

## ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ СЕКЦИОННОГО НАСОСА НА МОМЕНТ ВЫВОДА В КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ

Н.П. Овчинников

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия,  
e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru

**Аннотация:** Практика показывает, что откачиваемые из водосборных горных выработок подземного кимберлитового рудника «Удачный» шахтные воды сильно загрязнены механическими примесями. Установлено, что на руднике с ростом концентрации твердых частиц в шахтных водах, обусловленным его выходом на проектную мощность по добыче кимберлитовой руды, наблюдается снижение усредненной подачи секционных насосов главной водоотливной установки на момент вывода в капитальный ремонт. Информация о величине рекомендуемой подачи на момент вывода в капитальный ремонт в условиях интенсивного гидроабразивного изнашивания в имеющейся на руднике документации по эксплуатации секционных насосов отсутствует. На примере насосного оборудования главной водоотливной установки подземного кимберлитового рудника «Удачный» разработана методика по экономическому обоснованию величины подачи секционного насоса на момент его вывода в капитальный ремонт. Доказано, что секционные насосы главной водоотливной установки рассматриваемого рудника в ближайшие несколько лет целесообразнее будет выводить в капитальный ремонт при снижении номинальной подачи до 220 м<sup>3</sup>/ч. Установлено, что ожидаемый технико-экономический эффект от практического использования такого рода технического решения составит чуть более 4,5 млн руб./г.

**Ключевые слова:** подземный кимберлитовый рудник, главная водоотливная установка, секционный насос, шахтные воды, детали проточной части, гидроабразивный износ, затраты на эксплуатацию, обоснование подачи.

**Для цитирования:** Овчинников Н. П. Обоснование величины подачи секционного насоса на момент вывода в капитальный ремонт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 7. – С. 79–90. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_7\_0\_79.

### Justification of vertical split casing pump delivery at withdrawal for basic repair

N.P. Ovchinnikov

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia, e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru

**Abstract:** Practice shows that water pumped out from catch galleries of Udachny kimberlite mine has extremely high content of impurities. It is found that with increasing concentration of solid particles in the mine water in the course of reaching design value of kimberlite ore output, the average delivery of vertical split casing pumps of the main water-drainage installation decreases by the time of withdrawal of a pump for basic repair. There is no document information

of the recommended value of the pump delivery at withdrawal for basic repair when the pump operates under conditions of intense hydro-abrasive wear. As a case-study of the main water-drainage installation in Udachny kimberlite mine, the procedure is developed for the economic justification of the vertical split casing pump delivery at withdrawal for basic repair. It is proved that in the nearest few years, the vertical split casing pumps of the main water-drainage installation in the mine are expedient to be withdrawn for basic repair when their rated delivery lowers to 220 m<sup>3</sup>/h. The anticipated economic effect in this case is around RUB 4,5 million/year.

**Key words:** underground kimberlite mine, main water-drainage installation, vertical split casing pump, mine water, water channel parts, hydro-abrasive wear, operating costs, delivery justification.

**For citation:** Ovchinnikov N. P. Nazvanie. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(7):79-90. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_7\_0\_79.

### Постановка задачи

Потеря около 8% от всех добываемых алмазов из-за затопления относительно недавно введенного в эксплуатацию подземного кимберлитового рудника «Мир» (далее — рудник), а вслед за этим — падение спроса на продукцию по причине продвижения на мировой рынок синтетического сырья и пандемии коронавируса послужили поводом запуска в период с 2019 по 2020 гг. в АК «АЛРОСА» и ее дочерних компаниях («Алмазы Анабара» и «Севералмаз») двух масштабных проектов по оптимизации расходов на содержание основных производст-

венных фондов. Несмотря на общий успех обновленной стратегии по снижению себестоимости добычи и обогащению алмазов, на ГОК АК «АЛРОСА» встречаются случаи, когда затраты на эксплуатацию технологических машин не только не снизились, но и продолжают расти. В частности, это касается затрат на эксплуатацию секционных насосов главной водоотливной установки рудника «Удачный» (рис. 1).

Общеизвестно, что для повышения эффективности технологической машины различного служебного назначения специалистами используются следующие

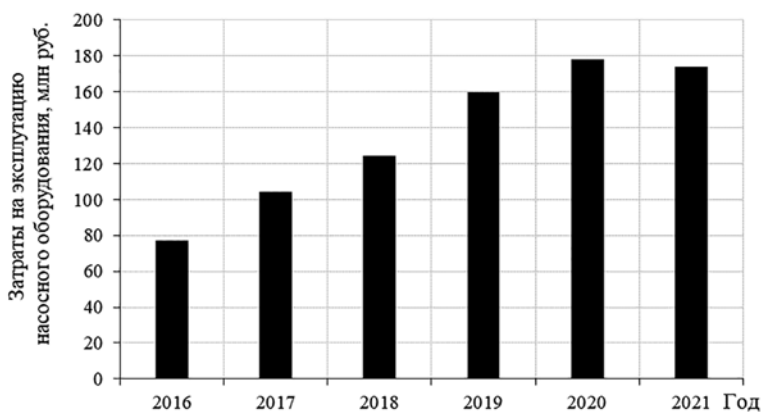


Рис. 1. Динамика изменения затрат на эксплуатацию насосного оборудования главного водоотлива рудника «Удачный» по годам

Fig. 1. Time history of operating costs of main water-drainage pumps in Udachny mine

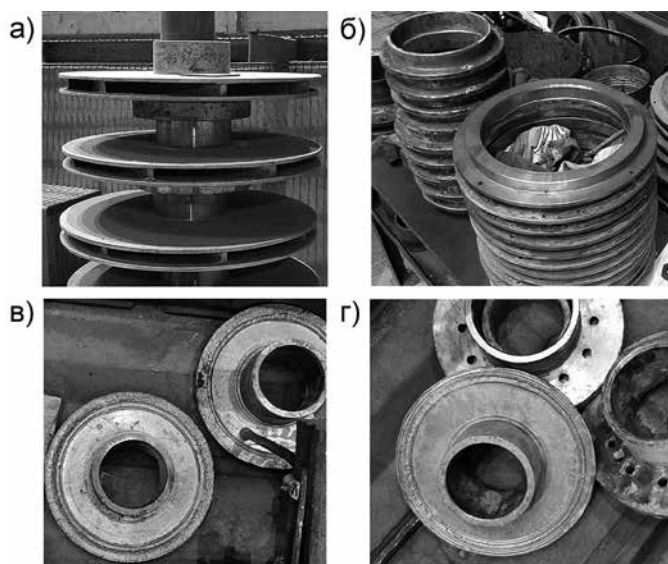


Рис. 2. Интенсивный гидроабразивный износ деталей обследованных секционных насосов моделей JSH-200 и НЦС(К) 350-1100: рабочие колеса (а); большие и малые уплотнительные кольца (б); разгрузочные диски узла гидравлической пяты (в, г)

Fig. 2. Intense hydro-abrasive wear of parts of vertical split casing pump models JSH-200 and NTSS(K) 350-1100: impellers (a); greater and smaller sealing rings (b); balancing rings (v and g)

3 подхода. Первый подход ориентирован на установление факторов, наиболее негативно влияющих на эффективность машины и борьбу с первоисточниками их возникновения. Второй подход — на максимально возможную минимизацию воздействия лимитирующих эффективность машины факторов. Третий подход направлен на максимально возможную минимизацию последствий воздействия этих факторов.

Низкая эффективность насосного оборудования рассматриваемой рудничной водоотливной установки обусловлена ограниченным ресурсом деталей проточной части [1–3], что является закономерным результатом комплексного негативного воздействия на металл гидроабразивного, коррозионного и адгезионного видов изнашивания [4–7]. В отличие от угольных шахт [8, 9], кавитационное изнашивание не оказывает должного влияния на надежность насосного оборудования, используемого

на рудниках АК «АЛРОСА» [1]. Дело в том, что на данных рудниках насосное оборудование главных водоотливных установок в основном работает с отрицательной высотой всасывания, т.е. с подпором (обычно 2,5–4 м).

Выполненные обследования насосного оборудования во время проведения капитальных ремонтов в Удачинском ремонтном специализированном цехе свидетельствуют, что преобладающим видом разрушения наиболее важных конструктивных элементов — рабочих колес с уплотнительными кольцами (потеря работоспособности данных деталей — основная причина выхода насосов в капитальный ремонт) и деталей узла гидравлической пяты является гидроабразивное изнашивание их поверхностей (рис. 2, а–г), скорость протекания которого, как известно, зависит в первую очередь от концентрации механических примесей в шахтных водах [10]. В работе [3] отмечается, что отка-

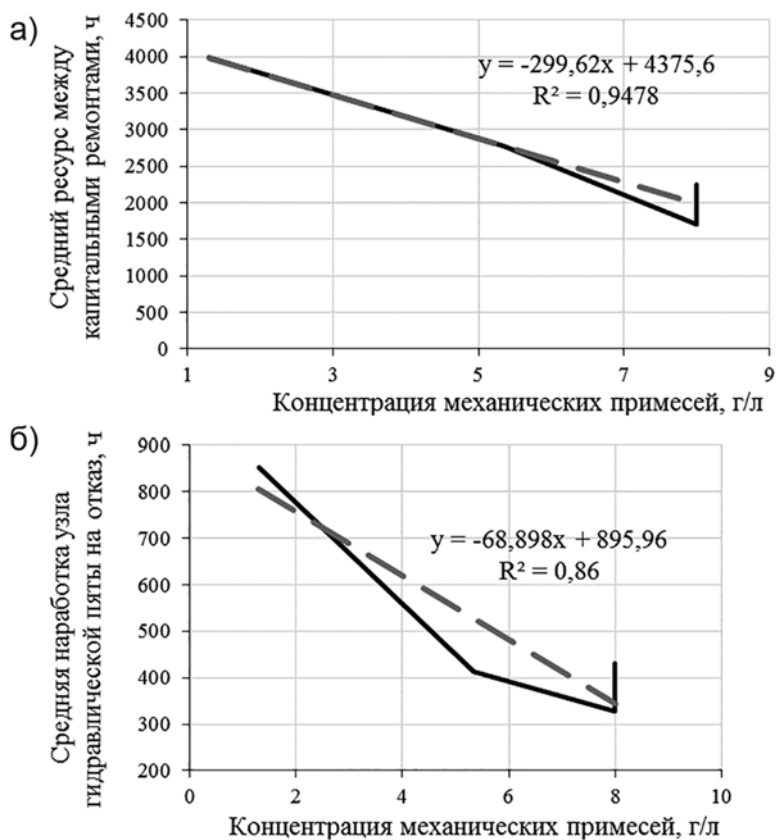


Рис. 3. Зависимость среднего ресурса секционного насоса между капитальными ремонтами (а) и средней наработкой узла гидравлической пяты на отказ (б) от средней концентрации механических примесей в шахтных водах

Fig. 3. Average overhaul time (a) and average time between failures of balancing ring of vertical split casing pump (b) versus average concentration of mechanical impurities in mine water

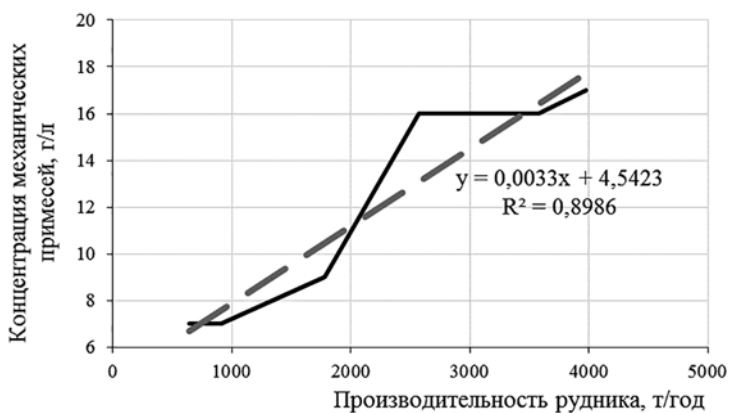


Рис. 4. Зависимость концентрации механических примесей в шахтных водах от производительности рудника

Fig. 4. Concentration of mechanical impurities in mine water versus mine capacity

чиваемые из рудника «Удачный» шахтные воды сильно загрязнены.

Негативное влияние степени загрязненности шахтных вод механическими примесями на ресурс вышеуказанных элементов в структуре насосного оборудования, применяемого в системах водоотлива алмазодобывающих рудников, подтверждается результатами исследований (рис. 3, а, б), выполненных согласно методике, описанной в работе [1]. Как видно из значений коэффициентов достоверности ( $R_2 = 0,95$  и  $0,86$ ) полученных линейных регрессионных моделей, между показателями надежности секционных насосов и концентрацией механических примесей в шахтной воде имеются тесные взаимосвязи.

Концентрация твердых частиц в шахтных водах (на выходе из водосборников главного водоотлива) на руднике «Удачный» зависит от годовой производительности по руде, что подтверждается результатами регрессионной статистики (рис. 4). Полученные результаты исследований, скорее всего, справедливы только в отношении рудника «Удачный», так как в отличие от остальных рудников АК «АЛРОСА», в нем не используется технология закладки выработанного пространства твердеющими смесями, являющимися одним из основных источников загрязнения взвешенными веществами откачиваемых шахтных вод [10].

С увеличением производительности рудника повышается объем просыпанной с конвейеров добытой кимберлитовой руды (преимущественно по причине отказов очистителей ленты), часть которой затем смывается шахтными водами по водоотливным канавкам в водосборные горные выработки. Таким образом, видно, что борьба с первоисточником твердой фазы в шахтных водах в условиях рудника «Удачный» невозможна. Также хочется отметить, что в

связи с выходом рудника на проектную мощность (около 4000 т/год) концентрация твердых частиц в шахтных водах в условиях главного водоотлива в перспективе останется неизменной — в пределах 16–17 г/л.

Снижения концентрации твердых частиц в шахтных водах можно достичь путем внедрения различных технических решений: проходки дополнительных осветляющих резервуаров [11], применения различного обогащительного оборудования (гидроциклонов [2], сгустителей [12], а также гидроэлеваторных установок [10]) и др. Сдерживающими факторами к практическому применению таких решений являются значительные капитальные вложения, окупаемость которых может достигать продолжительного времени.

Практика показывает, что на руднике «Удачный» с увеличением концентрации твердых частиц в шахтных водах с 7 до 17 г/л усредненная подача секционных насосов на момент вывода в капитальные ремонты сначала снизилась с 270 до 190 м<sup>3</sup>/ч, а затем в 2021 г. она была повышена до 200 м<sup>3</sup>/ч (рис. 5, а). Хочется отметить, что в «Руководстве по эксплуатации секционных насосов моделей JSH-200 и НЦС(К) 350-1100» сведения о величине рекомендуемой подачи на момент вывода в капитальный ремонт в условиях интенсивного гидроабразивного изнашивания не приводятся. Такие действия в Удачинском ГОК объясняют недопущением существенного снижения ресурса насосного оборудования до очередного капитального ремонта (рис. 5, б). Как видно из данного рисунка, при более чем двукратном увеличении концентрации твердых частиц в шахтных водах средний ресурс до капитального ремонта насосного оборудования вырос всего на 28%.

В то же время логично, что выводы секционных насосов в капитальные ре-

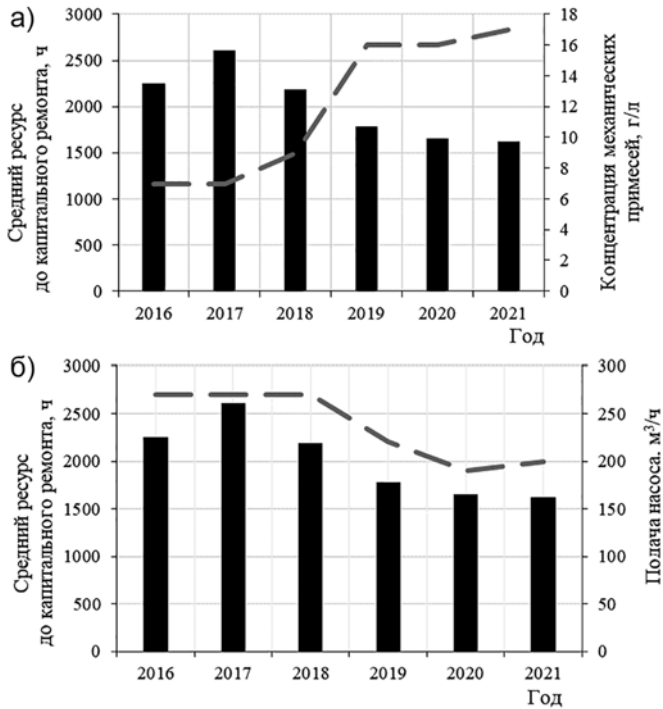


Рис. 5. Динамика изменения среднего ресурса секционного насоса до капитального ремонта в зависимости от концентрации механических примесей в шахтных водах (а) и подачи на момент вывода в капитальный ремонт (б)

Fig. 5. Time history of average overhaul period of vertical split casing pump as function of concentration of mechanical impurities in mine water (a) and delivery at withdrawal for basic repair (b)

монты при более пониженных гидравлических параметрах приводят к увеличению часов их работы, в результате чего повышается электропотребление этих энергоемких машин (номинальная мощность электродвигателя насоса составляет 2000 кВт).

Известно, что работа секционных насосов с пониженными гидравлическими параметрами может способствовать снижению срока службы узла гидравлической пяты по причине роста осевой силы, приводящего к более интенсивному затиранию деталей узла в переходных режимах работы — при разгоне и торможении [1, 13]. Результаты исследований показали, что у насосного оборудования главного водоотлива рассматриваемого рудника не прослеживается тесной взаимосвязи между средней на-

работкой узла гидравлической пяты на отказ и подачей на момент вывода в капитальные ремонты, о чем свидетельствуют результаты регрессионной статистики (рис. 6). Таким образом, видно, что в условиях главного водоотлива рудника «Удачный» изменение величины подачи секционного насоса на момент вывода в очередной капитальный ремонт влияет главным образом на затраты по выполнению капитальных ремонтов и на электропотребление насосного оборудования.

В настоящей работе рассмотрено одно из решений задачи повышения эффективности секционных насосов главной водоотливной установки рудника «Удачный», заключающееся в обеспокоении (с точки зрения экономической составляющей) величины подачи насо-

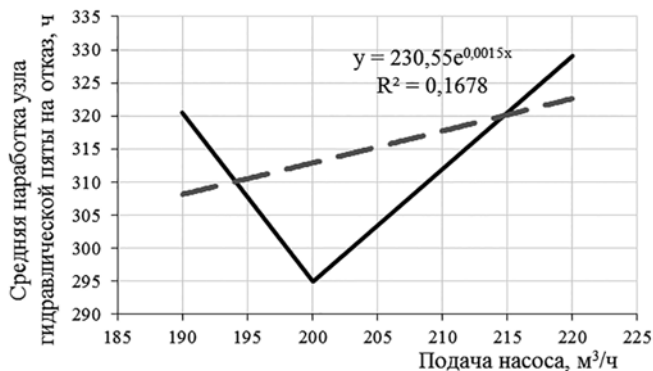


Рис. 6. Зависимость средней наработки узла гидравлической пяты на отказ от подачи секционного насоса на момент вывода в капитальный ремонт

Fig. 6. Average time between failures of balancing ring versus delivery of vertical split casing pump at withdrawal for basic repair

са на момент вывода в очередной капитальный ремонт в условиях интенсивного гидроабразивного изнашивания.

### Методика проведения исследований

Критерием обоснования подачи насоса на момент вывода в очередной капитальный ремонт  $Q_{\text{пр}}$  являются минимальные суммарные финансовые затраты на выполнение капитальных ремонтов  $S_1$  и электропотребление секционных насосов  $S_2$  при условии, что концентрация твердых частиц в шахтных водах в условиях главного водоотлива рудника составляет 16–17 г/л.

$$Q_{\text{пр}} (S_1 + S_2) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Затраты на выполнение капитальных ремонтов насосного оборудования  $S_1$  рассчитываются следующим образом:

$$S_1 = N_k \cdot c, \quad (2)$$

где  $N_k$  — количество выполненных капитальных ремонтов;  $c$  — средняя стоимость капитального ремонта, млн руб.

Параметр  $N_k$  равен:

$$N_k = T_r / T_n, \quad (3)$$

где  $T_r$  — суммарная наработка секционных насосов, ч;  $T_n$  — средний ресурс секционного насоса до капитального ремонта, ч.

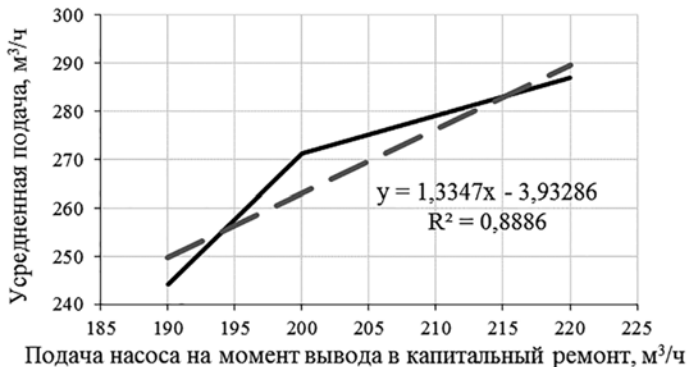


Рис. 7. Зависимость усредненной подачи секционного насоса от подачи на момент его вывода в капитальный ремонт

Fig. 7. Average delivery of vertical split casing pump versus its delivery at withdrawal for basic repair

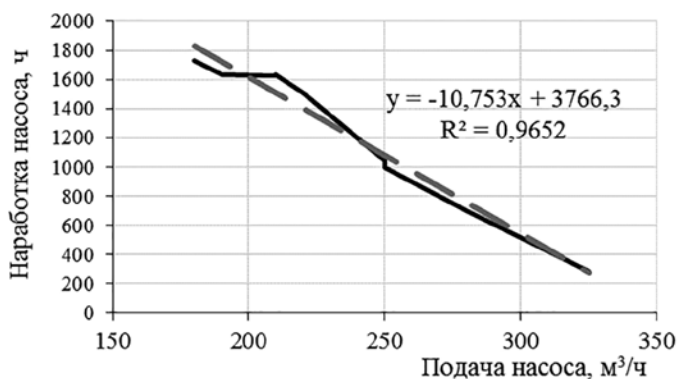


Рис. 8. Зависимость наработки секционного насоса от подачи

Fig. 8. Time between failures–delivery curve of vertical split casing pump

Параметр  $T_r$  определяется по формуле:

$$T_r = q / Q, \quad (4)$$

где  $q$  – суммарный водоприток в рудник, м³/год;  $Q$  – усредненная подача секционного насоса, м³/ч.

Параметр  $Q$  рассчитывается по формуле (5), полученной путем аппроксимации линейным трендом зависимости (рис. 7):

$$Q = 1,3347 Q_{np} - 3,9286, \quad (5)$$

где  $Q_{np}$  – подача секционного насоса на момент вывода в капитальный ремонт, м³/ч.

Параметр  $T_n$  при ряде допущений можно найти следующим образом. В ар-

гумент формулы, установленной в результате аппроксимации линейным трендом зависимости  $T = f(Q_{изм})$ , подставляются значения параметра  $Q_{np}$  (рис. 8):

$$T = -10,753 Q_{изм} + 3766,3, \quad (6)$$

где  $T$  – наработка секционного насоса, ч;  $Q_{изм}$  – подача секционного насоса при различной наработке, м³/ч.

Затраты на электропотребление секционных насосов  $S_2$  находятся следующим образом:

$$S_2 = P \cdot T_r \cdot s, \quad (7)$$

где  $P$  – усредненная величина электропотребления насосного оборудования, кВт/ч;  $s$  – стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч.

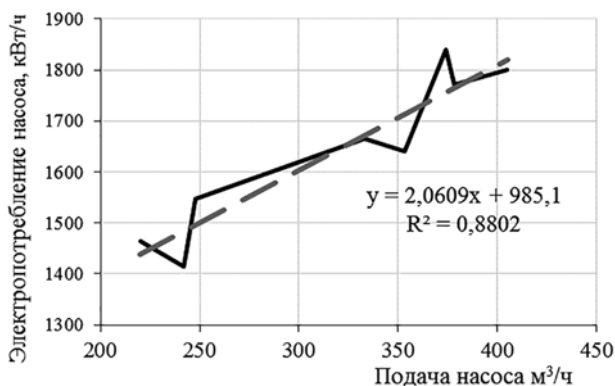


Рис. 9. Зависимость усредненной величины электропотребления секционного насоса от усредненной подачи

Fig. 9. Average power consumption versus average delivery of vertical split casing pump



По формуле (8), которая была установлена в результате аппроксимации линейным трендом зависимости (рис. 9), определяется параметр  $P$

$$P = 2,0609Q + 985,1. \quad (8)$$

Практика показывает, что в период с 2016 по 2021 гг. водоприток в рудник «Удачный» лежал в диапазоне 2 450 000 – 3 230 000 м<sup>3</sup>/год (табл. 1). Как видно из таблицы, последние 3 года наблюдается тренд превышения водопритоком отметки в 3 000 000 м<sup>3</sup>/год.

Согласно прогнозным расчетам водоприток в ближайшие несколько лет будет составлять примерно 3 150 000 – 3 200 000 м<sup>3</sup>/год. В связи с этим целесообразнее будет рассчитать затраты  $S$  при значениях параметра  $q = 3 150 000$

Таблица 1

**Динамика изменения водопритока в рудник**  
**History of water inflow in mine**

Год	$q$ , м <sup>3</sup> /год
2016	2 450 000
2017	2 870 000
2018	2 922 000
2019	3 230 000
2020	3 080 000
2021	3 121 000

и 3 200 000 м<sup>3</sup>/год соответственно. При выполнении необходимых расчетов постоянные значения приняты в отношении параметров  $s$  и  $c$  (где  $s = 5,96$  руб./кВт·ч;  $c = 10$  млн руб.).

Таблица 2

**Результаты выполненных расчетов**  
**Calculated results**

При $q = 3 150 000$ м <sup>3</sup> /год								
$Q_{пр}$ , м <sup>3</sup> /ч	$T_n$ , ч	$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	$T_r$ , ч	$N_k$	$S_1$ , млн руб.	$P$ , кВт/ч	$S_2$ , млн руб.	$S$ , млн руб.
200	1628,51	263,01	11 976,67	7	70	1527,14	109,01	179,01
210	1517,15	276,36	11 398,24	7	70	1554,65	105,61	175,61
220	1405,79	289,71	10 873,11	7	70	1582,15	102,53	172,53
230	1294,43	303,05	10 394,24	8	80	1609,66	99,72	179,72
240	1183,07	316,40	9955,77	8	80	1637,17	97,14	177,15
250	1071,71	329,75	9552,80	8	80	1664,67	94,78	174,78
260	960,36	343,09	9181,17	9	90	1692,18	92,60	182,60
270	849	356,44	8837,38	10	100	1719,69	90,58	190,58
При $q = 3 200 000$ м <sup>3</sup> /год								
200	1628,51	263,01	12 166,77	7	70	1527,14	110,74	180,74
210	1517,15	276,36	11 579,17	7	70	1554,65	107,29	177,29
220	1405,79	289,71	11 045,7	7	70	1582,15	104,16	174,16
230	1294,43	303,05	10 559,23	8	80	1609,66	101,30	181,30
240	1183,07	316,40	10 113,8	8	80	1637,17	98,69	178,69
250	1071,71	329,75	9704,43	9	90	1664,67	96,28	186,28
260	960,36	343,09	9326,91	9	90	1692,18	94,07	184,07
270	849	356,44	8977,66	10	100	1719,69	92,02	192,02

## Результаты исследований и их обсуждение

Результаты выполненных расчетов сведены в табл. 2. Из нее видно, что секционные насосы главной водоотливной установки рассматриваемого рудника с экономической точки зрения в ближайшие годы целесообразнее будет выводить в капитальные ремонты при снижении номинальной подачи до отметки в  $220 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Ожидаемый технико-экономический эффект от повышения параметра  $Q_{\text{пр}}$  с текущего значения до  $220 \text{ м}^3/\text{ч}$  составит чуть более 4,5 млн руб./год. Также выполненными расчетами подтверждено, что со снижением параметра  $Q_{\text{пр}}$  наблюдается тенденция к уменьшению затрат  $S_1$  и к росту затрат  $S_2$ .

## Выводы

1. Установлено, что с 2016 по 2020 гг. подача секционных насосов главной во-

доотливной установки рудника «Удачный» на момент вывода в капитальные ремонты снизилась с 270 до  $190 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В 2021 г. она повысилась до отметки в  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

2. На примере насосного оборудования главной водоотливной установки рудника «Удачный» разработана методика по экономическому обоснованию величины подачи секционного насоса на момент его вывода в очередной капитальный ремонт.

3. Доказано, что секционные насосы главной водоотливной установки рудника «Удачный» в ближайшие несколько лет целесообразнее будет выводить в капитальные ремонты при снижении номинальной подачи до отметки в  $220 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Ожидаемый технико-экономический эффект от практического использования такого рода мероприятия составит чуть более 4,5 млн руб./год.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников Н. П. Один из путей повышения долговечности гидравлической пяты секционного насоса // Записки Горного института. — 2021. — Т. 248. — С. 312–318. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.15.

2. Овчинников Н. П., Викулов М. А., Бочкарев Ю. С., Довиденко Г. П. Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств насосной установки с изношенным рабочим колесом // Горный журнал. — 2016. — № 9. — С. 61–65. DOI: 10.17580/gzh.2016.09.17.

3. Vikulov M. A., Ovchinnikov N. P., Makhno D. E. Measurements of section pump of rotor axial position at Udachny mine // Advances in Engineering Research. 2017, vol. 133, pp. 884–891. DOI: 10.2991/aime-17.2017.143.

4. Stan M. On the durability of centrifugal pumps // Fiability and Durability. 2018, vol. 1, pp. 193–198.

5. Долганов А. В. Гидроабразивный износ и экономичность водоотливных установок шахт и рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — СВ 9. — С. 3–8. DOI: 10.25018/0236-14932019-5-9-3-8.

6. Shen Z., Chu W., Li X., Dong W. Sediment erosion in the impeller of double-suction centrifugal pump. A case study of the Jingtai Yellow River Irrigation Project, China // Wear. 2019, vol. 422-423, pp. 269–279. DOI: 10.1016/j.wear.2019.01.088.

7. Serrano R., Santos L., Viana E., Martinez C. B. Case study: Effects of sediment concentration on the wear of fluvial water pump impellers on Brazil's Acre River // Wear. 2018, vol. 408, pp. 131–137. DOI: 10.1016/j.wear.2018.04.018.

8. Паламарчук Т. Н. Кавитационные режимы шахтных насосов при положительной и отрицательной высоте всасывания // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — Т. 4. — С. 204–219.

9. Бородкин Н. Н., Паламарчук Т. Н., Захаров В. А. Выбор и расчет базовых параметров центробежных насосов для определения начального этапа кавитации // Сборник на-

учных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. — 2019. — № 52. — С. 82 — 91.

10. Долганов А. В. Повышение эффективности эксплуатации водоотливных установок медноколчеданных рудников: Автореф. дис... канд. техн. наук. — Екатеринбург: УГГУ, 2012. — 20 с.

11. Куликова А. А., Сергеева Ю. А., Овчинникова Т. И., Хабарова Е. И. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 135 — 145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.

12. Горелкин И. М. Гидромеханизированный комплекс оборудования для очистки воды в системах шахтных водоотлива // Записки Горного института. — 2014. — Т. 209. — С. 170 — 172.

13. Паламарчук Н. В., Тимохина В. Ю., Паламарчук Т. Н. Причины неудовлетворительной работы автоматических уравнивающих устройств центробежных высоконапорных насосов // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. — 2016. — № 42. — С. 65 — 71. **MIAB**

## REFERENCES

1. Ovchinnikov N. P. One of the ways increase the durability of the sectional pump balancing ring. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 248, pp. 312 — 318. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.15.

2. Ovchinnikov N. P., Vikulov M. A., Bochkarev Yu.S. Dovidenko G. P. Experimental studies of operating properties of pumping unit with worn impeller. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 9, pp. 61 — 65. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.09.17.

3. Vikulov M. A., Ovchinnikov N. P., Makhno D. E. Measurements of section pump of rotor axial position at Udachny mine. *Advances in Engineering Research*. 2017, vol. 133, pp. 884 — 891. DOI: 10.2991/aime-17.2017.143.

4. Stan M. On the durability of centrifugal pumps. *Fiability and Durability*. 2018, vol. 1, pp. 193 — 198.

5. Dolganov A. V. Hydroabrasive wear and profitability of water-drainage installations in mines and ore mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, special edition 9, pp. 3 — 8. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-14932019-5-9-3-8.

6. Shen Z., Chu W., Li X., Dong W. Sediment erosion in the impeller of double-suction centrifugal pump. A case study of the Jingtai Yellow River Irrigation Project, China. *Wear*. 2019, vol. 422-423, pp. 269 — 279. DOI: 10.1016/j.wear.2019.01.088.

7. Serrano R., Santos L., Viana E., Martinez C. B. Case study: Effects of sediment concentration on the wear of fluvial water pump impellers on Brazil's Acre River. *Wear*. 2018, vol. 408, pp. 131 — 137. DOI: 10.1016/j.wear.2018.04.018.

8. Palamarchuk T. N. Cavitation modes of mine pumps with positive and negative sition lifts. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2017, vol. 4, pp. 204 — 219. [In Russ].

9. Borodkin N. N., Palamarchuk T. N., Zaharov V. A. Selection and calculation of the basic modes of the parameters of centrifugal pumps to determine the initial stage of cavitation. *Sbornik nauchnyh trudov Doneckogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*. 2019, no. 52, pp. 82 — 91. [In Russ].

10. Dolganov A. G. *Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii vodootlivnyh ustanovok mednokolchedannyh rudnikov* [Improving the efficiency of operation of copper and pyrites pits drainage systems], Candidate's thesis, Ekaterinburg, UGGU, 2012, 20 p.

11. Kulikova A. .A., Sergeeva Yu. .A., Ovchinnikova T. .I., Khabarova E. .I. Formation of mine water composition and analysis of treatment methods. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 7, pp. 135 — 145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.

12. Gorelkin I. M. Hydromechanized complex equipment for water purification in mine drainage systems. *Journal of Mining Institute*. 2014, vol. 209, pp. 170 – 172. [In Russ].

13. Palamarchuk N. V., Timokhina V. Yu., Palamarchuk T. N. Causes of unsatisfactory operation of the automatic balancing devices if centrifugal high-pressure pumpd. *Sbornik nauchnyh trudov Doneckogo instituta zhelezнодорожного транспорта*. 2016, no. 42, pp. 65 – 71. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Овчинников Николай Петрович – канд. техн. наук, доцент, директор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, 677000, Россия, e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4355-5028.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*N.P. Ovchinnikov*, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Director, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, 677000, Russia, e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4355-5028.

Получена редакцией 15.12.2021; получена после рецензии 26.04.2022; принята к печати 10.06.2022.  
Received by the editors 15.12.2021; received after the review 26.04.2022; accepted for printing 10.06.2022.



---

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

---

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

(№ 1255/07-22 от 26.05.2022; 9 с.)

Зубчевский В.Е. — магистрант, НИТУ «МИСиС».

Приведены результаты исследования и расчеты суммарного коэффициента гармонических составляющих, активной и реактивной мощностей и коэффициента мощности на стороне 6 кВ преобразовательного трансформатора для электропривода скиповой подъемной машины при изменении индуктивности реактора, сигнала задания реактивного тока и пределов зоны чувствительности реле. В качестве электропривода используется частотно-регулируемый электропривод переменного тока с синхронным двигателем. Преобразователь частоты содержит активный выпрямитель.

Ключевые слова: активный выпрямитель напряжения, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, активная мощность, реактивная мощность, коэффициент мощности, реактор, индуктивность.

### INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF ACTIVE VOLTAGE RECTIFIER

*V.E. Zubchetskiy*, Master's Student, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

The results of the study and calculations of the total coefficient of harmonic components, active and reactive power and the power factor on the 6 kV side of the converter transformer for the electric drive of the skip lifting machine when the inductance of the reactor changes, the signal for setting the reactive current and the limits of the sensitivity zone of the relay. A frequency-controlled AC electric drive with a synchronous motor is used as an electric drive. The frequency converter contains an active rectifier.

Key words: active voltage rectifier, the total coefficient of harmonic components of voltage, active power, reactive power, power factor, reactor, inductance.