

Управление эффективностью применения разгрузочных устройств секционных насосов

Н.П. Овчинников¹✉, И.В. Зырянов²

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

² Мирнинский политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Мирный, Российская Федерация

✉ ovchinnlar1986@mail.ru

Резюме: Подземная разработка месторождений твердых полезных ископаемых неизбежно сопровождается проникновением воды в горные выработки, что требует обязательного применения водоотливных комплексов. В системах водоотлива подземных горнодобывающих предприятий Российской Федерации с середины 2000-х годов широко применяются однопоточные секционные насосы серий НЦС и НЦСК, обладающие повышенной износостойкостью и способностью перекачивать воду с жесткими физико-химическими характеристиками. Однако эксплуатация насосов серии НЦСК на кимберлитовых рудниках Западной Якутии при перекачивании высокоабразивных и агрессивных водопритоков показала, что их проектные межремонтные периоды оказались слишком завышенными в сравнении с фактическими показателями долговечности. Наименее надежным элементом в конструкции секционных насосов является разгрузочное устройство (гидравлическая пята), на долю которого приходится до 90% всех отказов при работе с агрессивными и абразивными средами. Цель исследования заключается в разработке комплекса мероприятий по повышению эффективности применения разгрузочных устройств в отношении насосов, эксплуатируемых в сложных горно-геологических условиях. По результатам выполненных исследований разработана математическая модель для расчета долговечности гидравлических пят при функционировании насосного оборудования в условиях откачки высокоабразивных и агрессивных водопритоков. Даны рекомендации по проведению дефектаций изношенных пят и обоснованию их стратегии эксплуатации.

Ключевые слова: водоотлив, водоприток, насосное оборудование, секционные насосы, водоотливная установка, гидравлическая пята

Для цитирования: Овчинников Н.П., Зырянов И.В. Управление эффективностью применения разгрузочных устройств секционных насосов. *Горная промышленность*. 2025;(4S):54–57. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-54-57>

Managing the efficiency of the section pump discharge unit

N.P. Ovchinnikov¹✉, I.V. Zyryanov²

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

² Mirny Polytechnic Institute (branch) of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Mirny, Russian Federation

✉ ovchinnlar1986@mail.ru

Abstract: Underground mining of solid minerals inevitably involves water ingress into the mine workings, which requires the mandatory use of dewatering systems. Since the mid-2000s, single-flow section pumps of the NCS and NCSK series, which have enhanced wear resistance and the ability to pump water with harsh physical and chemical characteristics, have been widely used in the underground mine dewatering systems in the Russian Federation. However, operation of the NCSK series pumps at kimberlite mines in Western Yakutia when pumping highly abrasive and aggressive water has shown that their design time between overhauls is too long compared to their actual endurance. The least reliable element in the design of section pumps is the discharge unit (the balancing ring), which accounts for up to 90% of all failures when working with aggressive and abrasive media. The aim of the study is to develop a set of measures to improve the efficiency of discharge units of the pumps operated in difficult geological conditions. Based on the results of the research, a mathematical model has been developed to calculate the durability of balancing rings when the pump equipment is used to pump highly abrasive and aggressive water. Recommendations are given on the fault detection procedures for worn-out balancing rings and on justification of their operating strategy.

Keywords: de-watering, water ingress, pumping equipment, section pumps, de-watering unit, balancing ring

For citation: Ovchinnikov N.P., Zyryanov I.V. Managing the efficiency of the section pump discharge unit. *Russian Mining Industry*. 2025;(4S):54–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-54-57>

Введение

Подземный способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых сопровождается поступлением воды в горные выработки рудника (шахты), что ограничи-

вает возможность их добычи без соблюдения специальных мероприятий по водоотливу [1–4].

Среди насосного оборудования наибольшее применение в системах водоотлива подземных горнодобывающих

предприятий страны получили однопоточные секционные насосы [5–7]. С середины 2000-х годов на многих рудниках и шахтах стали активно использовать однопоточные секционные насосы серий НЦС и НЦСК, способные в соответствии с ТУ 3631-008-56634509-2010 перекачивать воду с более жесткими физико-химическими характеристиками, чем их аналоги (серии ЦНС и ЦНСК). Кроме того, важным эксплуатационным преимуществом данных насосов является повышенная износостойкость деталей, что позволяет их по праву считать оптимальным вариантом водоотливного оборудования в среднесрочной перспективе.

В то же время опыт эксплуатации насосов НЦСК на кимберлитовых рудниках Западной Якутии показал, что их фактические показатели долговечности оказались в 2–4 раза ниже гарантийных наработок при перекачивании сильно загрязненных высокоминерализованных водопритоков, что негативно отразилось на надежности функционирования системы водоотведения. Принимая во внимание тот факт, что в ближайшие десятилетия кратно возрастет количество разрабатываемых подземным способом рудных месторождений со сложными горно-геологическими характеристиками (согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ до 2035 года), обеспечение эффективной работы секционных насосов в условиях откачки водопритоков с особо жесткими физико-химическими свойствами является актуальной научной проблемой, имеющей важное значение для устойчивого развития горнодобывающей отрасли РФ.

В соответствии с теорией и практикой водоотлива [8; 9] наименее надежным элементом в конструкции секционного насоса является гидравлическая пята (разгрузочное устройство). В условиях высокоабразивных и агрессивных водопритоков на долю устройства может приходиться до 90% всех отказов насосного оборудования.

Целью настоящего исследования является разработка комплекса мер, направленных на повышение эффективности применения разгрузочных устройств применительно к насосному оборудованию, эксплуатируемому на месторождениях со сложными горно-геологическими характеристиками в динамике развития горных работ.

Материалы и методы

Для оценки надежности функционирования гидравлической пяты секционного насоса при различных вариациях эксплуатационных и технологических параметров водоотливной установки, работающей в сложных горно-геологических условиях, предложена следующая математическая модель:

$$t_g = k_{izn} \cdot k_{sdv} \cdot (-0,47H + 858,9), \quad (1)$$

где t_g – средняя наработка пяты на отказ, ч; k_{izn} – поправочный коэффициент, отражающий интенсивность механического износа контактных поверхностей разгрузочного устройства в переходных и установившихся режимах работы насосного оборудования при перекачивании абразивных сред; k_{sdv} – поправочный коэффициент, учитывающий рост осевой силы вследствие снижения подачи; H – паспортный напор секционного насоса, м.

Результаты проверки модели (1) на адекватность подтверждают высокую степень достоверности полученных с помощью нее расчетных значений наработки t_g в сравнении с фактическими (рис. 1). Максимальная погрешность модели составляет 10%.

Как видно из проведенных исследований, наиболее зна-

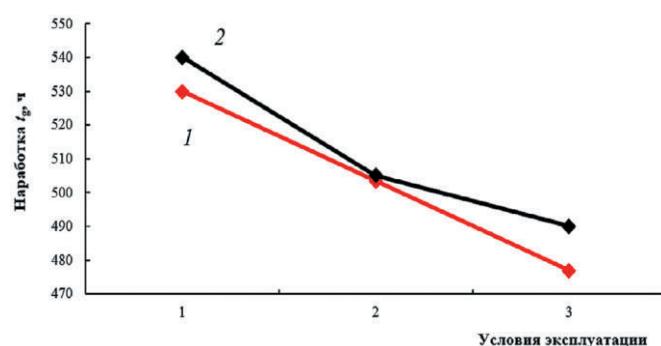


Рис. 1
Расчетные (1) и фактические (2) значения средней наработки гидравлических пяты насосов НЦСК 180-700 на отказ t_g в различных условиях эксплуатации (рудник «Мир»):
1 – $k_{sdv} = 1, k_{izn} = 1$;
2 – $k_{sdv} = 1, k_{izn} = 0,95$;
3 – $k_{sdv} = 1, k_{izn} = 0,9$

Fig. 1
The calculated (1) and actual (2) values of the average time before failure t_g of the NCSK 180-700 hydraulic pumps under various operating conditions (the Mir mine):
1 – $k_{sdv} = 1, k_{izn} = 1$;
2 – $k_{sdv} = 1, k_{izn} = 0,95$;
3 – $k_{sdv} = 1, k_{izn} = 0,9$

чимое влияние на долговечность разгрузочного устройства оказывает развивающийся секционным насосом напор. Для снижения скорости износа контактных поверхностей разгрузочных устройств высоконапорные насосы (независимо от их производительности) целесообразно оснащать электродвигателями с плавным запуском.

Практика эксплуатации водоотливных установок свидетельствует, что при отказе гидравлической пяты необходимо экстренно выполнить останов насосного агрегата во избежание механических разрушений роторных и корпусных элементов насоса, обусловленных недопустимым осевым смещением вала в сторону всасывания ($\geq 2,8$ мм) [9–12].

Надежным диагностическим признаком ухудшения силовой устойчивости ротора многоступенчатого насоса служит увеличение утечек через гидравлическую пяту, что непосредственно отражается на вибрационном состоянии его трубы разгрузки, предназначенной для отвода рабочей жидкости из устройства во всасывающую линию оборудования.

Как видно из результатов виброконтроля трубы разгрузки секционного насоса JSH-200 (рудник «Удачный»), среднеквадратичное значение виброскорости в ее контрольной

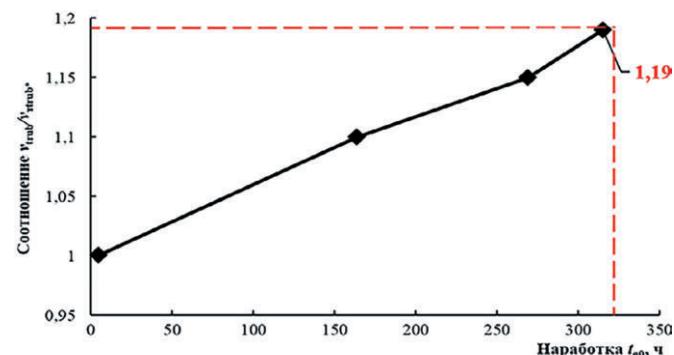


Рис. 2
Соотношение фактической виброскорости трубы разгрузки v_{trub} и номинального показателя v_{trub*} в зависимости от наработки гидравлической пяты t_g0

Fig. 2
The correlation between the actual vibration velocity of the discharge pipe v_{trub} and the nominal v_{trub*} value depending on the time before failure of the balancing ring t_g0

точке замера повышается по мере увеличения наработки гидравлической пяты t_{g0} (рис. 2) [9]. При виброскорости v_{trub} (6 мм/с), превышающей номинальный показатель v_{trub*} в 1,19 раза, техническое состояние насоса оценивалось как предаварийное.

Таким образом, доказано, что повышение вибрации трубы разгрузки свидетельствует об ухудшении силовой устойчивости ротора секционного насоса.

При дефектации изношенных разгрузочных устройств особое внимание уделяется внешнему состоянию торцевых поверхностей их деталей. В то же время опыт эксплуатации водоотливного оборудования в условиях высокоабразивных и агрессивных водопритоков (главный водоотлив рудника «Удачный») свидетельствует, что увеличенная щель между поверхностями кольца (подпятника) и цилиндра разгрузочного диска гидравлической пяты также негативно отражается на работоспособности секционных насосов.

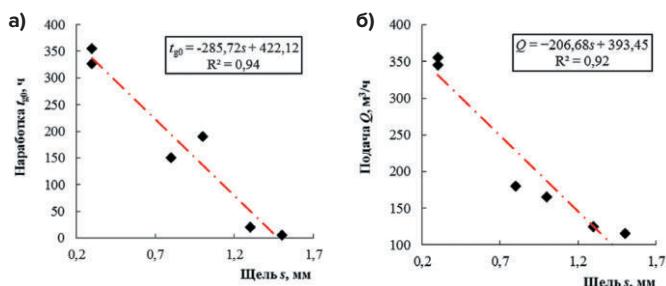


Рис. 3
Зависимости наработки гидравлической пяты на отказ t_{g0} (а) и подачи насосов Q (б) от размера цилиндрической щели s

Fig. 3
The dependence of the time before failure of the balancing ring t_{g0} (a) and the pump flow Q (b) on the size of the cylindrical gap s

Как видно из результатов статистических исследований (рис. 3: а, б), размер цилиндрической щели s сильно влияет на наработку гидравлической пяты на отказ t_{g0} и подачу секционных насосов Q [13]. Увеличение щели связано с уменьшением наружного диаметра цилиндра разгрузочного диска вследствие интенсивного износа.

Учитывая опыт эксплуатации водоотливного оборудования рудника «Удачный», технологический регламент проведения дефектации изношенных гидравлических пяты обязательно должен предусматривать замер наружного диаметра цилиндра разгрузочного диска.

При эксплуатации водоотливного оборудования широко используется практика восстановления гидравлических пяты после их обширного механического износа.

Ремонт изношенной пяты обходится в 2–3 раза дешевле, чем стоимость оригинального комплекта. В то же время в плане износостойкости восстановленные детали заметно уступают новым изделиям.

Затраты Z_g при различных стратегиях их эксплуатации (в рамках выполнения текущих ремонтов насосного оборудования) определяются следующими выражениями:

– без восстановления несущей способности изношенной пяты (стратегия №1)

$$Z_g = \frac{T_{summ}}{t_{gz}} \cdot Z_{g1} ; \quad (2)$$

– при одно- и двукратном восстановлении работоспособности пяты (стратегии №2 и №3)

$$Z_g = \frac{2T_{summ}}{1,67t_{gz}} \cdot (0,5Z_{g1} + 0,5Z_{g2}) ; \quad (3)$$

$$Z_g = \frac{3T_{summ}}{2,12t_{gz}} \cdot (0,33Z_{g1} + 0,67Z_{g2}) , \quad (4)$$

где T_{summ} – суммарная наработка насосного оборудования за календарный год, ч; t_{gz} – наработка заводской пяты секционного насоса до отказа, ч.

Результаты выполненных расчетов затрат Z_g свидетельствуют, что при эксплуатации секционных насосов в условиях высокоабразивных и агрессивных водопритоков вышедшие из строя заводские разгрузочные устройства целесообразно восстанавливать не более одного раза (рис. 4).

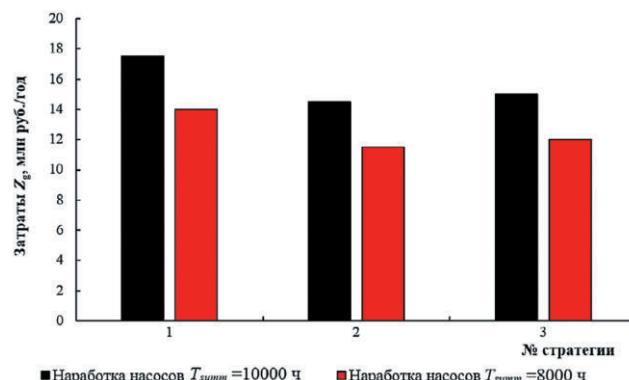


Рис. 4
Затраты на приобретение новых и восстановление изношенных гидравлических пяты Z_g при их стратегиях эксплуатации №1 (1), №2 (2), и №3 (3) соответственно

Fig. 4
The costs of purchasing new and repairing worn balancing rings Z_g for their operating strategies №1 (1), №2 (2), and №3 (3) respectively

Реализация предложенного комплекса мер по повышению эффективности применения разгрузочных устройств позволит обеспечить стабильную работу секционных насосов в системах водоотлива при одновременном снижении эксплуатационных расходов на водоотведение, что имеет особое значение при отработке месторождений со сложными горно-геологическими характеристиками.

Заключение

1. Разработана математическая модель долговечности разгрузочного устройства применительно к секционным насосам водоотливных установок, функционирующих в сложных горно-геологических условиях эксплуатации.
2. Доказана возможность оперативного диагностирования потери силовой устойчивости ротора секционного насоса в осевом направлении посредством анализа вибрационных характеристик его трубы разгрузки.
3. Установлено, что технологический регламент проведения дефектации изношенных гидравлических пяты обязательно должен предусматривать замер наружного диаметра цилиндра разгрузочного диска.
4. С точки зрения оптимизации эксплуатационных затрат на откачуку высокоабразивных и агрессивных водопритоков отказавшие заводские гидравлические пяты насосного оборудования целесообразно восстанавливать не более одного раза.

Список литературы / References

1. Guzy A., Malinowska A.A. Assessment of the impact of the spatial extent of land subsidence and aquifer system drainage induced by underground mining. *Sustainability*. 2020;12(19):7871. <https://doi.org/10.3390/su12197871>
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/en1415465858>
3. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A., Smirnov A.Yu. Flooding of open pit and underground mines in the Chelyabinsk coal field: consequences, problems and solutions. *Journal of Mining Science*. 2023;59(3):497–504. <https://doi.org/10.1134/s1062739123030171>
4. Buckley R.S., Spagnuolo E.K. Techno-economic assessment of underground mine dewatering systems. In: Andrieux P., Cumming-Potvin D. (eds). Deep Mining 2024: *Proceedings of the 10th International Conference on Deep and High Stress Mining, Australian Centre for Geomechanics*. Perth; 2024, pp. 1481–1494. https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2465_97
5. 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. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-6-53-55>
6. Gabbasov B.M., Kurochkin A.I., Mazhitov A.M., Kornilov S.N. Investigating external and internal working processes of mining machines when operating on “Unclarified” water in underground conditions. *Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Gornyy Zhurnal*. 2021;(6):13–23. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-6-13-23>
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. Долганов А.В., Ислентьев А.О., Торопов Э.Ю., Чураков Е.О. Анализ эффективности разгрузочных устройств шахтных центробежных секционных насосов. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2014;(2):31–35. Режим доступа: <https://iuggu.ru/download/2014-2-Dolganov.pdf> (дата обращения: 01.07.2025).
Dolganov A.V., Islentyev A.O., Toropov E.Yu., Churakov E.O. Analysis of effectiveness of dumping devices of mine centrifugal sectional pumps. *News of the Ural State Mining University*. 2014;(2):31–35. (In Russ.) Available at: <https://iuggu.ru/download/2014-2-Dolganov.pdf> (accessed: 01.07.2025).
9. 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
10. 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.
Timohin J.W., Palamarchuk T.N. The research results of the axial forces of the rotor and automatic settings. *Sbornik nauchnykh trudov Donetskogo instituta zheleznydorozhnogo transporta*. 2017;(45):32–42. (In Russ.)
11. Тимухин С.А., Долганов А.В., Попов Ю.В., Чураков Е.О., Ислентьев А.О., Торопов Э.Ю. О разработке шахтных центробежных секционных двухпоточных насосов. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2014;(2):41–44.
Timukhin S.A., Dolganov A.V., Popov Yu.V., Churakov E.O., Islentyev A.O., Toropov E.Yu. On the development of the mine sectional centrifugal dual-stream pumps. *News of the Ural State Mining University*. 2014;(2):41–44. (In Russ.)
12. Тимухин С.А., Чураков Е.О., Ислентьев А.О. Оценка напряженно-деформированного состояния валов шахтных секционных насосов. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2017;(2):75–77.
Timukhin S.A., Churakov E.O., Islent'ev A.O. Evaluation of the stress-strain state of shafts of mine section pumps. *News of the Ural State Mining University*. 2017;(2):75–77. (In Russ.)
13. Овчинников Н.П. Об одной из причин нарушения надежной и безопасной работы рудничной водоотливной установки. *Безопасность труда в промышленности*. 2022;(2):76–80. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-2-76-80>
Ovchinnikov N.P. On one of the reasons for the violation of the reliable and safe operation of the mine drainage system. *Occupational Safety in Industry*. 2022;(2):76–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-2-76-80>

Информация об авторах

Овчинников Николай Петрович – кандидат технических наук, доцент, директор Горного института, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru

Зырянов Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела, Мирнинский политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Мирный, Российская Федерация; e-mail: zyryanoviv@inbox.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.06.2025
Поступила после рецензирования: 13.08.2025
Принята к публикации: 18.08.2025

Information about the authors

Nikolay P. Ovchinnikov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Director of the Institute of Mining, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

Igor V. Zyryanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor Department of Mining Engineering, Mirny Polytechnic Institute (branch) of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Mirny, Russian Federation

Article info

Received: 29.06.2025
Revised: 13.08.2025
Accepted: 18.08.2025