

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК. 621.671.22

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИОННЫХ НАСОСОВ ГЛАВНОГО ВОДООТЛИВА ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА «УДАЧНЫЙ»

THE EXPERIENCE OF OPERATION OF SECTIONAL PUMPS OF THE MAIN DRAINAGE OF THE UNDERGROUND MINE «UDACHNY»

Овчинников Николай Петрович,
кандидат техн. наук, e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru
Ovchinnikov Nickolay P., C.Sc. (Engineering)

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677016, Россия, г. Якутск,
ул. Кулаковского, 50

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 677016, Russia, Yakutsk,
Kulakovskaya St, 50

Аннотация. Подземная разработка кимберлитовых трубок АК «Алроса» неразрывно связана с поступлением обильного количества воды в горные выработки, что без применения достаточного количества водоотливных установок делает процесс добычи алмазосодержащих руд более сложным и в первую очередь небезопасным. Таким образом, констатируем, что повышение эффективности эксплуатации насосного оборудования является одной из приоритетных задач для руководства ГОКов АК «Алроса». В данной статье представлены подробные сведения об эффективности эксплуатации насосов главного водоотлива подземного рудника «Удачный». Выявлено, что заводские насосы JSH 200 малоэффективны при работе на шахтной воде с высоким содержанием механических примесей, так как в таких условиях эксплуатации у вышеуказанных насосов преждевременно выходят из строя дорогостоящие детали – подшипники скольжения и торцевые уплотнения. Анализ представительного статистического материала свидетельствует, что в настоящее время именно частый выход из строя узла гидропяты является основной причиной низкой средней наработки насосов главного водоотлива подземного рудника «Удачный» до капремонта и на отказ. Выявлено, что наиболее встречающимся дефектом узла гидропяты является гидроабразивный износ его деталей, таких как кольца и диски гидропяты. В Удачниковском ГОКе АК «Алроса» из-за высокой стоимости запасных заводских узлов гидропяты изношенные детали имеющиеся узлов гидропяты подлежат восстановлению и повторному использованию, что и объясняет их низкую надежность.

Abstract. Underground development of kimberlite pipes by AK "Alrosa" is inextricably linked with large quantities of water inflow in the mine, hence, without the use of a sufficient number of drainage plants the process of production of diamond-containing ores becomes more difficult and, which comes first, unsafe. Thus, we can conclude that improving the efficiency of pumping equipment is one of the priority tasks for the management of AK "Alrosa" GOKs. This article provides detailed information about the efficiency of the pumps of the main drainage of the underground mine "Udachny". It has been found out that the factory-made pumps JSH 200 have low efficiency when working with the mine water with a high content of mechanical impurities, because in these conditions, the expensive parts such as bearings and face mechanical seals fail prematurely.

The analysis of representative statistical material shows that at present frequent failure of the unit hydraulic balancing device is the main reason for the low operating time of the pumps of the main drainage of the underground mine "Udachny" to overhaul and to failures. It is revealed that the most frequent defect of the unit balancing device is hydroabrasive wear of its parts, such as rings and disks of the balancing device. At Udachninsky GOK of "Alrosa" due to high cost of original balancing device parts, the worn parts of the available balancing devices are subject to restoration and repeated use, which explains their low reliability.

Ключевые слова: секционный насос, вибродиагностика, подшипниковые узлы, узел гидропяты, гидроабразивный износ, низкая надежность.

Keywords: sectional pump, vibration-based diagnostics, bearings, balancing device, hydroabrasive wear, low reliability.

Опыт эксплуатации заводских секционных насосов модели JSH 200 фирмы «Mackley Pumps» в насосной камере главного водоотлива

подземного рудника «Удачный» УГОКа АК «Алроса» обнаружил у них ряд проблем, касающихся технического состояния некоторых

узлов и деталей.

Как известно [1-5], в конструкциях различных турбомашин наиболее чувствительными элементами к каким-либо отклонениям в их работе являются подшипниковые узлы. В табл. 1 представлены результаты вибро- и тепловизионной диагностики технического состояния подшипниковых узлов насосов JSH 200, свидетельствующие, что уже после нескольких часов наработки техническое состояние подшипниковых узлов 4 из 5 насосов оценивалось как предельно допустимое.

Ревизии насосов показали, что повышенная вибрация и перегрев подшипниковых узлов были вызваны интенсивным резанием и царапанием их сегментов абразивными взвешенными частицами (рис. 1), попавшими в подшипниковые камеры, через ранее изношенные ими же элементы торцевых уплотнений (рис. 2).

Таким образом, было установлено, что заводские насосы JSH 200 малоэффективны при работе на шахтной воде, обладающей

нижеуприведенными характеристиками (табл.2).

Стоит отметить, что в горной промышленности гидроабразивный износ деталей и узлов центробежных насосов является основной причиной их преждевременного выхода из строя [6-14].

В целях повышения надежности и ремонтопригодности насосов JSH 200 компанией ООО «Линк-Продукт» была произведена их модернизация. В конструкцию данных насосов были внесены следующие изменения:

- двойные торцевые уплотнения заменены на сальниковые уплотнения;
- подшипники скольжения заменены на подшипники качения;
- щелевые уплотнения подверглись упрочнению.

Также с компанией ООО «Линк-Продукт» был заключен контракт на поставку и монтаж секционного насоса модели ЦНС(К) 350-1100.

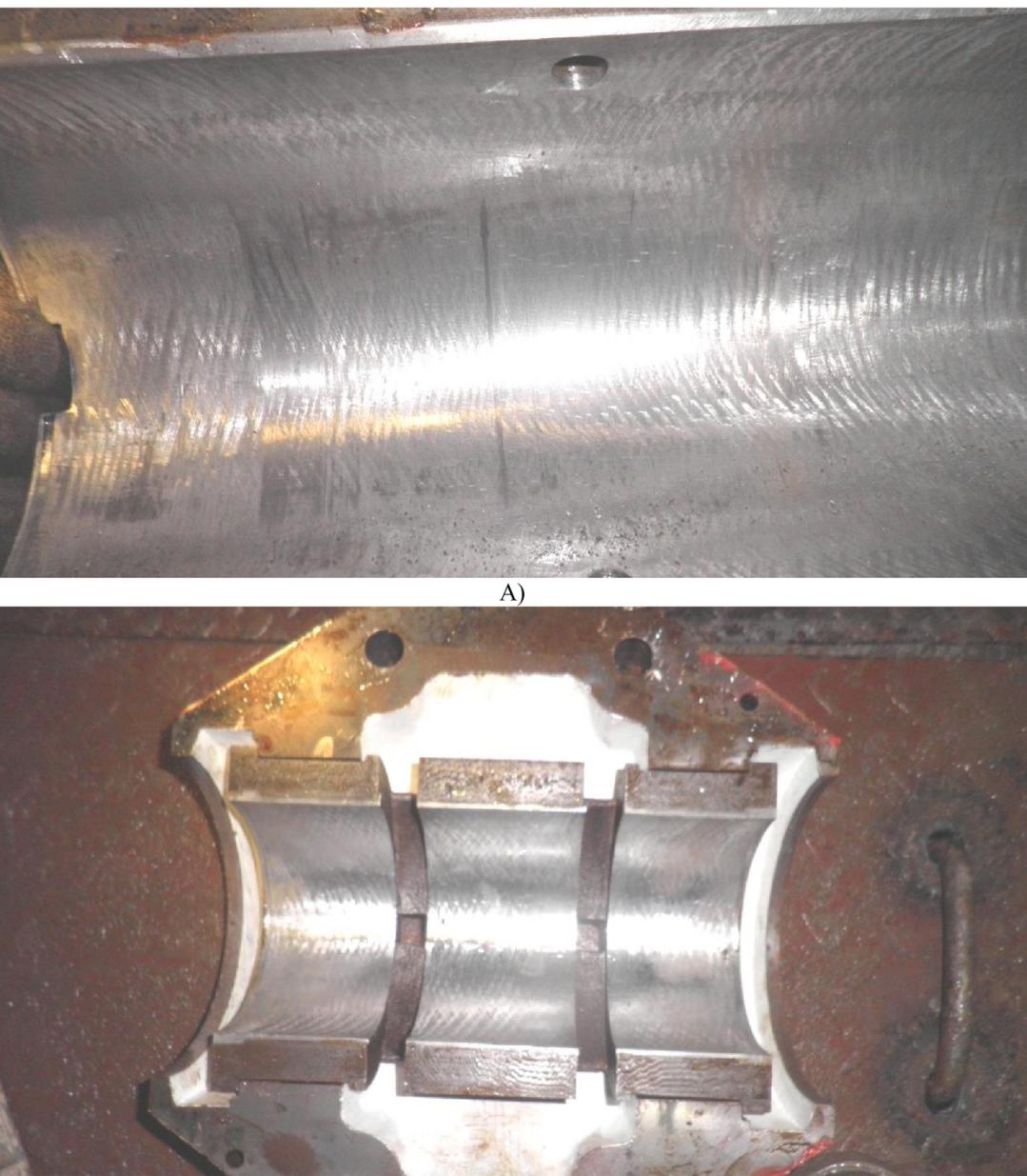
Согласно условиям заключенных контрактов, модернизированные насосы JSH 200 и насос

Таблица 1 – Результаты диагностики технического состояния подшипниковых узлов
 Table 1 – The results of diagnostics of technical condition of bearing units

Дата сбора данных, дд.мм.гг.	Наработка насоса на момент сбора данных, ч	Виброскорость, мм/с						Температура, °C	
		задний			передний			задний	передний
		X	Y	Z	X	Y	Z		
Насос № 0									
25.12.2013	2,3	1,4	2,5	3,6	1,4	1,4	1,5	55	59
5.01.2014	3,7	1,5	3	4,8	1,2	1,1	1,8	45	58
19.03.2014	9	1	1,7	2,6	1,2	1	2	50	58
Насос № 1									
22.01.2014	1,2	1,9	3	7,3	1,7	1,6	1,7	61	50
10.02.2014	8,3	1,3	3	5,8	1,5	1,4	1,6	70	51
19.02.2014	11,3	2	3,9	7,2	1,6	1,5	1,8	68	52
Насос № 2									
11.06.2014	1,8	1,5	2,4	4	2,3	2,4	1,9	46	58
23.06.2014	3,1	1,6	2,8	3,4	2,2	2,4	1,5	48	71
24.06.2014	6,3	1,5	3,3	5	2,9	2,4	1,6	64	48
Насос № 3									
4.04.2014	2,4	3,5	6,8	10,2	1,8	2	2,3	50	53
10.04.2014	6,4	3,7	7,8	10,5	1,5	1,9	2,1	47	53
14.04.2014	7,5	3,8	8,3	10,2	1,7	1,9	1,9	53	53
Насос № 5									
6.06.2014	1,1	2,7	5,8	9,6	2,5	5	3,2	48	45
10.06.2014	6	-	-	-	3,2	4,9	4,6	61	62
7.07.2014	8,7	2,7	5,7	8,6	4,1	5,9	5,9	55	68

Таблица 2 – Физико-химические характеристики шахтной воды
 Table 2 – Physical and chemical characteristics of mine water

Водородный показатель, pH	5 ÷ 6
Содержание твердых частиц по объему (мл на 1 литр жидкости)	До 80
Микротвердость частиц, ГПа	7 ÷ 13
Максимальный размер частиц, мм	5



*Рис. 1. Гидроабразивный износ нижнего (А) и верхнего (Б) сегмента подшипника скольжения
Fig. 1. Hydroabrasive wear of the bottom (A) and top (B) segments of the bearing*

ЦНС(К) должны были удовлетворять следующим требованиям руководства УГОКа АК «Алроса» (далее Заказчика):

- средняя наработка до капитального ремонта – 2000 часов;

- средняя наработка на отказ – 800 часов.

Представленные в виде рис. 3 а, б результаты проведенных автором исследований показали, что в настоящее время фактические показатели безотказности насосов главного водоотлива подземного рудника «Удачный» не соответствуют требуемым.

Гарантийная средняя наработка заводских насосов JSH 200 до капремонта на подземном руднике «Удачный» должна была составлять не

менее 10000 ч. В действительности, фактическая наработка этих насосов до капремонта оказалась примерно в восемь раз ниже гарантийной (рис. 3 а). Ее росту не помогла даже произведенная модернизация насосов.

Анализ собранного автором представительного статистического материала свидетельствует о том, что преждевременному выходу заводских насосов в капремонты в преобладающей доле случаев способствовало интенсивное гидроабразивное изнашивание рабочих колес и щелевых уплотнений [14], а преждевременному выходу модернизированных насосов в капремонты в основном способствует активное задевание деталей ротора за корпусные детали, вызванное



Рис. 2. Гидроабразивный износ элемента переднего торцевого уплотнения
 Fig. 2. Hydroabrasive wear of the element of the front face mechanical seal

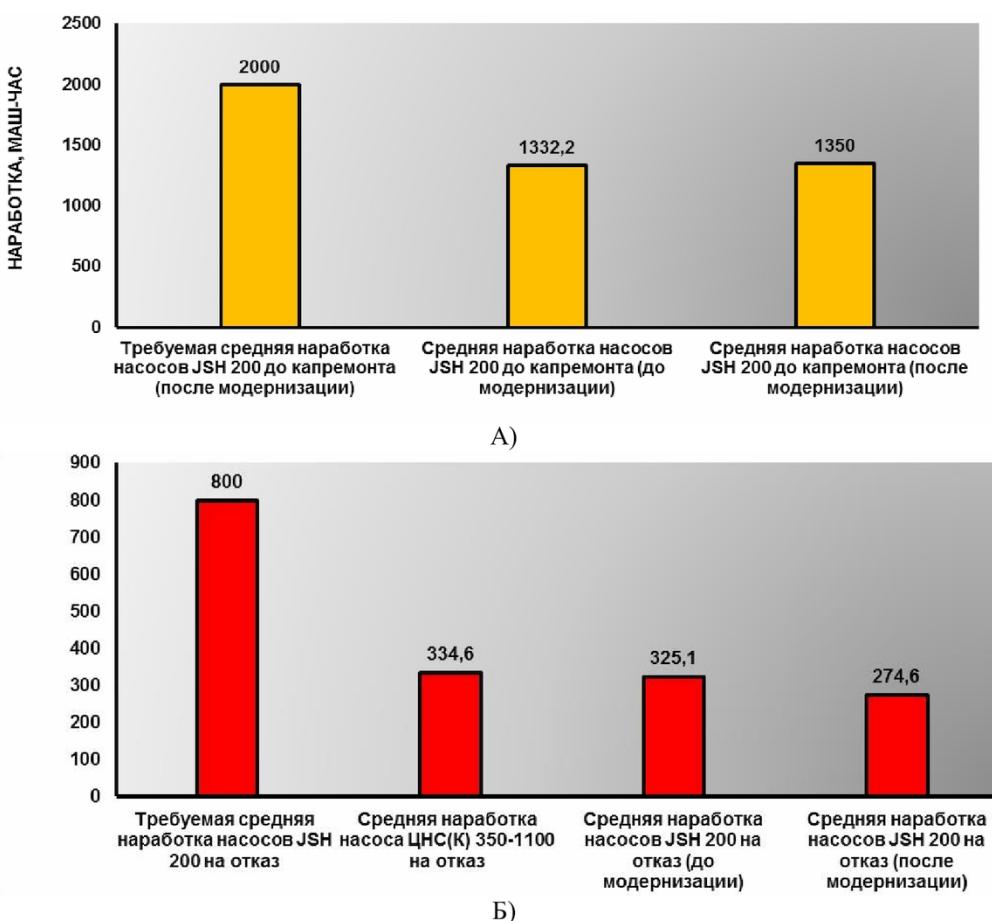


Рис. 3. Требуемая и фактическая средняя наработка насосов главного водоотлива подземного рудника «Удачный» до капремонта (А) и на отказ (Б)

Fig. 3. The required and actual average operating time of the pumps of the main drainage of the underground mine “Udachny” to overhaul (A) and to the failure (B)

значительным осевым смещением вала насоса в сторону всасывания [15].

Как известно [15-17], осевой сдвиг ротора насоса увеличивается в связи с ухудшением технического состояния узла гидропяты. В связи с этим констатируем, что именно надежность узла гидропяты определяет частоту проведения капремонтов модернизированных насосов.

Ряд работ [15, 16] свидетельствует, что узел гидропяты является наиболее отказывающим конструктивным элементом секционных насосов, эксплуатируемых в различных шахтах и рудниках Российской Федерации.

Из табл. 3 видно, что данная закономерность справедлива и для насосов главного водоотлива подземного рудника «Удачный».

Таблица 3 – Распределение отказов по узлам насосов (на 03.12.2016 г.)
 Table 3 – Distribution of failures across the pumps assemblies (as at 03.12.2016)

Насосы JSH до модернизации						
Узел	JSH № 0	JSH № 1	JSH № 2	JSH № 3	JSH № 5	-----
Узел гидропяты	0	0	3	0	0	0
Торцевые уплотнения	0	0	2	0	2	0
Подшипники скольжения	4	0	1	0	0	0
Насосы JSH после модернизации и насос ЦНС(К)						
Узел	JSH № 0	JSH № 1	JSH № 2	JSH № 3	JSH № 5	ЦНС(К) № 4
Узел гидропяты	8	11	1	9	9	9
Сальниковые уплотнения	0	0	1	0	0	0
Подшипники качения	2	5	0	2	3	2

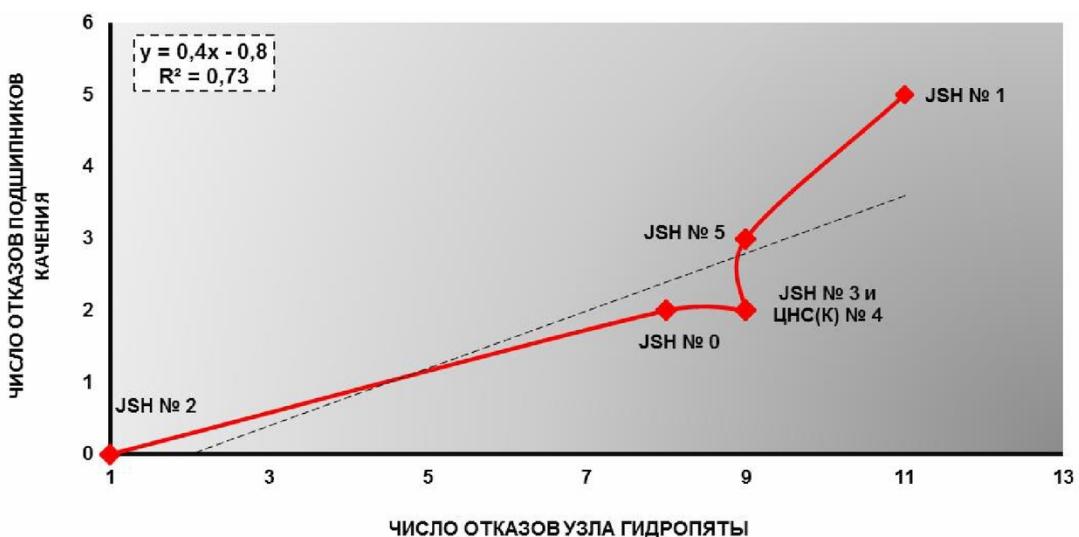


Рис. 4. Зависимость числа отказов подшипников качения от числа отказов узла гидропяты по рассматриваемым насосам
 Fig. 4. The dependence of the number of failures of rolling bearings on the number of failures of the balancing device in the considered pumps

Вторым по числу отказов (см. табл. 3) у исследуемых насосов является выход из строя подшипника.

На рис. 6 представлена кривая зависимости числа отказов подшипников качения от числа отказов узлов гидропяты по насосам главного водоотлива подземного рудника «Удачный». Линейная аппроксимация полученной кривой свидетельствует об определенной взаимосвязи между случайными величинами.

Таким образом, установлено, что в настоящее время именно частые выходы из строя узла гидропяты являются основной причиной низкой надежности насосов.

У заводских и модернизированных насосов JSH 200, а также насоса ЦНС(К) 350-1100 наиболее встречаемым дефектом узла гидропяты является гидроабразивный износ его деталей (рис. 5), что в российской практике довольно распространенное явление [16].

На рис. 6 приведены данные об изменении

наработки узлов гидропяты насосов до отказа с момента их запуска на руднике. Здесь отчетливо видно, что во всех шести случаях наибольшей наработкой на отказ обладают узлы гидропяты, которыми первоначально были оснащены насосы.

Данное явление объясняется тем, что в УГОКе АК «Алроса» из-за высокой стоимости запасных заводских узлов гидропяты было принято решение восстанавливать изношенные детали имеющихся узлов гидропяты (рис. 7) и повторно их использовать, а, как известно [18] надежность восстановленного изделия обычно ниже, чем нового.

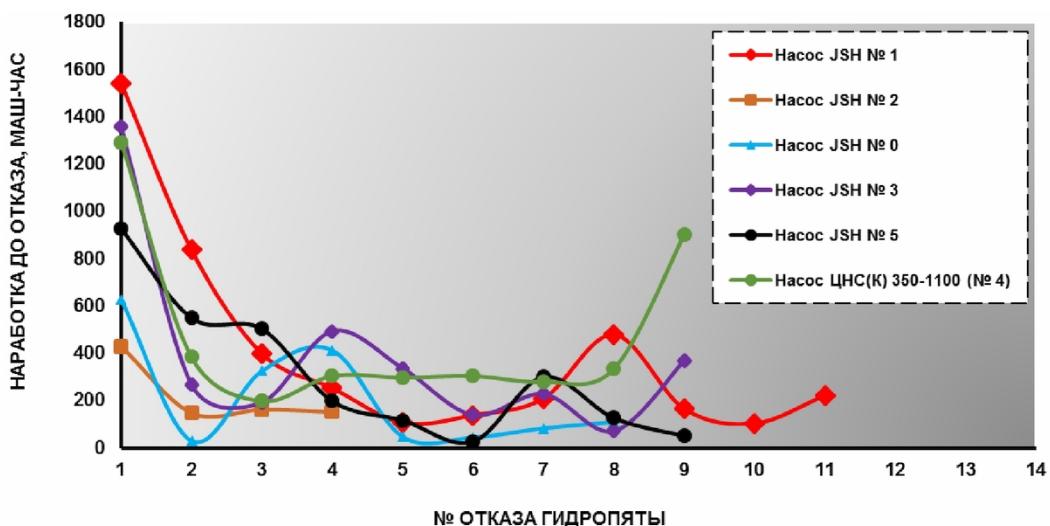
Резюмируя все вышесказанное, констатируем, что:

1) заводские насосы JSH 200 малоэффективны при работе на шахтной воде с высоким содержанием механических примесей;

2) в настоящее время именно частый выход из



*Рис. 5. Гидроабразивный износ диска и кольца гидропяты
 Fig. 5. Hydroabrasive wear of disk and ring of the balancing device*



*Рис. 6. Изменение наработки узла гидропяты насосов главного водоотлива подземного рудника «Удачный» до отказа с течением времени (на 03.12.2016 г.)
 Fig. 6. Changing operating time to failure of the balancing device of the main drainage pumps at the underground mine “Udachny” over time (as at 03.12.2016)*



*Рис. 7. Восстановленные диски гидропяты
 Fig. 7. Restored disks of the balancing device*

строя узла гидропяты является основной причиной низкой средней наработки насосов главного водоотлива подземного рудника «Удачный» до

капремонта и на отказ;

3) у заводских и модернизированных насосов JSH 200, а также насоса ЦНС(К) 350-1100 наиболее

встречаемым дефектом узла гидропяты является гидроабразивный износ его деталей;

4) в УГОКе АК «Алроса» из-за высокой стоимости запасных заводских узлов гидропят изношенные детали имеющихся узлов гидропят

подлежат восстановлению и повторному использованию, что и объясняет их низкую надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герике П.Б. Определение фактического технического состояния промышленных компрессоров на основе контроля по параметрам механических колебаний // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2013. – № 6(100). – С. 37–40.
2. Герике П.Б. Результаты вибродиагностики оборудования центробежных насосов применительно к созданию единого критерия оценки фактического состояния // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2016. – № 6. – С. 89–96.
3. Герике П.Б. Насосное оборудование обогатительных фабрик Кузбасса – как объект диагностики технического состояния // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2013. – № 5(99). – С. 114–116.
4. Бирюков Р.В. Температурная диагностика роторных подшипников газотурбинных двигателей / Р.В. Бирюков, Ю.В. Киселев // Научный вестник МГТУ ГА, 2014. – № 205. – С. 55–61.
5. Бирюков Р.В. Вибродиагностика роторных подшипников газотурбинных двигателей с использованием режима холодной прокрутки / Р.В. Бирюков, Ю.В. Киселев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 18. № 1(2). С. 153–157.
6. Долганов А.В. Влияние износа элементов проточной части шахтных насосов ЦНС(К)300-360 на режимы их работы // Известия Уральского государственного горного университета, 2012. – № 27-28. – С. 110–113.
7. Долганов А.В. Шламы медно-колчеданных рудников: проблемы и пути решения // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013. – № 4. – С. 10–14.
8. Поветкин В.В. Гидроабразивный износ грунтовых и песковых насосов / В.В. Поветкин, В.П. Лем // Вестник КазНТУ, 2008. – № 6(69). – С. 51–54.
9. Yoganand J. Erosive wear behavior of high-alloy cast iron and duplex stainless steel under mining conditions / J. Yoganand, S. Natarajan, Babu S.P. Kumaresan // Journal of Materials and Perfomance, 2015. – Vol. 24(9). – P. 3588–3598.
10. Ramkrishna Dandapat. A probability based model for the erosive wear of concrete by sediment bearing water / Dandapat Ramkrishna, Deb. Arghya // Wear, 2016. – Vol. 350. – P. 166–181.
11. Косьмин В.Г. Анализ причин недостаточной износостойкости деталей насосов для гидроабразивных смесей / В.Г. Косьмин, С.Т. Пацера, В.В. Процив // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта, 2015. – № 1(2). – С. 83–89.
12. Rick Kesler. Considerations is selecting a positive displacement slurry pump // Mining World, 2016. – Vol. 13(4). – P. 34–37.
13. Kranzler Thomas. Improwing pump materials for harh environments / Thomas Kranzler, Raimo Arola // Sulzer Technical Review, 2013. – Vol. 2. – P. 10–12.
14. Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств насосной установки с изношенным рабочим колесом / Н.П. Овчинников, М.А. Викулов, Ю.С. Бочкирев, Г.П. Довиденко // Горный журнал, 2016. – № 9. – С. 85–88.
15. Герике, П.Б. Диагностирование динамического оборудования подъемных лебедок драглайнов // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности, 2014. Вып. 2. С. 108–113.
16. Герике, П.Б. Контроль технического состояния буровых установок серии DML по параметрам механических колебаний // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности, 2014. Вып. 1. С. 28–31.
17. Стюфляев С.С. Сравнительный анализ многоступенчатого насоса типа ЦНС с оппозитным расположением колес и с гидропятой / С.С. Стюфляев, О.Г. Шипулин // Молодой ученый, 2017. – № 3. – С. 165–171.
18. Пирозерская О.Л. Анализ возможностей применения современных способов изготовления и восстановления автомобильных деталей разных классов с целью повышения их надежности / О.Л. Пирозерская, А.Н. Малышев // Технико-технологические основы сервиса, 2012. – Вып. № 4. – Т.22. – С.14–19.

REFERENCES

1. Gerike P.B. Opredeleniye fakticheskogo tekhnicheskogo sostoyaniya promyshlennyykh kompressorov na osnove kontrolya po parametram mekhanicheskikh kolebanij // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2013. – № 6(100). – P. 37–40.
2. Gerike P.B. Rezul'taty vibrodiagnostiki oborudovaniya tsentrobekhnykh nasosov primenitelno k sozdaniyu edinogo kriteriya otsenki fakticheskogo sostoyaniya // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2016. – № 6. – P. 89–96.
3. Gerike P.B. Nasosnoye oborudovaniye obogatitelnykh fabrik Kuzbassa – kak obyekt diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2013. – № 5(99). – P. 114–116.
4. Biryukov R.V. Temperaturnaya diagnostika rotornykh podshipnikov gazoturbinnyykh dvigateley / R.V. Biryukov. Y.V. Kiselev // Nauchnyy vestnik MGTU GA, 2014. – № 205. – P.55–61.
5. Biryukov R.V. Vibrodiagnostika rotornykh podshipnikov gazoturbinnyykh dvigateley s ispolzovaniyem rezhima kholodnoy prokrutki / R.V. Biryukov. Y.V. Kiselev // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, 2014. T. 18. № 1(2). P. 153–157.
6. Dolganov A.V. Vliyanie iznosa elementov protochnoy chasti shakhnykh nasosov TsNS(K)300-360 na rezhimy ikh raboty // Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2012. – № 27-28. – P. 110–113.
7. Dolganov A.V. Shlamy medno-kolchedannyykh rudnikov: problemy i puti resheniya // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten, 2013. – № 4. – P. 10–14.
8. Povetkin V.V. Gidroabrazivnyy iznos gruntovykh i peskovykh nasosov / V.V. Povetkin. V.P. Lem // Vestnik KazNTU, 2008. – № 6(69). – P. 51–54.
9. Yoganand J. Erosive wear behavior of high-alloy cast iron and duplex stainless steel under mining conditions / J. Yoganand. S. Natarajan. Babu S.P. Kumaresan // Journal of Materials and Perfomance, 2015. – V. 24(9). – P. 3588–3598.
10. Ramkrishna Dandapat. A probability based model for the erosive wear of concrete by sediment bearing water / Dandapat Ramkrishna. Deb. Arghya // Wear, 2016. – V. 350. – P. 166–181.
11. Kosmin V.G. Analiz prichin nedostatochnoy iznosostoykosti detaley nasosov dlya gidroabrazivnykh smesey / V.G. Kosmin. S.T. Patsera. V.V. Protsiv // Sovremennyye innovatsionnyye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoj promyshlennosti i transporta, 2015. – № 1(2). – P. 83–89.
12. Rick Kesler. Considerations is selecting a positive displacement slurry pump // Mining World, 2016. – V. 13(4). – P. 34–37.
13. Kranzler Thomas. Improving pump materials for harsh environments / Thomas Kranzler. Raimo Arola // Sulzer Technical Review, 2013. – V. 2. – P. 10–12.
14. Eksperimentalnyye issledovaniya ekspluatatsionnykh svoystv nasosnoy ustanovki s iznoshennym rabochim kolesom / N.P. Ovchinnikov. M.A. Vikulov. Yu.S. Bochkarev. G.P. Dovidenco // Gornyy zhurnal, 2016. – № 9. – P. 85–88.
15. Gerike, P.B. Diagnostirovanie dinamicheskogo oborudovaniya pod"emnyh lebedok draglajnov // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti v ugor'noj promyshlennosti, 2014. V. 2. P. 108–113.
16. Gerike, P.B. Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya burovyh ustanovok serii DML po parametram mekhanicheskikh kolebanij // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti v ugor'noj promyshlennosti, 2014. V. 1. P. 28–31.
17. Styuflyayev S.S. Sravnitelnyy analiz mnogostupenchatogo nasosa tipa TsNS s oppozitnym raspolozheniyem koles i s gidropatoy / S.S. Styuflyayev. O.G. Shipulin // Molodoy uchenyy, 2017. – № 3. – P. 165–171.
18. Pirozerskaya O.L. Analiz vozmozhnostey primeneniya sovremennykh sposobov izgotovleniya i vosstanovleniya avtomobilnykh detaley raznykh klassov s tselyu povysheniya ikh nadezhnosti / O.L. Pirozerskaya. A.N. Malyshev // Tekhniko-tehnologicheskiye osnovy servisa, 2012. – V. 4. – T. 22. – P.14–19.

Поступило в редакцию 28.03.2017
Received 28 March 2017