

Н.П. Овчинников

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕГО КОЛЕСА НА ВИБРАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА

Установлено, что наработка насосов кимберлитовых рудников Якутии до капремонта напрямую зависит от количества механических примесей в откачиваемой шахтной воде. При откачке загрязненных шахтных вод в большей степени изнашиваются элементы рабочих колес насоса, в частности внутренние поверхности дисков и входные кромки лопатки. Не стоит забывать, что величина износа рабочего колеса кроме рабочих характеристик, также напрямую влияет на безотказность работы электронасосного агрегата, текущее техническое состояние элементов которого можно установить с помощью методов неразрушающего контроля, например: вибродиагностики. Получение взаимосвязи между безотказностью электронасосного агрегата, выраженной через вибрационное состояние и степень износа рабочего колеса, вследствие которого теряется 3–11% массы детали от ее первоначального состояния, что характерно корпусно-секционным насосным агрегатам кимберлитовых рудников Якутии, является актуальной научно-практической задачей, так как результаты этих исследований позволят оценить влияние твердой фазы шахтных вод на работоспособность насосного оборудования. Экспериментальные исследования, положенные в основу данной статьи, были выполнены в лабораторном оборудовании, на базе насоса К8–18, находящегося в ведении кафедры «Горные машины» ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова».

Ключевые слова: насос, износ, рабочее колесо, рабочие параметры, безотказность, вибрация.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-158-165

В мировой практике ухудшение работоспособности лопастных гидравлических машин в результате гидроабразивного износа их элементов является известным случаем, что отражено во многих научных работах [1–17].

В научных публикациях [12, 17–21] отмечается, что падение рабочих характеристик до критического значения, ука-

занного в инструкции по эксплуатации насосного оборудования заводом-изготовителем, наступает раньше прописанного регламента проведения планового ремонта, предусматривающего замену изношенных деталей на новые детали.

К примеру, наработка до капремонта корпусно-секционных насосных агрегатов АЭНЦСк 400-660 на базе насосов

ЦНСк 400-660, а также насосов ЦНСк 300-120, используемых при откачке из рудника «Мир» шахтных вод с концентрацией взвесей 13 000–14 000 мг/л, обычно составляет около 2200 ч, при общем нормативе — не менее 6500 ч [17–19]. Нароботка до капремонта корпусно-секционных насосных агрегатов на базе насосов Makley Pump JSH-200, используемых при откачке из рудника «Удачный» шахтных вод с концентрацией взвесей 50 000–60 000 мг/л, составляет чуть менее 1200 ч, при общем нормативе — не менее 10 000 ч.

Как видно наработка насоса до капремонта напрямую зависит от количества механических примесей в откачиваемой шахтной воде. При откачке загрязненных шахтных вод в большей степени изнашиваются элементы рабочих колес насоса, в частности внутренние поверхности дисков и входные кромки лопатки (рис. 1).

В связи с этим, наиболее интересным с практической точки зрения представляется установление экспериментальных зависимостей изменения рабочих характеристик электронасосного агрегата не от наработки, а от степени износа его рабочего колеса.

Практический материал, собранный за период с 2014 по 2016 гг. и собственные наблюдения, свидетельствуют, что в период использования до замены рабочие колеса вышеназванных моделей насосов обычно теряют от 3 до 11% от своей начальной массы.

Не стоит забывать, что величина износа рабочего колеса кроме рабочих характеристик, также напрямую влияет на безотказность работы электронасосного агрегата, текущее техническое состояние элементов которого можно установить с помощью методов неразрушающего контроля, например: вибродиагностики [22–25]. Таким образом, получение взаимосвязи между безотказностью электро-

насосного агрегата, выраженной через вибрационное состояние и степень износа рабочего колеса, вследствие которого теряется 3–11% массы детали от ее первоначального состояния, что характерно корпусно-секционным насосным агрегатам кимберлитовых рудников Западной Якутии, является актуальной научно-практической задачей, так как результаты этих исследований позволят оценить влияние твердой фазы шахтных вод на эффективность эксплуатации насосного оборудования рудников «Мир» и «Удачный».

Экспериментальные исследования, положенные в основу данной статьи, были выполнены на лабораторном оборудовании, на базе консольного насоса К8-18, находящегося в ведении кафедры «Горные машины» ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» в 2 этапа:

Этап № 1 — замер среднего квадратичного значения (далее СКЗ) виброскорости  $v_{r.m.s}$  в контрольных точках при работе насоса с новым рабочим колесом массой 1 кг (рис. 2).

Этап № 2 — замер СКЗ виброскорости при работе насоса с изношенным рабочим колесом массой 0,951 кг (рис. 3, б), массой 0,931 кг (рис. 3, в), массой 0,923 кг (рис. 3, г), массой 0,895 кг (рис. 3, д) и затем массой 0,88 кг (рис. 3, е).



Рис. 1. Дефекты рабочих колес насоса ЦНСк 400-660

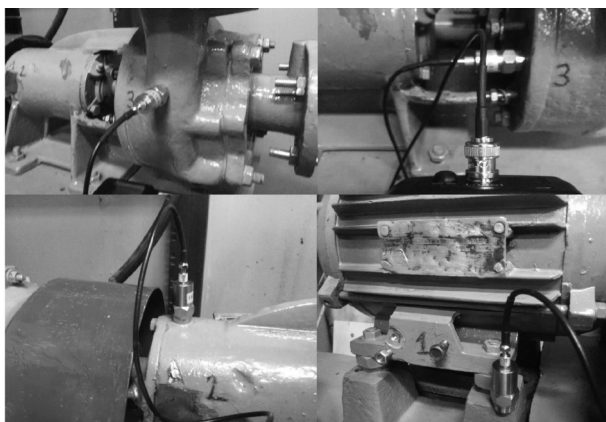


Рис. 2. Измерение СКЗ виброскорости в различных точках агрегата

Геометрические параметры рабочего колеса при различных этапах экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Натурные эксперименты были проведены в соответствии с ГОСТ 6134-2007 [26] и ГОСТ ИСО 10816-1-1997 [27].

Количество измерений СКЗ виброскорости в каждой контрольной точке электронасосного агрегата составило 3 [27].

Повторные показания СКЗ виброскорости снимались в различные интер-

валы времени, но не реже, чем через 10 с.

Количество контрольных точек при замере виброскорости составило 16 [28] (рис. 4).

При этом температура окружающего воздуха во время натурных экспериментов составляла 17 °С.

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

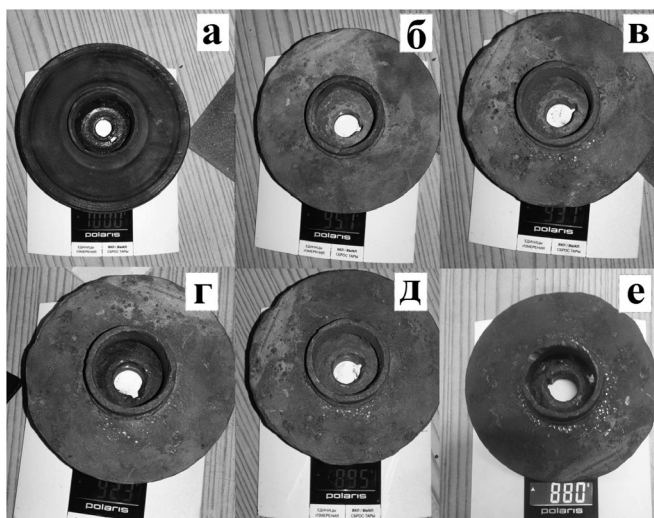


Рис. 3. Рабочее колесо насоса К8–18 различной металлоемкости: новое рабочее колесо (а); рабочее колесо с различной степенью износа его элементов (б–е)

Таблица 1

**Геометрические параметры рабочего колеса насоса К8-18**

Параметр	$m = 1$ кг	$m = 0,951$ кг	$m = 0,931$ кг	$m = 0,923$ кг	$m = 0,895$ кг	$m = 0,88$ кг
Средняя ширина проточных каналов, м	0,007	0,008	0,0088	0,0098	0,0105	0,0108
Средняя толщина переднего диска, м	0,0028	0,0027	0,0026	0,0021	0,00175	0,0016
Средняя толщина заднего диска, м	0,0042	0,0033	0,0026	0,0021	0,00175	0,0016
Ширина, м	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Диаметр, м	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

Насос К8-18 относится к классу 1 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 при работе электронасосного агрегата с рабочим колесом различной металлоемкости.

**Выводы**

1. 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, по-

ка не появится возможность проведения ремонтно-восстановительных работ) и характеризуется приемлемым уровнем виброскорости — от 1,1 до 4,5 мм/с [20].

2. 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 1,05–2,6 раза в точках замера вибрации.

3. Согласно проведенному вибромониторингу было установлено, что наибольшая вибрация у насоса К8-18 была зафиксирована в точках 6В (зона рас-

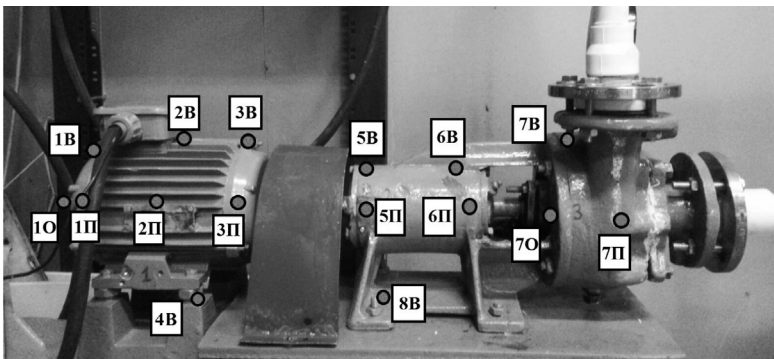


Рис. 4. Расположение контрольных точек при вибромониторинге: П — направление установки пьезоакселерометра для замера поперечных колебаний; В — направление установки пьезоакселерометра для замера вертикальных колебаний; О — направление установки пьезоакселерометра для замера осевых колебаний

Таблица 2

**СКЗ виброскоростей, (мм/с)**

Масса рабочего колеса, кг	1П	1В	1О	2П	2В	3П	3В	4В
1	1,8	2,2	1,5	1,8	2,1	1,7	2,1	1,4
0,951	2,2	2,4	1,8	1,9	2,3	2	2,3	1,5
0,931	2,3	2,8	2,2	2,1	2,6	2,1	2,8	1,6
0,923	2,6	3,2	2,5	2,5	2,7	2,6	3	1,9
0,895	3,2	3,5	2,6	2,5	2,9	2,9	3,4	2,3
0,88	4,3	4,9	3,7	4	4,2	4,4	5,1	3,6
Масса рабочего колеса, кг	5П	5В	6П	6В	7П	7В	7О	8В
1	3,9	4,3	4,2	4,5	4,2	3,9	4,5	2,2
0,951	4,2	4,9	5,4	4,9	4,5	4,4	5,2	2,4
0,931	4,5	5,2	5,7	5,1	4,8	4,6	5,5	2,7
0,923	4,9	5,4	5,8	5,4	5	4,9	5,7	2,9
0,895	5,2	5,7	6,1	5,8	5,3	5,2	6,1	3,3
0,88	6,1	6,8	8	7,9	7,4	7,2	7,9	4,5

положения подшипника со стороны улыты) и 7В (зона расположения рабочего колеса).

4. Анализ табл. 2 показал, что между степенью износа рабочего колеса и ви-

брационным состоянием насоса К8-18 существует прямая линейная зависимость, где коэффициент детерминации варьируется от 0,75 до 0,95 в зависимости от его контрольной точки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Yoganandh J., Natarajan S., Kumaresh Babu S. Pp.* 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. *Walker C. I.* Hydraulic transient numerical study of super-high parameter motor-pump in drainage system of mine emergency / 2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE): *Energy Procedia*. 2012. Vol. 14. Pp. 464–469.

4. *Yuanqiang Tan, Hao Zhang, Dongmin Yang, Shengqiang, Junhua Song, Yong Sheng.* Numerical simulation of concrete pumping process and investigation of wear mechanism of the piping wall / 37th Leeds-Lyon Symposium on Tribology Special issue: *Tribology for Sustainability: Economic, Environment, and Quality of Life: Tribology International*. 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. *Олизаренко В. В., Долганов А. В.* Влияние горно-геологических и технологических факторов на эффективность работы шахтного водоотлива / *Материалы 66-й научно-технической конференции: сборник докладов. Т. 1.* – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – С. 169–172.

7. *Зарипов А. Х.* Оценка энергетической эффективности работы водоотливных установок и систем подачи сжатого воздуха // *Известия 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: сборник научных трудов. — 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: сборник научных трудов. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «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., Моргунов 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. Моргунов 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 / Материалы IV международной научно-технической студенческой конференции «Механика жидкости и газа». — 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 / Материалы I, II международной конференции «Технические науки — от теории к практике»: сборник докладов. — СПб.: Научный журнал «Globus», 2015. — С. 17—19.

19. Овчинников Н. П., Викулов М. А., Бочкарев Ю. С., Довиденко Г. П. Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств насосной установки с изношенным рабочим колесом. — 2016. — № 9. — С. 85—89.

20. Кармазинов Ф. В., Мельник Е. А., Пробирский М. Д., Ильин Ю. А., Игнатчик В. С., Игнатчик С. Ю. Влияние износа вертикальных насосов на надежность, безопасность и энергопотребление канализационных насосных станций // Водоснабжение и бытовая техника. — 2011. — № 4. — С. 10—18.

21. Поветкин В. В., Лем В. П. Гидроабразивный износ грунтовых и песковых насосов // Вестник КазНТУ. — 2008. — № 6(69). — С. 51—54.

22. 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.

23. Алиев Н. А. Вибромониторинг шахтных насосных агрегатов // Уголь Украины. — 2005. — № 5. — С. 33—36.

24. Шульженко Н. Г., Ефремов Ю. Г., Гонтаровский П. П. Средства вибродиагностики, оценки термопроцессов и ресурса энергетического и транспортного оборудования // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. — 2012. — № 3. — С. 40—43.

25. Меньшиков С. С. Методы параметрической диагностики грунтовых насосов систем гидротранспорта // Обогащение руд. — 2012. — № 2. — С. 37—39.

26. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Метод испытаний. — М: Стандартинформ, 2008. — 101 с.

27. ГОСТ ИСО 10816-1-1997. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. — М: Изд-во стандартов, 1998. — 29 с.

28. Насосы центробежные консольные типов К8/18, К20/30 и агрегаты электронасосные на их основе. Руководство по эксплуатации. H49.888.000 РЭ. URL: [motor-electro.ru/files/K8.pdf](http://motor-electro.ru/files/K8.pdf); (дата обращения 26.01.2016). **ГЛАВ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Овчинников Николай Петрович — кандидат технических наук,  
зав. кафедрой, e-mail: Ovchinnlar1986@mail.ru,  
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
Горный институт, адрес: 678000, г. Якутск.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 12, pp. 158–165.

**N.P. Ovchinnikov**

### **EXPERIMENTAL RESEARCH OF EFFECT EXERTED BY VARIOUS DEGREE HYDROABRASIVE WEAR OF IMPELLER ELEMENTS ON VIBRATIONS IN ELECTRICALLY DRIVEN PUMP**

It is found that overhaul life of pumps operated in kimberlite mines in Yakutia directly depends on the content of mechanical impurities in pumped-out mine water. When contaminated mine water is pumped out, elements of pump impellers, specifically surfaces of disks and leading edges of blades experience the heaviest wear.

Wear of impeller, aside from its performance, also directly affects failure-free operation of electrically driven pump, and the current state of the pump elements is inspected using the nondestructive test methods, e.g. vibration diagnosis.

Correlation of the electrically driven pump operation safety, expressed in terms of vibrations, and the impeller wear rate (as a consequence of which round 3–11 % of initial mass of a part is lost, which is typical of barrel-type pumps used in kimberlite mines in Yakutia) is an issue of the current concern. The present research findings allow estimation of the effect exerted by mine water solids on the working efficiency of pumping equipment.

The experimental research has been carried out using testing machinery based on K8-18 pump held at the Chair of Mining Machines of the Ammosov North-Eastern Federal University.

Key words: pump, wear, impeller, operating parameters, failure-free operation, vibration.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-158-165

## AUTHORS

*Ovchinnikov N.P.*, Candidate of Technical Sciences,  
Head of Chair, e-mail: Ovchinnlar1986@mail.ru,  
North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov,  
Mining institute, 678000, Yakutsk, Russia.

## REFERENCES

1. Yoganandh J., Natarajan S., Kumaresh Babu S. Pp. 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. Walker C. I. Hydraulic transient numerical study of super-high parameter motor-pump in drainage system of mine emergency. *2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE): Energy Procedia*. 2012. Vol. 14. Pp. 464–469.
4. Yuanqiang Tan, Hao Zhang, Dongmin Yang, Shengqiang, Junhua Song, Yong Sheng. Numerical simulation of concrete pumping process and investigation of wear mechanism of the piping wall. *37th Leeds-Lyon Symposium on Tribology Special issue: Tribology for Sustainability: Economic, Environment, and Quality of Life: Tribology International*. 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. *Materialy 66-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: sbornik dokladov*. T. 1 (66th scientific and technical conference: collection of papers, vol. 1), Magnitogorsk, GOU VPO «MGU», 2008, pp. 169–172.
7. Zaripov A. Kh. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2010, no 4, pp. 74–77.
8. Dolganov A.V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2011, no 2, pp. 39–41.
9. Aliev N.A., Isaev A.E., Ponomarenko M.V., Aliev P.N. *Problemy mashinostroeniya: sbornik nauchnykh trudov* (Problems of mechanical engineering: collection of scientific papers), Donetsk, DonNTU, 2006, pp. 317–327.
10. Dolganov A.V., Velikanov V.S., Savel'ev V.I. *Dobycha, obrabotka i primenenie prirodnogo kamnya: sbornik nauchnykh trudov* (Mining, processing and application of natural stone: collection of scientific papers), Magnitogorsk, GOU VPO «MGU», 2010, pp. 195–203.
11. Aleksandrov V.I., Gorelkin I.M. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2013, no 7, pp. 44–47.
12. Teleguz E.N., Papayani F.A., Treyner N.B. *Ugol' Ukrainy*. 2004, no 7(571), pp. 20–23.
13. Kos'min V.G., Patsera S.T., Protsiv V.V. *Sovremennye innovatsionnye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoy promyshlennosti i transporta*. 2015, no 1(2), pp. 83–89.
14. Maleev V.B., Morgunov V.M., Martsis T.V. *Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. Seriya girmicho-elektromekhanichna*. 2013, no 1 (25), pp. 104–118.
15. Morgunov V.M., Martsis T.V. *Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. Seriya girmicho-elektromekhanichna*. 2013, no 2 (26), pp. 183–189.
16. Ponomarenko M.V., Aliev N.A., Kononenko A.P. *Materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy studencheskoy konferentsii «Mekhanika zhidkosti i gaza»* (Fluid and Gas Mechanics: IV International Scientific-Technical Students' Conference Proceedings), Donetsk, DonNTU, 2005, pp. 146–149.
17. Dolganov A.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 4, pp. 10–14.
18. Ovchinnikov N.P., Sukhanov D.K. *Materialy I, II mezhdunarodnoy konferentsii «Tekhnicheskie nauki ot teorii k praktike»: sbornik dokladov* (Engineering Sciences: From Theory to Practice: I and II International Conference Proceedings. Collection of papers), Saint-Petersburg, Globus, 2015, pp. 17–19.
19. Ovchinnikov N.P., Vikulov M.A., Bochkarev Yu.S., Dovidenko G.P. *Eksperimental'nye issledovaniya ekspluatatsionnykh svoystv nasosnoy ustanovki s iznoshennym rabochim kolesom*. 2016, no 9, pp. 85–89.
20. Karmazinov F.V., Mel'nik E.A., Probirskiy M.D., Il'in Yu.A., Ignatchik V.S., Ignatchik S. Yu. *Vodospobzhenie i bytovaya tekhnika*. 2011, no 4, pp. 10–18.
21. Povetkin V.V., Lem V.P. *Vestnik KazNTU*. 2008, no 6(69). S.51–54.
22. Aliev N.A. *Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. Seriya girmicho-elektromekhanichna*. 2004, no 83, pp. 225–234.
23. Aliev N.A. *Ugol' Ukrainy*. 2005, no 5, pp. 33–36.
24. Shul'zhenko N.G., Efremov Yu.G., Gontarovskiy P.P. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita*. 2012, no 3, pp. 40–43.
25. Men'shikov S.S. *Obogashchenie rud*. 2012, no 2, pp. 37–39.
26. *Nasosy dinamicheskie. Metod ispytaniy. GOST 6134-2007* (Pumps dynamic. Test method. State Standart 6134-2007), Moscow, Standartinform, 2008, 101 p.
27. *Vibratsiya. Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmereniy vibratsii na nevrashchayushchikhysya chastyakh. Chast' 1. Obshchie trebovaniya. GOST ISO 10816-1-1997* (Vibration. Control of condition of machines based on measured vibration of nonrotating parts. Part 1. General requirements. State Standart ICO 10816-1-1997), Moscow, Izd-vo standartov, 1998, 29 p.
28. *Nasosy tsentrobezhnye konsol'nye tipov K8/18, K20/30 i agregaty elektronasosnye na ikh osnove. Rukovodstvo po ekspluatatsii. N49.888.000 RE*, available at: [motor-electro.ru/files/K8.pdf](http://motor-electro.ru/files/K8.pdf); (accessed 26.01.2016).

