

Один из путей повышения эффективности эксплуатации секционных насосов кимберлитовых рудников

Н.П. Овчинников✉

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

✉ ovchinnlar1986@mail.ru

Резюме: При выходе подземного горного предприятия на проектную мощность степень загрязнения шахтных вод может значительно вырасти по сравнению с первыми годами его эксплуатации. Так, например, в системах водоотлива кимберлитовых рудников концентрация твердых частиц в воде может вырасти более чем в 2 раза. Увеличение содержания взвешенных абразивных веществ в шахтных водах негативно влияет на показатели долговечности насосного оборудования водоотлива. Одним из путей повышения эффективности эксплуатации секционных насосов в условиях изменяющегося содержания твердых частиц в шахтных водах является проработка вопроса корректировки периодичности проведения капитальных ремонтов. В качестве критерия оптимального среднего межремонтного ресурса секционного насоса следует использовать его подачу на момент вывода в капитальный ремонт, которому соответствуют малые удельные эксплуатационные затраты на откачку шахтных вод независимо от величины водопритока и режима его откачки. По результатам выполненных исследований разработана универсальная методика расчета оптимальной средней наработки секционного насоса до капитального ремонта. Данная методика разработана применительно к секционным насосам кимберлитовых рудников независимо от их модели и условий эксплуатации. Расчетным путем установлено, что при повышении концентрации твердых частиц в шахтных водах снижение средней наработки секционного насоса до капитального ремонта является экономически оправданным шагом.

Ключевые слова: кимберлитовый рудник, водоотлив, секционные насосы, механические примеси, твердые полезные ископаемые

Для цитирования: Овчинников Н.П. Один из путей повышения эффективности эксплуатации секционных насосов кимберлитовых рудников. *Горная промышленность*. 2024;(6):83–88. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-83-88>

Increasing operational efficiency of sectional pumps in kimberlite mines

N.P. Ovchinnikov✉

Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

✉ ovchinnlar1986@mail.ru

Abstract: When an underground mine reaches the design capacity, the level of the mine water pollution can significantly increase as compared to the first years of its operation. For example, concentration of solid particles in water in a kimberlite mine drainage systems may increase more than two-fold. Increase in the content of suspended abrasive substances in the mine water negatively affects the life of water drainage equipment. One of the ways to improve the operational efficiency of sectional pumps in conditions of changing solid particles content in the mine water is to study the issue of adjusting the frequency of their overhaul. As a criterion of the optimum average time between overhauls of a sectional pump it is necessary to use its flow rate at the moment of overhaul, which corresponds to low specific operating costs for pumping mine water regardless of the size of water inflow and its pumping mode. Based on the results of the performed research a universal method of calculating the optimal average operating life time of a sectional pump before the overhaul is required. This methodology was developed for sectional pumps in kimberlite mines regardless of their model and their operating conditions. Calculations helped to establish that when the concentration of solid particles in the mine waters increases, a decrease in the average time between overhauls of sectional pump before overhaul becomes an economically feasible step.

Keywords: kimberlite mine, drainage, sectional pumps, mechanical impurities, solid minerals

For citation: Ovchinnikov N.P. Increasing operational efficiency of sectional pumps in kimberlite mines. *Russian Mining Industry*. 2024;(6):83–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-83-88>

Введение

При подземной разработке месторождений твердых полезных ископаемых секционными насосами отводится важная роль, так как они являются ключевым звеном в процессе откачки на дневную поверхность шахтных вод, регулярно поступающих в горные выработки [1–3].

При откачке неосветленных шахтных вод многие элементы проточной части секционного насоса, особенно целевые уплотнения ступеней, подвергаются обширному гидроабразивному износу [4; 5].

Результатом увеличения зазоров в уплотнениях из-за интенсивного истирания металла твердыми частицами является ухудшение рабочих характеристик секционного насоса, что впоследствии приводит к его выводу в капитальный ремонт [6].

Является очевидным, что с повышением степени загрязненности шахтных вод механическими примесями периодичность работы секционного насоса между капитальными ремонтами начинает снижаться. В литературе [7–10] отмечается, что скорость гидроабразивного износа элементов проточной части является одним из ключевых факторов, определяющим эффективность центробежных насосов в горном деле.

Многолетний опыт эксплуатации секционных насосов на отечественных кимберлитовых рудниках свидетельствует, что при условии существенного роста содержания механических примесей в откачиваемых шахтных водах насосное оборудование обычно выводится в капитальный ремонт при более низких подачах [11].

Такие проводимые организационные мероприятия не позволяют допускать заметного снижения межремонтного ресурса секционного насоса при серьезном ухудшении условий работы. Например, средняя наработка секционных насосов рудника «Удачный» до капитального ремонта при более чем двукратном увеличении содержания твердых частиц в воде (с 7 до 17 г/л) снизилась всего на 20%, с 2610 до 1625 ч [12].

В то же время увеличение суммарной наработки насосов вследствие их вывода в капитальные ремонты при более низких подачах ведет к росту финансовых затрат на электропотребление насосных агрегатов. На долю указанной статьи затрат может приходиться до 70% от эксплуатационных расходов на водоотлив.

Затраты на электропотребление насосных агрегатов не учитываются при корректировке величины подачи насоса на момент его вывода в капитальный ремонт, так как энергоэнергетический участок кимберлитового рудника, отвечающий за водоотлив, заинтересован только в повышении эффективности механической части насосного агрегата, а обеспечение его энергоэффективности уже входит в интересы энергетической службы предприятия.

Отсюда следует, что такой подход к нормированию периодичности проведения капитального ремонта является неэффективным.

Эти обстоятельства приводят к необходимости проработки вопроса корректировки периодичности проведения капитальных ремонтов в отношении секционных насосов водоотливных установок на кимберлитовых рудниках.

Материалы и методы исследований

В качестве критерия оптимального среднего межремонтного ресурса секционного насоса следует использовать его подачу на момент вывода в капитальный ремонт Q_{min} , которой соответствуют малые удельные эксплуатацион-

ные затраты на откачку шахтных вод Z_{sum} независимо от величины водопритока и режима его откачки.

Затраты Z_{sum} (руб/м³) определяются как [11]:

$$Z_{sum} = \frac{Z_{kr} + Z_g + Z_{pod} + Z_{el}}{q_w}, \tag{1}$$

где Z_{kr} – суммарные затраты на выполнение капитальных ремонтов секционных насосов, млн руб/год; Z_g – суммарные затраты на приобретение новых и восстановление изношенных узлов гидравлических пят в рамках выполнения текущих ремонтов в течение года, млн руб/год; Z_{pod} – суммарные затраты на приобретение новых подшипниковых узлов в рамках выполнения текущих ремонтов, млн руб/год; Z_{el} – суммарные затраты на электропотребление насосных агрегатов, млн руб/год; q_w – количество шахтных вод, перекаченных насосным оборудованием, млн м³/год.

Применительно к секционным насосам кимберлитовых рудников методика расчета удельных эксплуатационных затрат $Z_{эксн}$ в зависимости от величины подачи $Q_{пр}$ приведена в работе [11]. Указанная методика может использоваться, как при условии откачки шахтных вод по схеме «1 насос – трубопроводный став», так и по схеме «2 насоса – трубопроводный став».

В то же время рассматриваемая методика имеет ряд определенных упущений и ограничений.

Во-первых, в ней не учтен риск снижения номинальной подачи насосного оборудования вследствие некачественно выполненных капитальных ремонтов, а также не учтены закономерные последствия в случае его избыточной напорности. Согласно основам теории центробежных насосов избыточная напорность, наоборот, может привести к повышению подачи насоса в сравнении с плановым значением. Следует отметить, что избыточный напор насоса позволяет обеспечить его работоспособность в условиях интенсивной гидроэрозии. В соответствии с источником [13] оптимальный избыточный напор секционного насоса составляет 5...10%.

Во-вторых, расчеты по указанной методике позволяют установить удельные эксплуатационные затраты $Z_{эксн}$ только в отношении секционных насосов модели JSH-200 (или их аналога – модели НЦС(К) 350-1100) при условии средней концентрации твердых частиц в воде на входе в насос $k_{imp} = 17$ г/л.

Для определения средней наработки секционного насоса до капитального ремонта T (ч), средней наработки узла гидравлической пяты на отказ t_g (ч) и средней потребляемой мощности насосного агрегата P (кВт), необходимых для расчета затрат Z_{kr} , Z_g и Z_{el} независимо от выбранной модели секционного насоса и степени загрязнения шахтных вод механическими примесями, предложены следующие математические модели:

$$T = k_p \cdot (-179,3k_{imp} + 4012,4); \tag{2}$$

$$t_g = k_{izn} \cdot (-0,47H + 858,89); \tag{3}$$

$$P = k_N \cdot P_{nom}, \tag{4}$$

где k_p – коэффициент, учитывающий влияние подачи Q_{min} на наработку T ; k_{izn} – коэффициент, учитывающий влияние

гидроабразивно-адгезионного изнашивания металла наработку t_g ; H – номинальный напор секционного насоса, м; k_N – коэффициент, учитывающий отношение между текущей $P_{тек}$ и номинальной потребляемой мощностью насосного агрегата $P_{ном}$, кВт.

Математические модели (см. выражения (2) и (3)), полученные эмпирическим путем по результатам статистической обработки значительного массива данных по эксплуатации секционных насосов кимберлитовых рудников, являются адекватными по критерию Фишера (F -критерий), так как выполняется необходимое условие – его фактическое (расчетное) значение F_f превышает табличное F_t (табл. 1).

Таблица 1
Результаты оценки адекватности выведенных математических моделей через F -критерий

Table 1
The results of assessing the adequacy of mathematical models uses the F -criterion

Уравнение регрессии	F_f	F_t
$Q_{min} = -179,3k_{imp} + 4012,4$	103,53	5,12
$t_g = -0,47H + 858,89$	132	3,9

Коэффициенты k_p , $k_{изн}$ и k_N (см. выражения (4)–(6)) рассчитываются согласно выведенным уравнениям линейной регрессии (рис. 1–3).

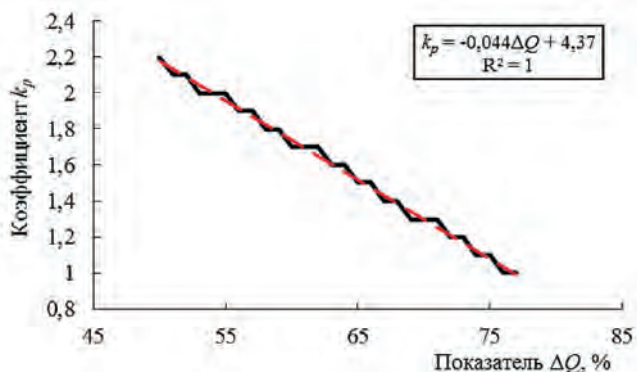


Рис. 1
Зависимость между параметрами k_p и ΔQ

Fig. 1
A dependence between the k_p and ΔQ parameters

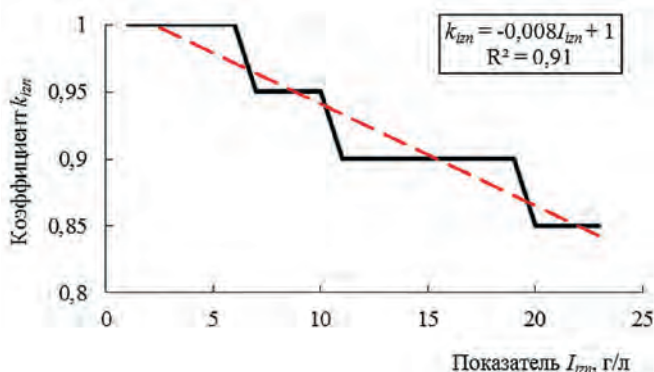


Рис. 2
Зависимость между параметрами $k_{изн}$ и $I_{изн}$

Fig. 2
A dependence between the $k_{изн}$ and $I_{изн}$ parameters

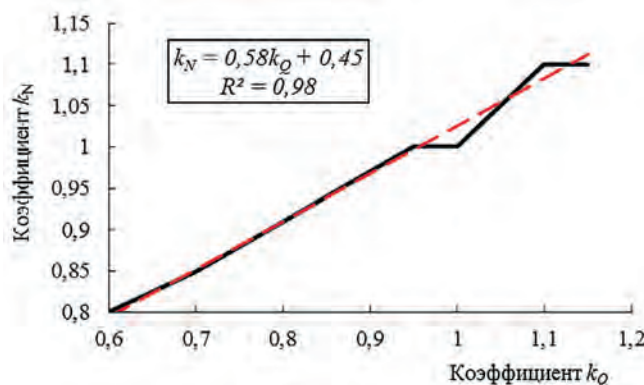


Рис. 3
Зависимость между параметрами k_N и k_Q

Fig. 3
A dependence between the k_N and k_Q parameters

Переменные ΔQ , $I_{изн}$ и k_Q зависимостей (см. рис. 1–3) рассчитываются следующим образом:

$$\Delta Q = \frac{Q_{min}}{Q} \cdot 100 \% ; \tag{5}$$

$$I_{изн} = k_{adg} \cdot k_{imp} ; \tag{6}$$

$$k_Q = \frac{Q_{тек}}{Q_{sr}} ; \tag{7}$$

где Q , $Q_{тек}$ и Q_{sr} – соответственно номинальная, текущая и средняя подачи насоса, м³/ч; $I_{изн}$ – условная интенсивность гидроабразивно-адгезионного износа деталей гидропята; k_{adg} – коэффициент, учитывающий ухудшение исходной твердости деталей гидропята в связи с работой насоса в переходных режимах.

С учетом внесенных необходимых поправок в методику [11] затраты Z_{kr} , Z_g , Z_{pod} и Z_{el} в отношении секционных насосов кимберлитовых рудников определяются следующим образом:

– при условии откачки шахтных вод по схеме «2 насоса – трубопроводный став»

$$Z_{kr} = \left(t_{max} + \frac{1,1 \cdot \left((1000000 \cdot q_w - 0,5 \cdot (Q_0 + Q_{min}) \cdot t_{max} \right)}{0,5Q_0 + 0,5Q_{min}} \right) \cdot \left(\frac{1}{k_p \cdot (-179,3 \cdot k_{imp} + 4012,4)} \right) \cdot 0,75 \cdot Z_n ; \tag{8}$$

$$Z_g = \left(t_{max} + \frac{1,1 \cdot \left((1000000 \cdot q_w - 0,5 \cdot (Q_0 + Q_{min}) \cdot t_{max} \right)}{0,5Q_0 + 0,5Q_{min}} \right) \cdot \left(\frac{1}{k_{изн} \cdot (-0,47 \cdot H + 858,89)} \right) \cdot \left(\frac{\eta_1}{N_g} \cdot Z_{g1} + \frac{\eta_2}{N_g} \cdot Z_{g2} \right) ; \tag{9}$$

$$Z_{pod} = \left(t_{max} + \frac{1,1 \cdot \left((1000000 \cdot q_w - 0,5 \cdot (Q_0 + Q_{min}) \cdot t_{max} \right)}{0,5Q_0 + 0,5Q_{min}} \right) \cdot \left(\frac{1}{-1,1 \cdot H + 1929,5} \right) \cdot Z_p ; \tag{10}$$

$$Z_{el} = \left(t_{max} + \frac{1,1 \cdot \left((1000000 \cdot q_w - 0,5 \cdot (Q_0 + Q_{min}) \cdot t_{max}) \right)}{0,5Q_0 + 0,5Q_{min}} \right) \cdot \left(\frac{1}{-1,1 \cdot H + 1929,5} \right) \cdot Z_p ; \tag{11}$$

– при условии откачки шахтных вод по схеме «1 насос – трубопроводный став» первый множитель в формулах (8)–(11) заменяется следующим выражением:

$$\frac{2000000 \cdot q_w}{k_{izb} \cdot k_{rem} \cdot (Q_0 + Q_{min})} ; \tag{12}$$

где k_{izb} – коэффициент, учитывающий рост подачи в связи с избыточной напорностью насоса; k_{rem} – коэффициент, учитывающий потерю исходной подачи насоса после выполнения капитальных ремонтов; Q_0 – номинальная подача насоса при условии отсутствия избыточной напорности, м³/ч; Z_n – стоимость заводского насоса с учетом доставки, млн руб.; N_g – общее количество отказавших заводских n_1 и восстановленных n_2 гидравлических пят за календарный год, ед.; Z_{g1} – стоимость заводской пяты, млн руб.; Z_{g2} – затраты на восстановление пяты, млн руб.; Z_p – стоимость подшипника, млн руб.; Z_{kw} – стоимость электроэнергии, руб/кВтч; t_{max} – максимальная наработка одного секционного насоса за год, ч.

Стоит отметить, что при расчете затрат Z_k , Z_g и Z_{pod} как при условии откачки шахтных вод по схеме «1 насос – трубопроводный став», так и по схеме «2 насоса – трубопроводный став» произведение двух первых множителей (см. формулы (8)–(10)) округляется до целого числа в меньшую сторону.

Апробация разработанной методики и обсуждение полученных расчетов

Разработанная методика расчета оптимальной средней наработки секционного насоса до капитального ремонта была апробирована на примере насосного оборудования главного водоотлива рудника «Удачный» с номинальной подачей $Q_0 = 350$ м³/ч и номинальной потребляемой мощностью $P_{nom} = 1650$ кВт.

При выполнении расчетов постоянные значения были приняты в отношении следующих показателей:

- количество шахтных вод, перекаченных насосным оборудованием, $q_w = 3,2$ млн м³/год;
- максимальная наработка одного секционного насоса за календарный год $t_{max} = 8760$ ч;
- стоимость насоса $Z_n = 13,3$ млн руб.;
- стоимость заводской гидропаты $Z_{g1} = 0,7$ млн руб.;
- затраты на восстановление гидропаты $Z_{g2} = 0,3$ млн руб.;
- соотношения числа заводских и восстановленных гидропат к их общему количеству в течение календарного года n_1/N_g и $n_2/N_g = 0,5$;
- стоимость электроэнергии $Z_{kw} = 5,96$ руб/кВтч.

При расчете удельных эксплуатационных затрат Z_{sum} не были учтены затраты Z_{pod} , так как в отношении энергоемких однопоточных секционных насосов (к ним относятся исследованные насосы) их удельный вес в общей сумме эксплуатационных расходов на водоотлив малозначителен.

Расчеты проводились с учетом откачки шахтных вод как по схеме «2 насоса – нагнетательный став» (режим откачки №1), так и по схеме «1 насос – нагнетательный став» (режим откачки №2), а также различной концентрации твердых частиц $k_{imp} = 17, 8$ и 4 г/л соответственно. Рассматриваемый диапазон подач $Q_{min} = 0,57...0,8Q$ (200...280 м³/ч).

Как видно из выполненных расчетов (табл. 1), малые затраты Z_{sum} (выделены красным цветом) независимо от режима откачки при $k_{imp} = 17$ и 8 г/л соответствуют наработке T при подаче $Q_{min} = 0,63Q$ (220 м³/ч), а при $k_{imp} = 4$ г/л – наработке T при подаче $Q_{min} = 0,71Q$ (250 м³/ч).

Таким образом, установлено, что на отечественных кимберлитовых рудниках снижение средней наработки секционного насоса до капитального ремонта при условии повышения содержания механических примесей в откачиваемых шахтных водах является экономически оправданным шагом. Также с точки зрения экономии затрат желательно придерживаться эксплуатации водоотливной установки в режиме откачки «1 насос на став».

При использовании описанной методики необходимо учитывать следующие моменты:

- номинальные рабочие характеристики всех насосов водоотливной установки не должны отличаться друг от друга;
- сопротивление в напорной сети насосного оборудования постоянно или изменяется в незначительной степени;
- все насосы водоотливной установки были выведены в капитальный ремонт как минимум 1 раз.

Таблица 2
Результаты выполненных расчетов

Table 2
The results of the performed calculations

$k_{imp} = 4$ г/л, режим откачки №1			$k_{imp} = 4$ г/л, режим откачки №2		
Q_{min} , м ³ /ч	T , ч	Z_{sum} , руб/м ³	Q_{min} , м ³ /ч	T , ч	Z_{sum} , руб/м ³
280	3295,2	45,29	280	3295,2	44,88
270	3295,2	45,72	270	3295,2	45,1
260	3624,72	42,87	260	3624,72	42,37
250	4283,76	43,32	250	4283,76	42,61
240	4613,28	43,62	240	4613,28	43
230	4942,8	44,1	230	4942,8	43,27
220	5601,84	44,55	220	5601,84	43,7
210	5601,84	45	210	5601,84	44,13
200	6260,88	42,25	200	6260,9	41,3

$k_{imp} = 8 \text{ г/л, режим откачки №1}$			$k_{imp} = 8 \text{ г/л, режим откачки №2}$		
$Q_{min}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$T, \text{ ч}$	$Z_{sum}, \text{ руб/м}^3$	$Q_{min}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$T, \text{ ч}$	$Z_{sum}, \text{ руб/м}^3$
280	2578	48,42	280	2578	48
270	2578	48,85	270	2578	48,23
260	2835,8	46	260	2835,8	45,49
250	3351,4	46,45	250	3351,4	45,73
240	3609,2	46,74	240	3609,2	46,14
230	3867	44,1	230	3867	43,27
220	4382,6	44,55	220	4382,6	43,7
210	4382,6	45	210	4382,6	44,13
200	4898,2	45,38	200	4898,2	44,42
$k_{imp} = 17 \text{ г/л, режим откачки №1}$			$k_{imp} = 17 \text{ г/л, режим откачки №2}$		
$Q_{min}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$T, \text{ ч}$	$Z_{sum}, \text{ руб/м}^3$	$Q_{min}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$T, \text{ ч}$	$Z_{sum}, \text{ руб/м}^3$
280	964,3	67,17	280	964,3	66,75
270	964,3	67,6	270	964,3	66,97
260	1060,73	67,88	260	1060,73	64,24
250	1253,6	62,1	250	1253,6	61,36
240	1350	62,37	240	1350	61,77
230	1446,45	59,71	230	1446,45	58,9
220	1639,3	60,18	220	1639,3	56,2
210	1639,3	60,66	210	1639,3	56,63
200	1832,17	57,87	200	1832,17	56,92

Заключение

1. Разработана универсальная методика расчета оптимальной средней наработки секционного насоса до капитального ремонта, которая может быть применена для любых моделей насосов независимо от их условий эксплуатации в системах водоотлива кимберлитовых рудников.
2. В случае повышения содержания механических примесей в шахтных водах на входе в секционный насос снижение его средней наработки до капиталь-

ного ремонта в условиях эксплуатации на кимберлитовых рудниках является экономически обоснованным решением.

3. С точки зрения оптимизации затрат на откачку шахтных вод необходимо придерживаться эксплуатации водоотливной установки по схеме 1 насос – 1 став.

Список литературы / References

1. Бражник О.И., Руденко А.А. Результаты опытно-промышленных испытаний секционного насоса GP-200/11x500-м. *Горная промышленность*. 2020;(6):53–55. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-53-55>
Brazhnik O.I., Rudenko A.A. Pilot test results of GP-200/11x500-m stage chamber pump. *Russian Mining Industry*. 2020;(6):53–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-53-55>
2. Александров В.И., Авксентьев С.Ю., Махараткин П.Н. Энергоэффективность систем шахтного водоотлива. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(2):253–268.
Aleksandrov V.I., Avksent'ev S.Yu., Makharatkin P.N. Energy efficiency of mine water outflow. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(2):253–268. (In Russ.)
3. Паламарчук Т.Н. Кавитационные режимы шахтных насосов при положительной и отрицательной высоте всасывания. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017;(4):204–219.
Palamarchuk T.N. Cavinanion modes of mine pimps with positive and negative suction lifts. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2017;(4):204–219. (In Russ.)
4. Долганов А.В. Влияние гидроабразивного износа элементов проточной части на эксплуатационные качества центробежных насосов медно-колчеданных рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(8):181–186. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2015/08/181-186_8_2015.pdf (дата обращения: 08.10.2024).
Dolganov A.V. The influence of hydro-abrasive depreciation of excretory elements on exploitation qualities of rotary pumps at copper and pyrites pits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(8):181–186. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2015/08/181-186_8_2015.pdf (accessed: 08.10.2024).

5. Долганов А.В. Гидроабразивный износ и экономичность водоотливных установок шахт и рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(S9):3–8.
Dolganov A.V. Hydroabrasive wear and profitability of water-drainage installations in mines and ore mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(S9):3–8. (In Russ.)
6. Зотов В.В., Мнацакянян 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>
7. Shen Z., Li R., Han W., Quan H. Erosion wear in impeller of double-suction centrifugal pump due to sediment flow. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2020;13(4):1131–1142. <https://doi.org/10.36884/jafm.13.04.30907>
8. Deng L., Hu Q., Chen J., Kang Y. Particle distribution and motion in six-stage centrifugal pump by means of slurry experiment and CFD-DEM simulation. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021;9(7):716. <https://doi.org/10.3390/jmse9070716>
9. Deng L., Lu H., Liu S., Hu Q., Yang J., Kang Y., Sun P. Particle anti-accumulation design at impeller suction of deep-sea mining pump and evaluation by CFD-DEM simulation. *Ocean Engineering*. 2023;279:114598. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114598>
10. Banka J., Rai A.K. Erosion and flow visualization in centrifugal slurry pumps: a comprehensive review of recent developments and future outlook. *Particulate Science and Technology*. 2024;42(3):427–459. <https://doi.org/10.1080/02726351.2023.2259336>
11. Овчинников Н.П., Зырянов И.В. Обоснование оптимальной периодичности проведения капитального ремонта шахтных насосов. *Горный журнал*. 2024;(2):61–65. <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.02.10>
Ovchinnikov N.P., Zyryanov I.V. Optimum frequency of full repair for mine pumps. *Gornyi Zhurnal*. 2024;(2):61–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.02.10>
12. Овчинников Н.П. Оценка влияния твердой фазы шахтных вод на эффективность секционных насосов при разработке месторождений кимберлитовых руд. *Горные науки и технологии*. 2022;7(2):150–160. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-150-160>
Ovchinnikov N.P. Assessment of mine water solid phase impact on section pumps performance in the development of kimberlite ores. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):150–160. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-150-160>
13. Веселов А.И. *Рудничный водоотлив*. Свердловск: Металлургиздат; 1956. 532 с.

Информация об авторе

Овчинников Николай Петрович – кандидат 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

Information about the author

Nickolay P. Ovchinnikov – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Director of the Mining Institute, Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4355-5028>; e-mail: voorgak@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.10.2024
Поступила после рецензирования: 21.11.2024
Принята к публикации: 27.11.2024

Article info

Received: 26.10.2024
Revised: 21.11.2024
Accepted: 27.11.2024