mail.ru

Резюме: Современный этап промышленного освоения многих рудных месторождений характеризуется ухудшением их гидрогеологических и горнотехнических условий отработки. Это делает поиск и разработку инженерных решений, направленных на обеспечение бесперебойной работы водоотливных установок при малых эксплуатационных затратах, одним из наиболее востребованных направлений прикладных исследований. Обоснование и обеспечение рациональных режимов работы рудничных водоотливных установок при перекачивании притоков воды с особо жесткими физико-химическими показателями на основе взаимовлияния их технической и экономической сторон функционирования является актуальной научно-практической задачей. Решение указанной задачи позволит обеспечить устойчивое развитие отечественной горнорудной промышленности в среднесрочной перспективе. Объектом исследования выступили секционные насосы, используемые при перекачивании высокоабразивных и агрессивных рассолов в процессе подземной отработки месторождений кимберлитовых руд. Для решения поставленной задачи на первом этапе исследований была выполнена оценка влияния регулируемых параметров рудничной водоотливной установки на ее надежность и экономичность функционирования. По результатам проведенной комплексной оценки были обоснованы рациональные режимы функционирования рудничных водоотливных установок в условиях перекачивания высокоабразивных и агрессивных рассолов. Разработаны и подробно описаны инженерные решения, направленные на обеспечение эффективной работы рудничных водоотливных установок при перекачивании водопритоков с особо жесткими физико-химическими характеристиками.

Ключевые слова: водоотливная установка, секционные насосы, рудничные рассолы, концентрация твердых частиц, водопритоки, осветление воды, обезвоживание продуктов заиления, механизированный комплекс очистки

Для цитирования: Овчинников Н.П., Зырянов И.В. Обеспечение эффективной работы рудничной водоотливной установки в условиях перекачивания высокоабразивных и агрессивных рассолов. *Горная промышленность*. 2026;(5):206–210. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-206-210

Ensuring efficient operation of a mine dewatering plant when pumping highly abrasive and aggressive brines

N.P. Ovchinnikov[1] ✉, I.V. Zyryanov[2]
[1] M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation
[2] Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, Russian Federation
✉ ovchinnlar1986@mail.ru

Abstract: The current stage of industrial development of many ore deposits is characterized by deteriorating hydrogeological and mining conditions. This makes the search for and development of engineering solutions to ensure uninterrupted operation of dewatering plants at low operating costs one of the most actual areas of applied research. Thus, justification and provision of rational operating modes for mine dewatering plants used for pumping water flows with particularly harsh physical and chemical properties, based on mutual impact of their technical and economic aspects of operation, constitutes a relevant scientific and practical problem, which solution will ensure sustainable development of the domestic mining industry in the medium term. The object of the study was multistage sectional pumps used for pumping highly abrasive and aggressive brines during underground mining of kimberlite ore deposits. To solve the problem, the first stage of the research made an assessment of

the impact of the adjustable parameters of the mine dewatering plant on its reliability and cost-effectiveness of its operation. The results of the performed comprehensive assessment were used to justify the rational operating modes for mine dewatering plants utilized for pumping highly abrasive and aggressive brines. The paper describes in detail the developed engineering solutions aimed at ensuring efficient operation of the mine dewatering plants used for pumping water inflows with particularly harsh physical and chemical properties.

Keywords: dewatering plant, multistage sectional pumps, underground brines, solids concentration, inflow of water, water clarification, dehydration of sediment accumulations, powered purification complex

For citation: Ovchinnikov N.P., I. Zyryanov V. Ensuring efficient operation of a mine dewatering plant when pumping highly abrasive and aggressive brines. *Russian Mining Industry.* 2026;(5):206–210. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-206-210

Введение

Организация и эксплуатация водоотлива относятся к числу первостепенных (и в то же время наиболее затратных) технологических задач при освоении обводненных месторождений твердых полезных ископаемых [1–5].

Современные векторы развития отечественной горнодобывающей промышленности указывают на предстоящее увеличение количества разрабатываемых рудных месторождений с осложненными гидрогеологическими характеристиками. Данные предпосылки закономерно повлекут за собой ужесточение требований к организации и эксплуатации систем рудничного водоотлива, так как работоспособность насосного оборудования, в частности секционных насосов, зависит от физико-химических показателей водопритоков (содержание твердых частиц в воде, ее минерализация и кислотность) [6–8].

Накопленный опыт в области горной механики свидетельствует, что существующие научные разработки по совершенствованию водоотливных комплексов и насосостроению не позволяют обеспечить надежную и экономичную работу секционных насосов на рудных месторождениях, характеризующихся высоким содержанием в притоках воды нерастворимых механических примесей и растворимых солей.

Таким образом, обоснование и обеспечение рациональных режимов функционирования рудничных водоотливных установок в условиях перекачивания водопритоков с особо жесткими физико-химическими показателями на основе взаимовлияния технической и экономической сторон организации процесса водоотведения является актуальной научно-практической задачей, решение которой позволит обеспечить устойчивое развитие горнорудной промышленности страны в среднесрочной перспективе.

В качестве объекта исследования были выбраны секционные насосы, применяемые на подземных кимберлитовых рудниках Российской Федерации при отведении высокоабразивных и агрессивных рассолов на дневную поверхность.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи предусматривалась оценка влияния регулируемых параметров водоотливной установки, определяющих ресурс секционных насосов, на ее надежность и экономичность функционирования.

Под регулируемыми параметрами установки следует понимать концентрацию твердых частиц в водопритоках k_{tv}, подачу насоса на момент вывода в капремонт Q_{pr} и риск работы насоса в аварийном режиме, выраженный через поправочный коэффициент k_{av} (при условии надежной защиты ротора от разрушения при осевом сдвиге указанный коэффициент принимается равным 1,1, в остальных случаях – 1).

В качестве оценочных критериев применялись коэффициент технического использования насосного оборудования k_{ti}, а также удельные эксплуатационные затраты на перекачивание им водопритоков Z_v (руб/м³). Расчеты выбранных оценочных критериев проводились по формулам, приведенным в работе [9].

Оценка влияния параметров k_{tv}, Q_{pr} и k_{av} на показатели k_{ti} и Z_v в условиях перекачивания высокоабразивных и агрессивных рассолов была выполнена на примере работы секционных насосов модели НЦСК 350-1100 при водопритоке q_{vod} = 3 млн м³/год.

Результаты

Значения показателей k_{ti} и Z_v в зависимости от концентрации k_{tv} при различных вариациях параметров Q_{pr} и kav, а также технологических схемах водоотведения приведены на рис. 1 и 2 в виде кривых.

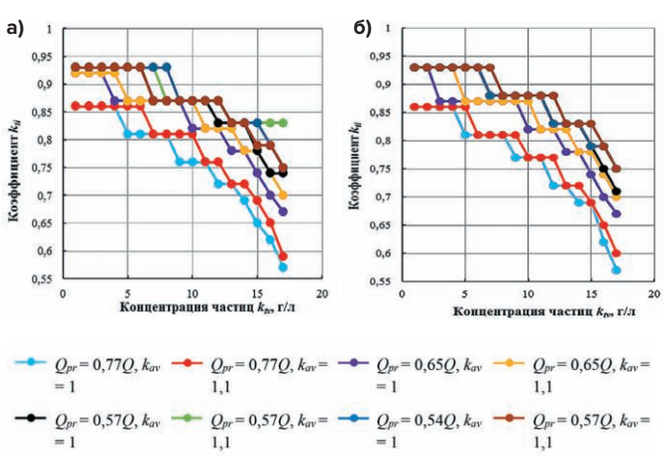


Рис. 1
Коэффициент технического использования насосов k_{ti} в зависимости от концентрации твердых частиц в воде k_{tv}:
а – схема откачки «насос-трубопровод»;
б – схема откачки «2 насоса-трубопровод»

Fig. 1
Utilization coefficient of the pumps k_{ti} as a function of the solids concentration in water k_{tv}:
a – the '*pump-pipeline*' pumping layout;
б – the '*two pumps-pipeline*' pumping layout

По результатам сопоставления кривых, представленных на рис. 1 и 2, установлено, что рациональные режимы работы водоотливных установок при перекачивании насосным оборудованием водопритоков с особо жесткими физико-химическими характеристиками (по критериям надежности и экономичности их отведения) обеспечиваются при следующих условиях эксплуатации: концентрация твердых частиц в перекачиваемой среде – не более 4 г/л, производительность секционного насоса на момент

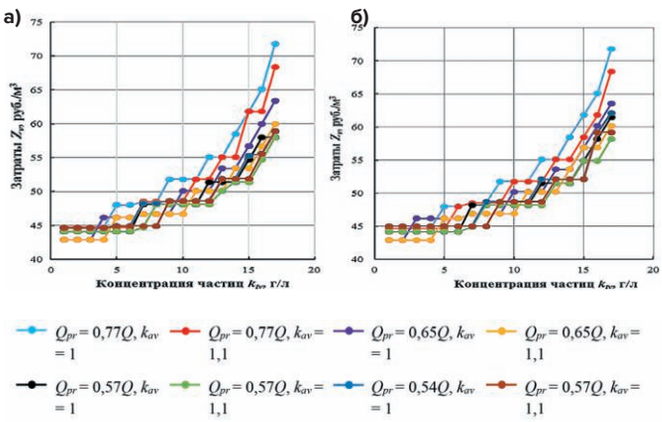


Рис. 2
Удельные эксплуатационные затраты на перекачивание водопритоков Z_v в зависимости от концентрации твердых частиц в воде k_{tv}:
а – схема откачки «насос-трубопровод»;
б – схема откачки «2 насоса-трубопровод»

Fig. 2
The specific operating costs Z_v for pumping water inflows as a function of the solids concentration in water k_{tv}:
a – the '*pump-pipeline*' pumping layout;
б – the '*two pumps-pipeline*' pumping layout

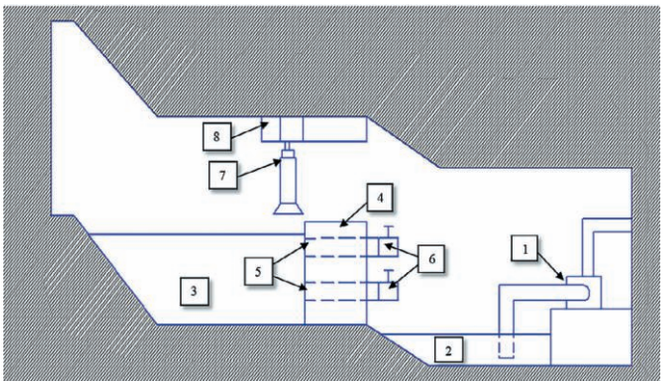


Рис. 3
Главная водоотливная установка с функцией обезвоживания продуктов заиления в отстойниках:
1 – секционные насосы;
2 – водосборник; 3 – отстойник;
4 – бетонная перемычка;
5 – дренажные трубы;
6 – шаровые краны;
7 – погружной насос;
8 – кран-балка

Fig. 3
Main water pumping station with dehydration of the sediment accumulations in settling tanks:
1 – sectional pumps;
2 – water collector;
3 – settling tank;
4 – concrete partition;
5 – drain pipes; 6 – ball valves; 7 – submersible pump;
8 – overhead crane

вывода в капитальный ремонт – 65% от номинальной при условии надежной защиты его ротора от разрушения при осевом сдвиге.

Способы управления регулируемыми параметрами. Применительно к высокоабразивным и агрессивным рассолам наиболее эффективным способом управления фактором k_{tv} в условиях главного водоотлива является традиционный метод их осветления с масштабированием параметров горизонтальных отстойников. В то же время применение отстойников повышенной вместимости приведет к возрастанию объема ило-шламовых отложений. Так как восстановление исходной аккумулирующей способности заиленной водосборной сети с помощью самоходной техники имеет временные ограничения, то максимально возможный эффект от использования отстойников больших размеров может быть получен только при условии оптимизации процесса обезвоживания продуктов заиления.

Технологическая схема главной водоотливной установки, позволяющая значительно снизить исходную концентрацию твердых частиц в высокоабразивных и агрессивных рассолах (не более 4 г/л) на стадии предварительного осветления в отстойниках при обеспечении их полной очистки от продуктов заиления в отведенные сроки, приведена на рис. 3.

Эксплуатация отстойников осуществляется по принципу попеременного действия, т.е. указанные водосборные емкости функционируют поочередно, меняясь технологическими режимами (режимы осветления воды и обезвоживания продуктов заиления).

Режим осветления воды. В работающий отстойник поступает общий приток воды по руднику. В процессе гравитационного отстаивания осветленная жидкая фаза переливается через перемычку и самотеком по водоотливным канавкам направляется в один из двух водосборников (также функционирующих попеременно). Из приемного колодца водосборника осветленная вода подается секционными насосами на поверхность.

Режим обезвоживания продуктов заиления. После завершения первичного отстаивания осветленный верхний слой воды из отстойника сбрасывается в действующий водосборник через дренажные трубы, расположенные в верхней части перемычки. По мере уплотнения осадка и дальнейшей седиментации твердых частиц жидкая фаза продуктов заиления отводится последовательно из промежуточной и придонной зон через трубопроводы, смонтированные в средней и нижней частях перемычки, соответственно. Завершающим этапом является удаление и откатка сгущенных продуктов заиления с помощью погрузочно-доставочных машин.

Для обоснования рациональной вместимости отстойников усовершенствованной конструкции получена следующая регрессионная модель:

$$V_r = a \cdot q_{vod}^{\ b}, \quad (1)$$

где a и b – параметры регрессии, учитывающие плотность водопритоков ρ_{vod} и производственную мощность горнодобывающего предприятия A, влияющую на содержание твердых частиц в воде (табл. 1).

В отличие от главных водоотливных установок, системы участкового водоотлива горнодобывающих предприятий, как правило, не включают отстойники. В результате вода поступает в водосборники без предварительного осветления. Применение водосборников увеличенных размеров в системах участкового водоотлива сдерживается неоправданно высокими капитальными и эксплуатационными затратами.

На рис. 4 представлен разработанный механизированный комплекс по очистке подконвейерного пространства от технологических просыпей на основном горизонте рудника, позволяющий снизить содержание твердых частиц в рудничных рассолах не менее чем на 20% на этапе поступления в водосборники участкового водоотлива при условии сохранения их общепринятой вместимости [10].

Принцип работы комплекса заключается в следующем. При перегружении руды с вибропитателя на ленту конвейера основной объем технологических просыпей скапливается в месте, огороженном от остальной подконвейерной зоны перегородкой. Заборно-погрузочное устройство

Таблица 1
Параметры регрессионной модели, полученной для обоснования рациональной вместимости отстойников усовершенствованной конструкции

Table 1
Parameters of the regression model developed to determine the optimal capacity of the settling tanks with the improved design

Мощность А, млн т/год	При ρ_{vod} = 1050...1100 кг/м³	При ρ_{vod} = 1150...1200 кг/м³
1	a = 0,68, b = 1,5	a = 0,073, b = 1,86
1,5	a = 0,66, b = 1,5	a = 0,055, b = 1,9
2	a = 0,74, b = 1,46	a = 0,041, b = 1,94
2,5	a = 0,94, b = 1,4	a = 0,02, b = 2,05
3	a = 0, 8, b = 1,41	a = 0,009, b = 2,18
3,5	a = 0,59, b = 1,45	a = 0,004, b = 2,3
4	a = 0,244, b = 1,59	a = 0,0046, b = 2,27

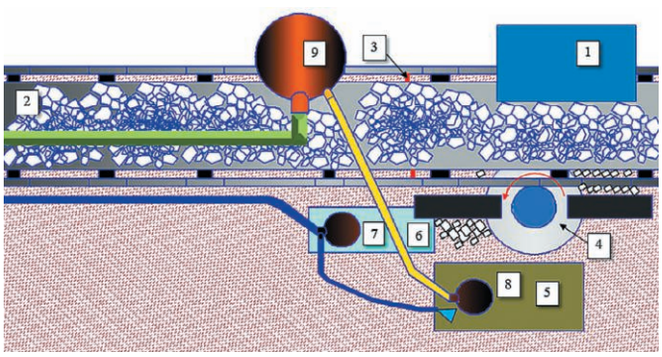


Рис. 4
Механизированный комплекс очистки подконвейерного пространства от просыпей рудной массы:
1 – вибропитатель;
2 – ленточный конвейер;
3 – перегородка;
4 – заборно-погрузочное устройство; 5 – шламосборник;
6 – водосборник;
7 – погружной насос;
8 – погружной насос с агитатором; 9 – емкость для сбора ило-шламовой пульпы

Fig. 4
A powered complex for cleaning ore spillage from the under-conveyor area:
1 – vibrating feeder;
2 – belt conveyor;
3 – baffle;
4 – collecting and loading unit; 5 – sludge sump;
6 – water collector;
7 – submersible pump;
8 – submersible pump with agitator;
9 – silt-slurry collection tank

за счет вращающихся лучей перемещает образовавшиеся просыпи в шламосборник. Параллельно рассолы, поступающие на основной горизонт, отводятся в водосборник, минуя скопление горной массы. Затем рассолы перекачиваются погружным насосом в водосборники участкового водоотлива, при этом часть жидкости отводится в шламосборник, где с помощью агитатора второго погружного насоса происходит ее перемешивание с просыпями до состояния пульпы. Полученная гидросмесь перекачивается в накопительный бак, откуда осуществляется ее дозированная подача на ленту конвейера.

Как видно из рис. 5, разработанный механизированный комплекс является неэнергозатратным технологическим решением, что подтверждает его практическую применимость.

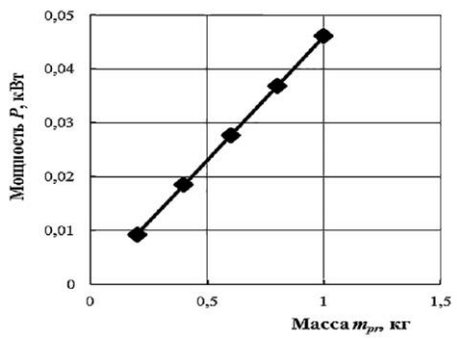


Рис. 5
Зависимость потребляемой мощности мотора-редуктора нагребающей звезды заборно-погрузочного устройства P от массы просыпанной рудной массы m_{pr}

Fig. 5
Dependence of the power consumption P of the geared motor of the loading star of the collecting-and-loading device on the weight of the spilled ore mass m_{pr}

Для секционных насосов характерна работа в аварийных режимах, что обусловлено потерей несущей способности разгрузочного устройства [11]. В ранее проведенном исследовании установлено, что достоверным диагностическим достижения секционным насосом предаварийного состояния является повышение на 20% (и более) среднеквадратичного значения виброскорости трубы разгрузки относительно номинального значения, характерного работоспособной гидравлической пяте (на начальном этапе ее эксплуатации) [12]. Таким образом, диагностирование технического состояния насоса через виброконтроль трубки разгрузки позволит исключить его работу в аварийных режимах, обеспечивая тем самым k_{av} = 1,1.

Рассмотренные способы управления регулируемыми параметрами рудничных водоотливных установок позволяют обеспечить их рациональные режимы функционирования на всем жизненном цикле горнодобывающего предприятия, что имеет важное значение для поддержания бесперебойного отведения водопритоков с особо жесткими физико-химическими показателями при малых эксплуатационных затратах.

Заключение

1. Выполнена оценка влияния регулируемых параметров рудничной водоотливной установки, определяющих ресурс секционных насосов, на ее надежность и экономичность функционирования при перекачивании высокоабразивных и агрессивных рассолов.

2. Обоснованы рациональные режимы функционирования рудничных водоотливных установок на базе секционных насосов в условиях высокоабразивных и агрессивных рассолов.

3. Разработан комплекс технологических и технических решений, направленных на обеспечение эффективной работы рудничных водоотливных комплексов при отведении на дневную поверхность водопритоков с особо жесткими физико-химическими характеристиками.

Список литературы / References

1. Cahyadi T.A., Khalik R.M., Rauf A., Rosadi P.E., Sukamto U., Murtyanto I.W. Study and design of mine drainage systems at open mine with extreme rainfall study case. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2363(1):030004. https://doi.org/10.1063/5.0061087

2. Guzy A., Witkowski W.T. Land subsidence estimation for aquifer drainage induced by underground mining. *Energies*. 2021;14(15):4658. https://doi.org/10.3390/en14154658

3. Shao J., Zhang Q., Zhang W., Wang Z., Wu X. Effects of the borehole drainage for roof aquifer on local stress in underground mining. *Geomechanics and Engineering*. 2021;24(5):479–490. https://doi.org/10.12989/gae.2021.24.5.479

4. Макаров В.Н., Чураков Е.О., Макаров Н.В., Попов С.А. Повышение энергоэффективности шахтного водоотлива путём увеличения гидродинамического напора насоса на основе эффекта Магнуса. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2026;32(2):33–42. Режим доступа: https://zabvestnik.com/wp-content/uploads/250626030652-Makarov.pdf (дата обращения: 18.04.2026).
Makarov V.N., Churakov E.O., Makarov N.V., Popov S.A. Improving the energy efficiency of mine drainage by increasing the hydrodynamic head of the pump based on the magnus effect. *Transbaikal State University Journal*. 2026;32(2):33–42. (In Russ.) Available at: https://zabvestnik.com/wp-content/uploads/250626030652-Makarov.pdf (accessed: 18.04.2026).

5. Чураков Е.О., Макаров В.Н., Макаров Н.В., Бельских А.М. Этапы технического совершенствования центробежных насосов шахтного водоотлива. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2024;30(1):81–89. https://doi.org/10.21209/2227-9245-2024-30-1-81-89
Churakov E.O., Makarov V.N., Makarov N.V., Belskikh A.M. Stages of technical improvement of mine drainage centrifugal pumps. *Transbaikal State University Journal*. 2024;30(1):81–89. (In Russ.) https://doi.org/10.21209/2227-9245-2024-30-1-81-89

6. Jin Y., Cai Z., Cui J. The characteristics of coarse particle solid–liquid two-phase flow and wear properties in deep-sea multistage mining pumps. *Physics of Fluids*. 2025;37(1):013339. https://doi.org/10.1063/5.0245808

7. Зотов В.В., Мнацаканян В.У., Базлин М.М., Лакшинский В.С., Дятлова Е.В. Повышение ресурса рабочих колес центробежных насосов шахтного водоотлива. *Горная промышленность*. 2024;(2):143–146. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-143-146
Zotov V.V., Mnatsakanyan V.U., Bazlin M.M., Lakshinsky V.S., Dyatlova E.V. Extending the service life of centrifugal dewatering pump impellers in mines. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):143–146. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-143-146

8. 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 высших учебных заведений. *Горный журнал*. 2021;(8):62–71. Режим доступа: https://mining-science.ru/download/2021/8/007.pdf (дата обращения: 18.04.2026).
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 Zavedeniy. *Gornyy Zhurnal*. 2021;(8):62–71. (In Russ.). Available at: https://mining-science.ru/download/2021/8/007.pdf (accessed: 18.04.2026).

9. Овчинников Н.П., Зырянов И.В. Рациональные режимы функционирования водоотливных установок в условиях высокоабразивных и агрессивных рассолов. *Горный журнал*. 2026;(2):41–46. https://doi.org/10.17580/gzh.2026.02.04
Ovchinnikov N.P., Zyryanov I.V. Efficient modes of water drainage systems in the conditions of highly abrasive and aggressive brines. *Горный журнал*. 2026;(2):41–46. (In Russ.). https://doi.org/10.17580/gzh.2026.02.04

10. Овчинников Н.П. Снижение загрязнения шахтных вод в системе участкового водоотлива кимберлитового рудника. *Горные науки и технологии*. 2025;10(2):169–179. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-07-274
Ovchinnikov N.P. Reducing mine water contamination at the local drainage facility of a kimberlite mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(2):169–179. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-07-274

11. Тимохин Ю.В., Паламарчук Т.Н. Результаты исследований осевой силы ротора и параметров автоматических уравновешивающих устройств центробежных секционных насосов. *Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта*. 2017;(45):32–42. Режим доступа: https://masters.donntu.ru/2020/fimm/derkach/library/article5.pdf (дата обращения: 18.04.2026).
Timohin J.W., Palamarchuk T.N. The research results of the axial forces of the rotor and automatic settings. *Collection of Scientific Papers of the Donetsk Railway Transport Institute*. 2017;(45):32–42. (In Russ.) Available at: https://masters.donntu.ru/2020/fimm/derkach/library/article5.pdf (accessed: 18.04.2026).

12. Овчинников Н.П. О контроле за техническим состоянием узла гидравлической пяты секционного насоса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(10):56–73. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_10_0_56
Ovchinnikov N. P. Technical control of multistage pump balance ring. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(10):56–73. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_10_0_56

Информация об авторах
Овчинников Николай Петрович – доктор технических наук, доцент, директор Горного института, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация; https://orcid.org/0000-0002-4355-5028; e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru
Зырянов Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела, Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Мирном, г. Мирный, Российская Федерация; https://orcid.org/0000-0003-2943-0138; e-mail: zyryanoviv@inbox.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 02.06.2026
Поступила после рецензирования: 09.07.2026
Принята к публикации: 14.07.2026

Information about the authors
Nikolay P. Ovchinnikov – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Director of the Institute of Mining, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation; https://orcid.org/0000-0002-4355-5028; e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru
Igor V. Zyryanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor Department of Mining Engineering, Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, Russian Federation; https://orcid.org/0000-0003-2943-0138; e-mail: zyryanoviv@inbox.ru

Article info
Received: 02.06.2026
Revised: 09.07.2026
Accepted: 14.07.2026