

УДК. 621.671.22

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ИЗНОШЕННЫМ РАБОЧИМ КОЛЕСОМ



Н. П. ОВЧИННИКОВ,
доцент,
канд. техн. наук,
ovchinnlar1986@mail.ru



М. А. ВИКУЛОВ,
зав. кафедрой,
д-р техн. наук



Ю. С. БОЧКАРЕВ,
старший
преподаватель



Г. П. ДОВИДЕНКО,
доцент,
канд. техн. наук

Горный институт Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

Введение

На многих рудниках и шахтах водоотливные установки на базе насосов ЦНС, используемые при откачке водопритоков на поверхность или вышележащие горизонты, работают в условиях коррозионного и гидраабразивного изнашивания, что в итоге негативно сказывается на их технологических показателях (подаче Q , напоре H , мощности N и КПД η), эргономических показателях (уровне звукового давления L , виброускорения a , виброскорости v , виброперемещения S) и показателях надежности (интенсивности отказов $\lambda(t)$, наработке на отказ T_0 и др.) [1–16].

Одним из вынужденных способов обеспечения работоспособности и надежности рудничных (шахтных) водоотливных установок при работе в жестких условиях является снижение их норм наработки до капитального ремонта, что активно применяется, например, на горнодобывающих предприятиях Урала и Якутии. На медноколчеданных рудниках Южного Урала наработка насосов ЦНС(К) до капитального ремонта составляет 248–1000 ч, а на кимберлитовых рудниках Западной Якутии такие ремонты насосов ЦНС(К) фактически проводят через 3500–3900 ч при общем нормативе в 6500 ч [17, 18].

На многих рудниках (шахтах) насосные агрегаты работают в условиях коррозионного и гидраабразивного изнашивания, что негативно сказывается на эффективности их работы. В статье рассмотрены экспериментальные исследования эксплуатационных свойств электронасосного агрегата при работе с новым и изношенным рабочими колесами. Представлены результаты замеров рабочих параметров электронасосного агрегата, вибромониторинга и тепловизионной съемки, на основе которых сформулированы основные выводы по статье.

Ключевые слова: насос, износ, рабочее колесо, эксплуатационные свойства, лабораторная установка, рабочие параметры, вибрация, температура.

DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.17

Даже несмотря на сокращение межремонтных периодов, рабочие колеса насосов ЦНС(К) в процессе откачки минерализованных вод, богатых механическими примесями, теряют приблизительно от 3 до 10 % первоначальной массы в зависимости от порядкового номера расположения колеса на валу, что может привести к смещению режима работы электронасосного агрегата от оптимальной области по напорной кривой, разбалансировке ротора и другим существенным проблемам.

Таким образом, проведение экспериментальных исследований эксплуатационных свойств насосной установки с рабочим колесом со сниженной металлоемкостью вследствие износа на 3–10 % первоначального состояния является актуальной научно-практической задачей.

Проведение экспериментальных исследований и их результаты

Исследования, положенные в основу данной статьи, были выполнены на кафедре горных машин Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова.

Натурный эксперимент проводили на лабораторной установке, оснащенной консольным насосом К8/18, в два этапа (**рис. 1**). Первый этап — замер рабочих параметров (давления на входе в насос M_1 , в улите M_2 и на выходе из насоса M_3 , подачи Q , частоты вращения электродвигателя n , мощностей трех фаз $N_{A,B,C}$), среднего квадратичного значения (СКЗ) виброскорости $v_{r.m.s}$ и температуры t в контрольных точках при эксплуатации насоса с новым рабочим колесом массой 1,008 кг (**рис. 2, а**). Второй этап — замер вышеуказанных величин при эксплуатации насоса с изношенным рабочим колесом массой 0,952 кг, т. е. со сниженной на 5,5 % металлоемкостью по сравнению с новым рабочим колесом (см. **рис. 2, б**).



Рис. 1. Лабораторная установка и комплект измерительно-фиксирующих приборов, использованных при проведении натурального эксперимента:

1 — насос К8/18; 2 — электродвигатель АИР80В2; 3 — шаровый кран Ду-40; 4 — мановаккуумметр ОБМВ1-100; 5 — манометр ТМ5; 6 — манометр АМ1001У2; 7 — шаровый кран Ду-32; 8 — расходомер Unimag TU4; 9 — измерительный комплект К50; 10 — механический тахометр; 11 — накопительная емкость; 12 — виброметр АТТ-9002; 13 — тепловизор Testo 875-1



Рис. 2. Рабочие колеса насоса К8/18:
а — новое; б — изношенное

Таблица 1. Результаты натурального эксперимента

Измеренный параметр	Этап испытаний		Расчетный параметр	Этап испытаний	
	I	II		I	II
M_1 , Па	-7848	-1962	H , м	21,5	20,6
M_2 , Па	196200	191229,7	H' , м	20,8	19,9
M_3 , Па	195219	191229,7	Q' , м ³ /с	0,00051	0,00049
Q , м ³ /с	0,00052	0,0005	N , Вт	1125	1110
N_A , Вт	382,5	375	N_n , Вт	933,75	921,3
N_B , Вт	360	360	N_n^* , Вт	856,01	844,6
N_C , Вт	382,5	375			
n , мин ⁻¹	2950	2950			

Таблица 2. СКЗ виброскоростей, мм/с

Точки замера	1П	1В	10	2П	2В	3П	3В	4В	5П	5В	6П	6В	7П	7В	70	8В
I этап	1,9	2,3	1,4	1,8	3,2	1,4	2,2	1,1	3,2	4,2	4,1	4,4	4,1	4,2	4,4	2
II этап	2,1	2,7	2	2	3,4	1,5	2,4	1,2	4,4	5,5	5,9	5,2	4,7	4,8	5,8	2,4

Натурный эксперимент был проведен в соответствии с ГОСТ 6134-2007 [19], ГОСТ ИСО 10816-1-1997 [20] и ГОСТ Р 18434-1-2013 [21].

Каждый рабочий параметр измеряли пять раз, а СКЗ виброскорости и температуры в каждой контрольной точке — по три раза [19, 20]. Показания измеряемых параметров снимали в различные интервалы времени, но не реже чем через 10 с. Число контрольных точек при замере виброскорости составило 16, а при замере температуры — 4. Температура окружающего воздуха во время испытаний была равна 18 °С.

Перед испытаниями электронасосный агрегат был подвергнут обкатке. Обкатка агрегата перед каждым этапом испытаний составляла 15 мин (0,25 ч). [19].

Значения рабочих параметров, измеренных в ходе натурального эксперимента и вычисленных в соответствии с формулами (1)–(6) [19, 22], представлены в **табл. 1**.

Полный напор электронасосного агрегата H был определен по формуле:

$$H = 0,102 \frac{M_3 - M_1}{\rho} + 0,0827 Q_T^2 \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right) + \Delta Z_m, \quad (1)$$

где M_1, M_3 — показания прибора измерения давления жидкости для всасывающей и напорной линий, Па (см. табл. 1); ρ — фактическая плотность жидкости, кг/м³ (1036 кг/м³); Q_T — текущая подача, м³/с (см. табл. 1); d_1, d_2 — внутренние диаметры се-

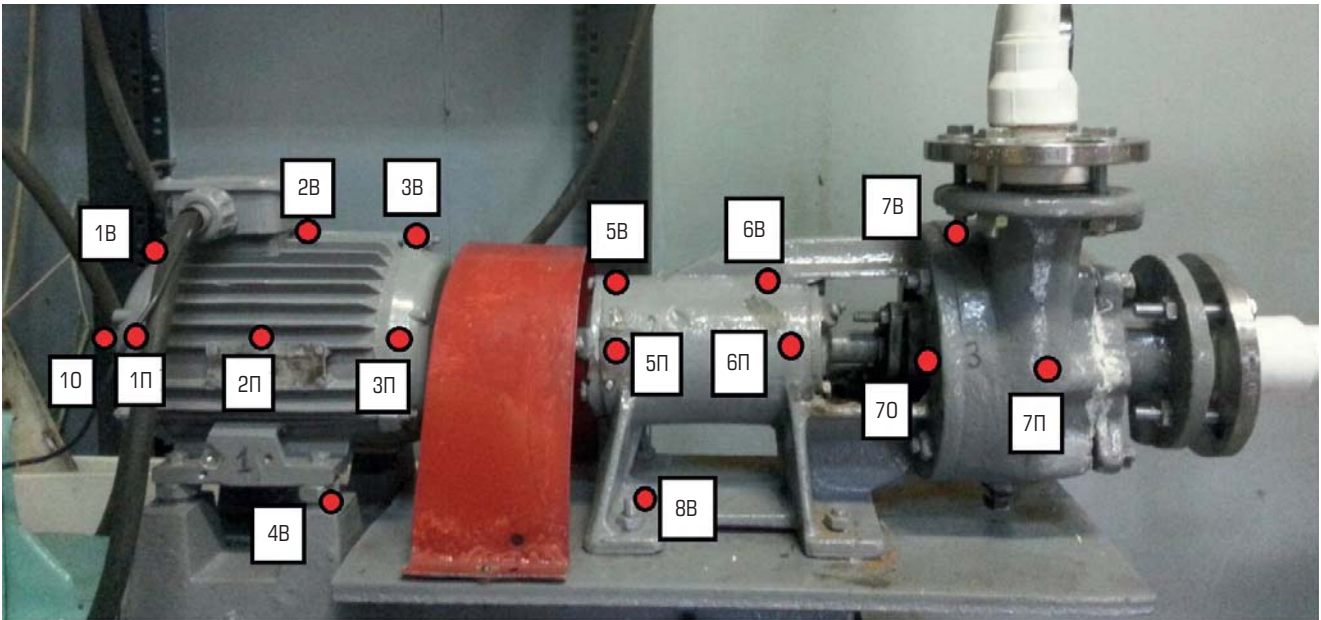


Рис. 3. Расположение контрольных точек при вибромониторинге:

П, В, О — установка пьезоакселерометра для замера, соответственно, поперечных, вертикальных и осевых колебаний

чений всасывающей и напорной линий, м (0,021 и 0,026 м); ΔZ_m — разность отметок положения приборов для измерения давления жидкости в мерных сечениях, м (1,5 м).

Замеренная мощность электронасосного агрегата N составила

$$N = N_A + N_B + N_C, \quad (2)$$

где N_A, N_B, N_C — мощности фаз электродвигателя насосного агрегата, определенные с помощью измерительного комплекта К50, Вт (см. табл. 1).

Потребляемая мощность электронасосного агрегата N_n была определена по формуле

$$N_n = \frac{N\eta}{100}, \quad (3)$$

где η — КПД электродвигателя, % (83 %).

После расчета основных технологических параметров электронасосного агрегата были вычислены значения вышеназванных параметров, приведенных к расчетной частоте вращения n' (2900 мин⁻¹) и плотности ρ' (1000 кг/м³) согласно формулам (4), (5) и (6):

$$Q' = Q \frac{n'}{n}; \quad (4)$$

$$H' = H \left(\frac{n'}{n} \right)^2; \quad (5)$$

$$N'_n = N_n \left(\frac{n'}{n} \right)^3 \left(\frac{\rho'}{\rho} \right). \quad (6)$$

Согласно данным табл. 1, можно констатировать, что при снижении металлоемкости рабочего колеса на 5,5 % первоначального состояния подача электронасосного агрегата сократилась на 3,9 %, полный напор — на 4,5 %, потребляемая мощность — на 1,3 %.

Таблица 3. Температура, замеренная тепловизором в контрольных точках, °С

Точки замера	1П	3П	5П	6П
I этап	27,7	22,6	18,1	21,7
II этап	37,2	27,1	19,4	25

Наиболее распространенным методом оценки текущего технического состояния электронасосных агрегатов является вибромониторинг [23–26]. Насос КВ/18 относится к 1-му классу роторных машин с предельно допустимым СКЗ виброскорости 4,5 мм/с (нижняя граница зоны «С») [20, 27].

В табл. 2 представлены СКЗ виброскоростей, замеренных виброметром в контрольных точках (рис. 3) при работе электронасосного агрегата.

Анализ полученных СКЗ виброскоростей свидетельствует, что фактическое техническое состояние электронасосного агрегата с новым рабочим колесом оценивается как «предельно допустимое» (т. е. машина может функционировать ограниченный период времени, пока не появится возможность проведения ремонтно-восстановительных работ) и характеризуется приемлемым уровнем виброскорости — от 1,1 до 4,4 мм/с [20].

Фактическое техническое состояние электронасосного агрегата с изношенным рабочим колесом оценивается как «недопустимое» (т. е. дальнейшая эксплуатация машины может привести к ее серьезным поломкам) и характеризуется повышением уровня виброскорости в 1,1–1,5 раза в точках замера вибрации.

Кроме вибромониторинга, также эффективным методом оценки текущего технического состояния электрических машин является тепловизионный контроль [21, 28].

При проведении тепловизионного контроля в качестве контрольных точек были взяты точки 1П, 3П, 5П и 6П, которые уже были ранее использованы при вибромониторинге (см. рис. 3).

По результатам тепловизионной съемки (табл. 3) было установлено, что при работе электронасосного агрегата с изношенным рабочим колесом по сравнению с новым температура в контрольных точках возросла на 7,2–34,3 % в зависимости от порядкового номера точки замера.

Заключение

Результаты проведенного натурального эксперимента показали, что при снижении металлоемкости рабочего колеса насоса К8/18 на 5,5 % первоначального состояния:

- подача электронасосного агрегата сократилась на 3,9 %, полный напор — на 4,3 %, потребляемая мощность — на 1,3 %;
- в точках замера вибрации в 1,1–1,5 раза возросли СКЗ виброскоростей;
- температура в контрольных точках повысилась на 7,2–34,3 % в зависимости от порядкового номера контрольной точки.

Библиографический список

1. Yoganandh J., Natarajan S., Kumaresh Babu S. P. Erosive wear behavior of high-alloy cast iron and duplex stainless steel under mining conditions // Journal of Materials and Performance. 2015. Vol. 24(9). P. 3588–3598.
2. Verichev S. N., Mishakin V. V., Nuzhdin N. A., Razov E. N. Experimental study of abrasive wear of structural materials under the high hydrostatic pressure // Ocean Engineering. 2015. Vol. 99. P. 9–13.
3. Weihui Xu, Chuanchang Gao, Jun Liu, Weishu Wang. Hydraulic transient numerical study of super-high parameter motor-pump in drainage system of mine emergency // Energy Procedia. 2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE). 2012. Vol. 14. P. 464–469.
4. Yuanqiang Tan, Hao Zhang, Dongmin Yang, Shengqiang Jiang, Junhua Song, Yong Sheng. Numerical simulation of concrete pumping process and investigation of wear mechanism of the piping wall // Tribology International. 37th Leeds-Lyon Symposium on Tribology. Special issue: Tribology for Sustainability: Economic, Environmental, and Quality of Life. 2012. Vol. 46(1). P. 137–144.
5. Ramkrishna Dandapat, Arghya Deb. A probability based model for the erosive wear of concrete by sediment bearing water // Wear. 2016. Vol. 350. P. 166–181.
6. Олизаренко В. В., Долганов А. В. Влияние горно-геологических и технологических факторов на эффективность работы шахтного водоотлива // Сб. докл. 66-й научно-технической конференции. — Магнитогорск: МГТУ, 2008. Т.1. С. 169–172.
7. Зарипов А. Х. Оценка энергетической эффективности работы водоотливных установок и систем подачи сжатого воздуха // Изв. вузов. Горный журнал. 2010. № 4. С. 74–77.
8. Долганов А. В. Анализ электропотребления водоотливных установок подземных рудников медноколчеданных месторождений Южного Урала // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 2. С. 39–41.
9. Алиев Н. А., Исаев А. Е., Пономаренко М. В., Алиев П. Н. Способы повышения долговечности корпусно-секционных шахтных насосов // Проблемы машиностроения: сб. науч. тр. — Донецк: ДонНТУ, 2006. С. 317–327.
10. Долганов А. В., Великанов В. С., Савельев В. И. Экспериментальные исследования абразивного износа центробежных насосов // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2010. С. 195–203.
11. Александров В. И., Горелкин И. М. Гидравлический расчет трубопровода системы шахтного водоотлива с учетом потерь напора на транспортирование твердых частиц // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 7. С. 44–47.
12. Телегуз Э. Н., Папаяни Ф. А., Трейнер Н. Б. Центробежные насосы ЦНСШ 300-140...800 для шахтного водоотлива // Уголь Украины. 2004. № 7(571). С. 20–23.
13. Косьмин В. Г., Пацера С. Т., Процив В. В. Анализ причин недостаточной износостойкости деталей насосов для гидроабразивных смесей // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. 2015. № 1(2). С. 83–89.
14. Малеев В. Б., Морзунов В. М., Марцис Т. В. Определение существенных факторов, влияющих на эффективность работы шахтного водоотлива // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. 2013. № 1(25). С. 104–118.
15. Морзунов В. М., Марцис Т. В. Обоснование параметров и разработка технических мероприятий для уменьшения затрат на шахтный водоотлив // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. 2013. № 2(26). С. 183–189.
16. Пономаренко М. В., Алиев Н. А., Кононенко А. П. Очистка подземных водосборников от шлама // Механика жидкости и газа: матер. IV междунар. науч.-технич. студ. конф. — Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 146–149.
17. Долганов А. В. Шламы медно-колчеданных рудников: проблемы и пути решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 10–14.
18. Овчинников Н. П., Суханов Д. К. Опыт эксплуатации насосов ЦНС(К) кимберлитовых рудников // I, II Международная конференция «Технические науки — от теории к практике»: сб. науч. публикаций докл. — СПб.: Научный журнал «Globus», 2015. С. 17–19.
19. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Метод испытаний. — М.: Стандартиформ, 2008. — 101 с.
20. ГОСТ ИСО 10816-1-1997. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 1. Общие требования. — М.: Издательство стандартов, 1998. — 29 с.
21. ГОСТ Р ИСО 18434-1-2013. Контроль состояния и диагностика машин. Термография. Ч. 1. Общие методы. — М.: Стандартиформ, 2013. — 39 с.
22. Бацезев Ю. Г., Костюк В. С. Электропривод и электроснабжение: учеб. для вузов. — М.: Недра, 1989. — 292 с.
23. Алиев Н. А. Вибродиагностика корпусно-секционных насосов с прогнозируемым распределением неуравновешенных масс ротора // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. 2004. № 83. С. 225–234.
24. Алиев Н. А. Вибромониторинг шахтных насосных агрегатов // Уголь Украины. 2005. № 5. С. 33–36.
25. Шульженко Н. Г., Ефремов Ю. Г., Гонтаровский П. П. Средства вибродиагностики, оценки термостойкости и ресурса энергетического и транспортного оборудования // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2012. № 3. С. 40–43.
26. Меньшиков С. С. Методы параметрической диагностики грунтовых насосов систем гидротранспорта // Обогащение руд. 2012. № 2. С. 37–39.
27. Насосы центробежные консольные типов К8/18, К20/30 и агрегаты электронасосные на их основе. Руководство по эксплуатации. N49.888.000 PЭ. URL: <http://motor-electro.ru/files/K8.pdf> (дата обращения: 26.01.2016).
28. Власов А. Б., Мухин Е. А. Методика расчета температуры обмоток электрической машины на основе количественной термографии // Вестник Мурманского государственного технического университета, 2012. № 4. Т. 14. С. 671–680. **PDF**

Experimental studies of operating properties of pumping unit with worn impeller

Information about authors

N. P. Ovchinnikov¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, ovchinnlar1986@mail.ru

M. A. Vikulov¹, Head of a Chair, Doctor Engineering Sciences

Yu. S. Bochkarev¹, Senior Lecturer

G. P. Dovidenko¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

¹ Mining Institute, Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Abstract

One of the methods of necessity to ensure efficiency and reliability of mine dewatering plants when working in abnormal operating conditions is the reduction in their standard overhaul time, which is actively used, for example, in mines of the Urals and Yakutia. In copper–pyrite mines of the Southern Ural, the overhaul time of multi-section pumps is 248–1000 hours, and in kimberlite mines of the Western Yakutia, the overhaul repair of multi-section pumps is carried out every 248–1000 hours at the general standard of 6500 hours.

Despite the reduction of the turnaround periods, impellers of multi-section pumps in the process of pumping of saline waters pregnant with mechanical impurities lose approximately 3 to 10 % of initial weight, depending on the sequential number of the wheel in the shaft pattern, which can lead to the shift of the electric pump mode off the optimum range of the pressure curve and induce rotor imbalance or other significant problems. Thus, experimental research of efficiency of a pumping unit with an impeller with reduced metal content by 3–10% of its initial condition due to wear is an urgent scientific task.

The full-scale experiment was conducted on a laboratory plant equipped with cradle-mounted pump K8/18 in 2 stages. The first stage was the measurement of operating parameters (pressure at the inlet, greenshanks and outlet of the pump; the pump flow; the rotational speed of the electric motor; the capacity of three phases), RMS value of vibration velocity and temperature at the test points during operation of the pump with a new impeller 1.008 kg in weight.

The second stage was the measurement of the above characteristics during operation of the pump with the worn impeller 0.952 kg in weight, i.e., with the reduced metal content by 5.5% as against the new impeller. The experiment was carried out in accordance with the state standards GOST 6134-2007, GOST ISO 10816-1-1997 and GOST R 18434-1-2013.

The results of the experiment have shown that in case of the reduced metal content of the impeller of pump K8/18 by 5.5% relative to the original condition:

- the pump flow has decreased by 3.9%, the full dynamic pressure pump — by 4.3%, the required power — by 1.3%;
- the RMS values of vibration velocities at the vibration measurement points have increased 1.1–1.5 times;
- the temperature at the control points has increased by 7.2–34.3%, depending on the sequential number of the control point.

Keywords: pump, wear, impeller, operating properties, laboratory plant, operating parameters, vibration, temperature.

References

1. Yoganandh J., Natarajan S., Kumaresh Babu S. P. Erosive wear behavior of high-alloy cast iron and duplex stainless steel under mining conditions. *Journal of Materials and Performance*. 2015. Vol. 24(9). pp. 3588–3598.
2. Verichev S. N., Mishakin V. V., Nuzhdin N. A., Razov E. N. Experimental study of abrasive wear of structural materials under the high hydrostatic pressure. *Ocean Engineering*. 2015. Vol. 99. pp. 9–13.
3. Weihui Xu, Chuanchang Gao, Jun Liu, Weishu Wang. Hydraulic transient numerical study of super-high parameter motor-pump in drainage system of mine emergency. *Energy Procedia. 2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE)*. 2012. Vol. 14. pp. 464–469.
4. Yuanqiang Tan, Hao Zhang, Dongmin Yang, Shengqiang Jiang, Junhua Song, Yong Sheng. Numerical simulation of concrete pumping process and investigation of wear mechanism of the piping wall. *Tribology International. 37th Leeds-Lyon Symposium on Tribology. Special issue: Tribology for Sustainability: Economic, Environmental, and Quality of Life*. 2012. Vol. 46(1). pp. 137–144.
5. Ramkrishna Dandapat, Arghya Deb. A probability based model for the erosive wear of concrete by sediment bearing water. *Wear*. 2016. Vol. 350. pp. 166–181.

6. Olizarenko V. V., Dolganov A. V. Influence of mining–geological and technological factors on efficiency of mine drainage. *Collection of reports of the 66-th scientific-technical conference*. Magnitogorsk : Magnitogorsk State Technical University, 2008. Part 1. pp. 169–172.
7. Zaripov A. Kh. Assessment of energetic effectiveness of work of pumping plants and compressed air-delivery systems. *Izvestiya vuzov. Gornyy Zhurnal*. 2010. No. 4. pp. 74–77.
8. Dolganov A. V. Analysis of Energy Consumption the Ores Drainages Installation Were Carried out in the Field Copper and Sulfur Compounds South Ural. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2011. No. 2. pp. 39–41.
9. Aliev N. A., Isaev A. E., Ponomarenko M. V., Aliev P. N. Methods of increasing of longevity of barrel-type mine pumps. *Mechanical Engineering problems : collection of scientific proceedings*. Donetsk : Donetsk National Technical University, 2006. pp. 317–327.
10. Dolganov A. V., Velikanov V. S., Savelev V. I. Experimental investigations of attrition of centrifugal pumps. *Extraction, final processing and use of natural stone : collection of scientific proceedings*. Magnitogorsk : Magnitogorsk State Technical University, 2010. pp. 195–203.
11. Aleksandrov V. I., Gorelkin I. M. Hydraulic Calculation of Mine Water Pipeline System with Taking Into Account Head Losses on Transportation of Solid Particles. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2013. No. 7. pp. 44–47.
12. Teleguz E. N., Papayani F. A., Treyner N. B. Centrifugal pumps TsNSSh 300-140...800 for mine drainage. *Ugol Ukrainy*. 2004. No. 7(571). pp. 20–23.
13. Kosmin V. G., Patsera S. T., Protsiv V. V. Analysis of reasons of insufficient wear resistance of pump details for hydroabrasive mixtures. *Modern innovation technologies of engineering stuff training for mining industry and transport*. 2015. No. 1(2). pp. 83–89.
14. Maleev V. B., Morgunov V. M., Martsis T. V. Determination of significant factors, making an influence on efficiency of mine drainage operation. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya girnicho-elektromekhanichna*. 2013. No. 1 (25). pp. 104–118.
15. Morgunov V. M., Martsis T. V. Substantiation of parameters and development of technical measures for the reduction of costs on mine drainage. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya girnicho-elektromekhanichna*. 2013. No. 2 (26). pp. 183–189.
16. Ponomarenko M. V., Aliev N. A., Kononenko A. P. Cleaning of underground water-collectors from slime. *Mechanics of liquid and gas : materials of the IV international scientific-technical student conference*. Donetsk : Donetsk State Technical University, 2005. pp. 146–149.
17. Dolganov A. V. Slurry of coppers and pyrites pits: problems and ways of decision. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2013. No. 4. pp. 10–14.
18. Ovchinnikov N. P., Sukhanov D. K. Experience of exploitation of pumps of the Central Pump Station (K) of kimberlite mines. *I, II international conference "Technical sciences — from theory to practice": collection of scientific reports*. Saint Petersburg : Scientific journal "Globus", 2015. pp. 17–19.
19. State Standard GOST 6134-2007. Dynamic pumps. Method of testings. Moscow : Standartinform, 2008. 101 p. (in Russian)
20. State Standard GOST ISO 10816-1-1997. Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 1. General guidelines. Moscow : Izdatelstvo standartov, 1998. 29 p. (in Russian)
21. State Standard GOST R ISO 18434-1-2013. Condition Monitoring And Diagnostics Of Machines — Thermograph — Part 1: General Procedures. Moscow : Standartinform, 2013. 39 p. (in Russian)
22. Batsezhev Yu. G., Kostyuk V. S. Electric drive and power supply : tutorial for universities. Moscow : Nedra, 1989. 292 p.
23. Aliev N. A. Vibration diagnostics of the barrel-type pumps with the forecasted distribution of unbalanced rotor mass. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya girnicho-elektromekhanichna*. 2004. No. 83. pp. 225–234. (in Ukrainian)
24. Aliev N. A. Vibration monitoring of mine pump units. *Ugol Ukrainy*. 2005. No. 5. pp. 33–36.
25. Shulzhenko N. G., Efremov Yu. G., Gontarovskiy P. P. Means of vibration diagnostics, assessment of thermal resistance and resource of energetic and transport equipment. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita*. 2012. No. 3. pp. 40–43.
26. Menshikov S. S. Hydrotransport slurry pumps parametrical diagnostics methods. *Obogashchenie Rud*. 2012. No. 2. pp. 37–39.
27. Centrifugal console pumps K8/18, K20/30 and electric-pump aggregates on their basis. Exploitation guidance. N49.888.000 RE. Available at: <http://motor-electro.ru/files/K8.pdf> (accessed: 26.01.2016). (in Russian)
28. Vlasov A. B., Mukhin E. A. Method of calculation of temperature of amature windings of electric machine on the basis of quantitative thermography. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2012. No. 4. Vol. 14. pp. 671–680.