DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-119-126
УДК. 621.671.22

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕКЦИОННЫХ НАСОСОВ НА ПОДЗЕМНОМ КИМБЕРЛИТОВОМ РУДНИКЕ «МИР»

THE OPERATING EXPERIENCE OF SECTIONAL PUMPS IN UNDERGROUND KIMBERLITE MINE "MIR"

Овчинников Николай Петрович,
кандидат техн. наук, заведующий кафедрой, e-mail: ovchinnlar1986@mail.ru
Ovchinnikov Nickolay P.[1], C.Sc. (Engineering), Head of the Department

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677016, Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 50
M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, 677016, Russia, Yakutsk, Kulakovskaya St, 50

Аннотация. *Подземный кимберлитовый рудник «Мир», входящий в структуру МГОКа АК «Алроса» (ПАО), в настоящее время занимает второе место по добыче алмазов среди четырех действующих подземных кимберлитовых рудников компании. Годовая производительность указанного рудника по руде составляет порядка 900 тыс. тонн.*

В связи с постоянным подтоплением законсервированного кимберлитового карьера «Мир», одноименный подземный кимберлитовый рудник является наиболее обводненным из действующих подземных кимберлитовых рудников, расположенных на территории Западной Якутии.

Таким образом, констатируем, что повышение эффективности эксплуатации насосного оборудования является одной из приоритетных задач для руководства МГОКа АК «Алроса» (ПАО). В данной статье представлены подробные сведения об эксплуатации секционных насосов насосных станций подземного кимберлитового рудника «Мир». Анализ представительного статистического материала свидетельствует, что в настоящее время именно частые выходы из строя узла гидропяты и подшипников качения являются основными причинами низкой надежности насосов подземного кимберлитового рудника «Мир».

Выявлено, что в МГОКе из-за высокой стоимости запасных заводских узлов гидропят изношенные детали имеющихся узлов гидропят подлежат восстановлению и повторному использованию. Кроме восстановления изношенных деталей узла гидропяты в МГОКе активно практикуется их изготовление собственными силами. Все это объясняет низкую среднюю наработку узла гидропяты до отказа.

Установлено, что оснащение секционных насосов модели ЦНС(К) 400-660 специальной защитой, препятствующей попаданию механических примесей в подшипники, обеспечило им более высокую безотказность по сравнению с секционными насосами модели НЦС(К) 180-700.

Abstract. *The kimberlite underground mine "Mi", included into the structure of MGOK AK «Alrosa» (JSC), currently ranks second in diamond production among the four operating underground kimberlite mines of the company. The annual ore output of this mine is about 900 thousand tons.*

Due to constant flooding of the mothballed kimberlite quarry "Mir", the underground kimberlite mine of the same name "Mir" is the most inundated among current underground kimberlite mines located in the territory of Western Yakutia.

Thus, we can conclude that improving the efficiency of pumping equipment is a priority for the management of MGOK «Alrosa» (JSC). This article provides detailed information about operation of sectional pumps of the pumping stations in the underground kimberlite mine "Mir". The analysis of substantial statistical material shows that at present frequent failures of balancing device units and bearings are the main causes of low reliability of the pumps in the kimberlite underground mine "Mir".

Due to the high cost of spare original units of the balancing devices in MGOK, worn parts of the available balancing device units are restored and reused. In addition to the restoration of worn parts of the balancing device units, MGOK operations actively practiced their production on their own. All this explains the low average operating time of the balancing device unit to failure.

It is established that provision of sectional pumps model CNS(K) 400-660 with special protection for prevention of mechanical impurities getting into the bearings, gave them higher reliability compared to sectional pumps model NCS(K) 180-700.

Ключевые слова*: секционный насос, долговечность, рабочее колесо, уплотнительные кольца, узел гидропяты, подшипники,*

Рис. 1. Кимберлитовый карьер «Мир»
Fig. 1. The kimberlite quarry "Mir"

***Keywords**: sectional pump, longevity, impeller, o-rings, balancing device unit, bearings.*

Подземный кимберлитовый рудник «Мир», входящий в структуру МГОКа АК «Алроса» (ПАО), в настоящее время занимает второе место по добыче алмазов среди четырех действующих подземных кимберлитовых рудников компании.

Годовая производительность указанного рудника по руде составляет порядка 900 тыс. тонн.

В связи с постоянным подтоплением законсервированного кимберлитового карьера «Мир» (рис. 1), одноименный подземный кимберлитовый рудник является наиболее обводненным из действующих подземных кимберлитовых рудников, расположенных на территории Западной Якутии (табл. 1).

Таблица 1. Ориентировочный суточный водоприток в рудник, $м^3/ч$
Table 1. Estimated daily water inflow into the mine, m^3/h

Подземный кимберлитовый рудник «Мир»	18000
Подземный кимберлитовый рудник «Удачный»	8200
Подземный кимберлитовый рудник «Интер»	550
Подземный кимберлитовый рудник «Айхал»	200

Как видно из табл.1, ежедневно насосным оборудованием подземного кимберлитового рудника «Мир» на поверхность откачивается порядка 18000 $м^3$ шахтных вод. Насосное оборудование подземного кимберлитового рудника «Мир» представлено 28 единицами, из которых 23 единицы – центробежные насосы секционного типа.

Краткие сведения об используемых на руднике секционных насосах представлены в табл. 2. Некоторые модели этих насосов наглядно показаны на рисунке 2.

Обработанный представительный статистический материал показал, что секционные насосы, представленные в табл. 2, обладают в преобладающей доле случаев низкими показателями долговечностями, в частности низкой наработкой до капремонта (рис. 3 а) и на отказ (рис. 3 б).

Низкие показатели долговечности исследованных насосов главным образом вызваны агрессивностью откачиваемых шахтных вод к металлу.

Шахтные воды (табл. 3) представляют собой рассолы хлоридно-натриевого состава с большим содержанием твердых механических примесей [1-3].

Основными источниками механических примесей в откачиваемых шахтных водах являются мелкие взвешенные частицы горной массы, попадающие в водосборники при ведении проходческих, очистных, доставочных, транспортных и вспомогательных работ.

Средневзвешенное содержание твердых частиц в откачиваемых шахтных водах с диаметром более 0,2 мм составляет порядка 6 г/л, что не соответствуют требованиям, указанным в [4].

Специфичность шахтных вод подземного кимберлитового рудника «Мир», обусловленная их высокой степенью загрязненности и минерализации, активно способствует

активизации гидроабразивного и коррозионного изнашивания рабочих колец и уплотнительных колец [1, 2], что негативно сказывается на их долговечности.

Таблица 3. Физико-химические характеристики натурной жидкости
Table 3. Physico-chemical characteristics of natural liquid

Минерализация, г/л	До 400
Водородный показатель, pH	7 ÷ 9
Содержание твердых частиц по объему (мл на 1 литр жидкости)	До 13
Микротвердость частиц, ГПа	7 ÷ 11
Максимальный размер частиц, мм	5

К примеру, на рисунке 4 наглядно показаны новые уплотнительные кольца секционного насоса модели ЦНС(К) 400-660, выполненные из коррозионной стали 20Х13, и после наработки 1814 маш-ч. Как видно, указанная сталь малоэффективна в условиях подземного кимберлитового рудника «Мир».

Такого рода повреждения вышеназванных деталей ведут к ухудшению подачи и напора центробежного насоса [5-10].

В [11] экспериментально доказано, что работа секционного насоса с пониженными гидравлическими параметрами ведет к возрастанию осевой силы в 2-7 раза, что в конечном итоге приводит к преждевременному осевому смещению ротора в сторону всасывания до критических значений (2,8…3 мм).

Наиболее тяжелым последствием критического осевого смещения ротора секционного насоса является катастрофическое разрушение его базовых деталей вследствие их затирания друг об друга [11-13].

Ухудшению подачи и напора секционного насоса также способствует износ деталей узла гидропяты [14].

В условиях подземного кимберлитового рудника «Мир» именно узел гидропяты является с точки зрения безотказности наименее надежным узлом (табл. 4).

Средняя наработка узла гидропяты до отказа в зависимости от модели насоса колеблется в диапазоне 352,8…901,7 маш-ч.

Низкая наработка данного узла до отказа объясняется тем, что в МГОКе, как и в УГОКе из-за высокой стоимости запасных заводских узлов гидропят было принято решение восстанавливать изношенные детали имеющихся узлов гидропят и повторно их использовать, а, как известно [15] надежность восстановленного изделия обычно ниже, чем нового. Кроме восстановления изношенных деталей узла гидропяты в МГОКе активно практикуется их изготовление собственными силами.

Согласно отчету компании ООО «Линк-Продукт» от 21.07.2016 г. наработка оригинальных деталей узла гидропяты в среднем в 1,5-2 раза выше наработки восстановленных или неоригинальных деталей.

Вторым по числу отказов у исследованных секционных насосов, также как и у секционных насосов главного водоотлива подземного кимберлитового рудника «Удачный» является выход из строя подшипников.

В отличие от секционных насосов подземного кимберлитового рудника «Удачный» у исследованных насосов не наблюдается такой

Таблица 2. Сведения о секционных насосах рудника «Мир»
Table 2. Information about sectional pumps of the underground mine “Mir”

Насосная станция, Тип водоотлива	Модель насоса	Количество насосов	Общая наработка насосов на 1.09.2016 г., в маш-час
КГВ-1, Главный водоотлив	НЦС(К) 180-700	6	23512
КГВ-2, Главный водоотлив	ЦНС(К) 400-660	5	13455
ВНС-210, Вспомогательный водоотлив	ЦНС 300-180 ЦНС(К) 300-120	2 3	20572
УНС-310, Участковый водоотлив	ЦНС 180-255 ЦНС 180-200	2 3	12497
УНС-410, Участковый водоотлив	ЦНС 60-198	2	Насосы практически не используются

тесной взаимосвязи между отказами их [5].
подшипников и деталей узла гидропяты (рис. 5)

А)

Б)

В)

Рис. 2. Насосы НЦС(К) 180-700 (А), ЦНС(К) 400-660 (Б) и ЦНС(К) 180-255 (В)
Fig. 2. Pumps NCS(K) 180-700 (A), CNS(K) 400-660 (Б) and CNS(K) 180-255 (В)

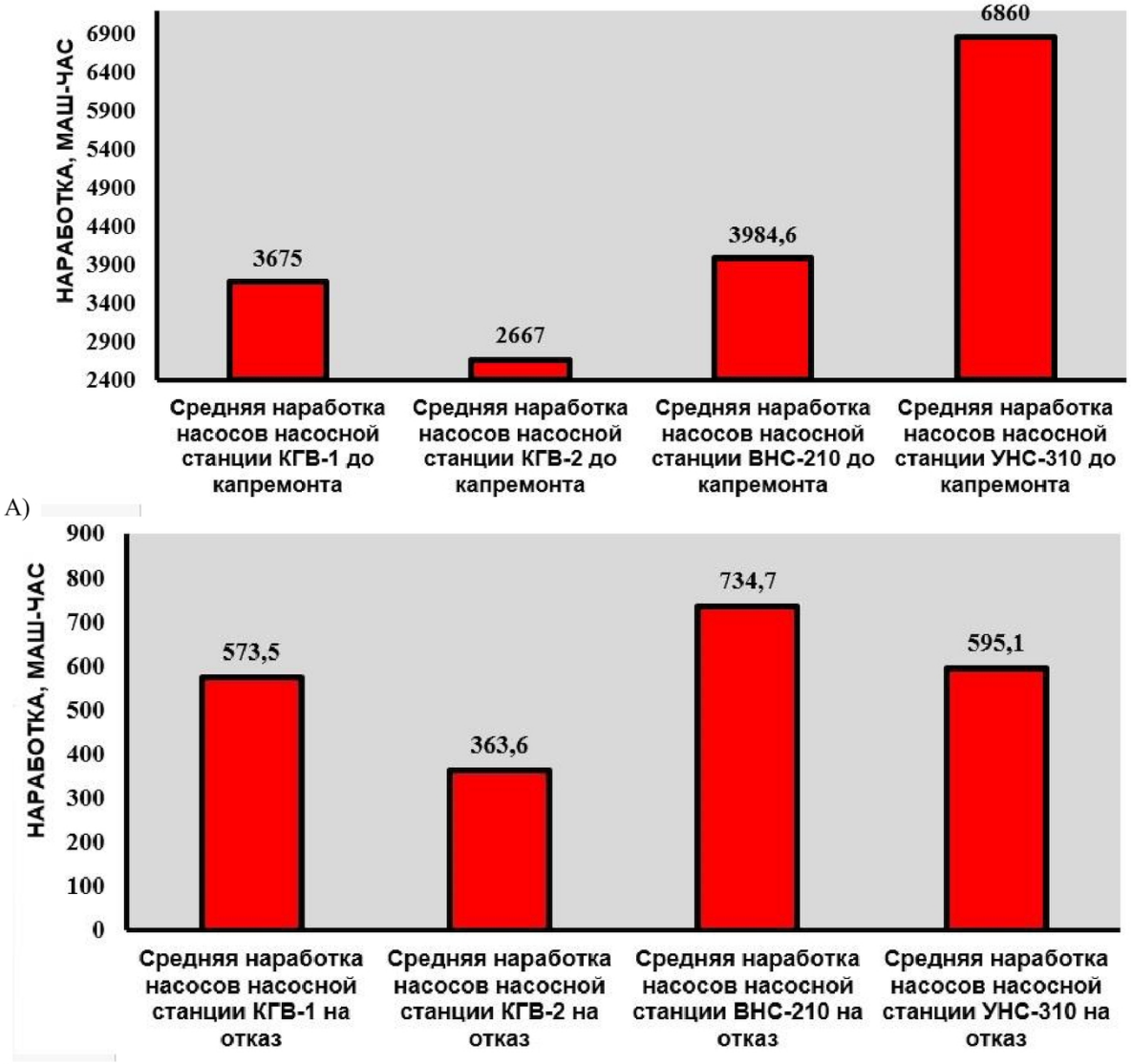

Рис. 3. Фактическая средняя наработка насосов подземного кимберлитового рудника «Мир» до капремонта (А) и на отказ (Б)

Fig. 3. The actual average operating time of the pumps of the underground mine "Mir" to overhaul (A) and to failure (Б)

Таблица 4. Распределение отказов по узлам и деталям насосов (на 1.09.2016 г.)
Table 4. Distribution of failures by units and parts of the pumps (as of 1.09.2016)

Узел или деталь	Насосы КГВ-1	Насосы КГВ-2	Насосы ВНС-210	Насосы УНС-310
Узел гидропяты	25	33	26	12
Подшипники насоса	24	4	2	8
Сальниковые уплотнения	0	0	0	0
Гайка ротора	2	0	0	1
Рубашка вала	1	0	0	0
Труба разгрузки	1	0	0	0

А)

Б)

Рис. 4. Новые уплотнительные кольца (А) и после 1814 маш-ч наработки (Б)
Fig. 4. New o-rings (A) and after 1814 mach-h of operating time (Б)

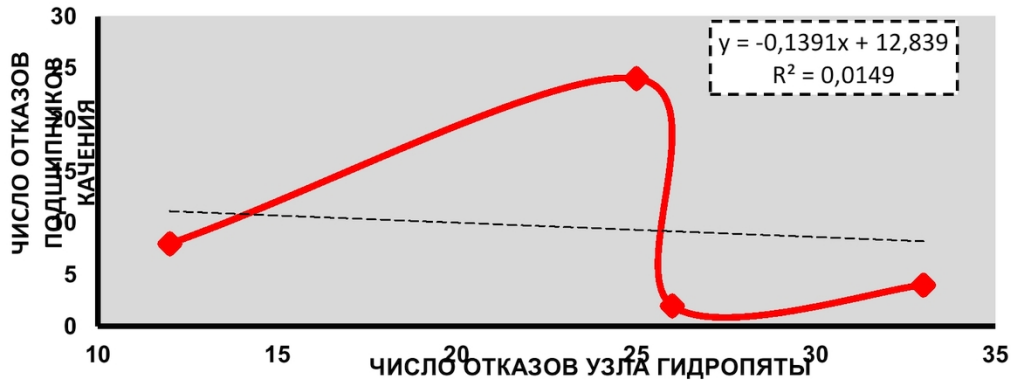

Рис. 5. Зависимость числа отказов подшипников качения от числа отказов узла гидропяты по насосам рассматриваемых насосных станций
Fig. 5. Dependence of the number of failures of rolling bearing on the number of failures of balancing device unit in the pumps of pumping stations under review

Данный факт объясняется тем, что секционные насосы модели ЦНС(К) 400-660 в отличие от других эксплуатируемых на руднике секционных насосов оснащены специальной защитой, препятствующей попаданию шахтной воды в подшипники.

Средний ресурс подшипников вышеуказанной модели насосов составляет около 1600 маш-ч.

Попадание механических примесей в подшипники в основном отмечается у секционных насосов модели НЦС(К) 180-700, что явилось основной причиной их частых замен (см. табл. 4). Средний ресурс подшипников секционных насосов указанной модели примерно в 2 раза ниже, чем у секционных насосов модели ЦНС(К) 400-660.

Резюмируя вышесказанное, констатируем, что:

1) наиболее отказывающими конструкционными элементами исследованных насосов являются детали узла гидропяты и подшипники;

2) в МГОКе из-за высокой стоимости запасных заводских узлов гидропят изношенные детали имеющихся узлов гидропят подлежат восстановлению и повторному использованию. Кроме восстановления изношенных деталей узла гидропяты в МГОКе активно практикуется их изготовление собственными силами. Все это объясняет низкую среднюю наработку узла гидропяты до отказа;

3) оснащение секционных насосов модели ЦНС(К) 400-660 специальной защитой, препятствующей попаданию механических примесей в подшипники, обеспечило им более высокую безотказность по сравнению с секционными насосами модели НЦС(К) 180-700.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств насосной установки с изношенным рабочим колесом / Н. П. Овчинников, М. А. Викулов, Ю. С. Бочкарев, Г. П. Довиденко // Горный журнал, 2016. – № 9. – С. 85–88.

2. Овчинников, Н. П. Опыт эксплуатации насосов ЦНС(К) кимберлитовых рудников / Н. П. Овчинников, Д. К. Суханов // Материалы I, II международной конференции «Технические науки – от теории к практике»: сб. докл. – СПб: Научный журнал «Globus», 2015. – С. 17–19.

3. Обоснование проектных решений по складированию солесодержащих пород рудника «Мир» в выработанное пространство законсервированного карьера «Мир» / В. В. Лобанов, М. К. Сороченко, А. Г. Заболоцкий // ГИАБ, 2011. – № 3. – С. 39–47.

4. Официальный сайт ООО «Линк-Продукт». URL: http://www.linkprodukt.ru/produkciya; (дата обращения 10.06.2017).

5. Rick Kesler. Considerations is selecting a positive displacement slurry pump // Mining World, 2016. – V. 13(4). – P. 34–37.

6. Kranzler Thomas. Improwing pump materials for harh environments / Thomas Kranzler, Raimo Arola // Sulzer Technical Review, 2013. – V. 2. – P. 10–12.

7. Меньшиков, С. С. Коэффициент технического состояния грунтового насоса в системах гидротранспорта хвостовых пульп / С. С. Меньшиков, М. А. Васильева // Записки Горного института, 2014. – Т. 209. – С. 193–196.

8. Островский, В. Г. Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений нефтяного насоса / В. Г. Островский, С. Н. Пещеренко // Вестник Пермского национально-исследовательского политехнического института. Геология. Нефтегазовое дело, 2012. – № 5. – С.70–75.

9. Khalid, Y. A. Wear analysis of centrifugal slurry pump impellers / Y. A. Khalid, S. M. Sapuan // Industrial Lubrication and Tribology, 2007. – Т. 59. – № 1. – P. 18–28.

10. Багманов, А. А. Приближенная аналитическая связь напора секционного насоса ЦНС с К.П.Д. по мере износа щелевого уплотнения рабочего колеса // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов, 2005. – № 64. – С. 222–228.

11. Анализ эффективности разгрузочных устройств шахтных центробежных секционных насосов / А. В. Долганов, А. О. Еслентьев, Е. О. Чераков, Э. Ю. Торопов // Известия Уральского государственного горного университета, 2014. – № 2(34). – С. 31–35.

12. О разработке шахтных центробежных секционных двухпоточных насосов / С. А. Тимухин, А. В. Долганов, Ю. В. Попов, Е. О. Чераков, А. О. Еслентьев, Э. Ю. Торопов // Известия Уральского государственного горного университета, 2014. – № 2(34). – С. 41–44.

13. 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.

14. Обоснование и разработка методики расчета гидропяты из условия минимума потерь энергии / P. L. Kalinichenko, O. L. Gusak, S. L. Khovanskyy, Yu. L. Krutas // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2017. – Т. 2. – № 7(86). – С. 36–41.

15. 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. Eksperimental'nye issledovanija jekspluatacionnyh svojstv nasosnoj ustanovki s iznoshennym rabochim kolesom / N. P. Ovchinnikov, M. A. Vikulov, Yu. S. Bochkarev, G. P. Dovidenko // Gornyj zhurnal, 2016. – № 9. – pp. 85–88.

2. Ovchinnikov, N. P. Opyt jekspluatacii nasosov CNS(K) kimberlitovyh rudnikov / N. P. Ovchinnikov, D. K. Suhanov // Materialy I, II mezhdunarodnoj konferencii «Tehnicheskie nauki – ot teorii k praktike»: sb. dokl. – SPb: Nauchnyj zhurnal «Globus», 2015. – pp. 17–19.

3. Obosnovanie proektnyh reshenij po skladirovaniju solesoderzhashhih porod rudnika «Mir» v vyrabotannoe prostranstvo zakonservirovannogo kar'era «Mir» / V. V. Lobanov, M. K. Sorochenko, A. G. Zabolockij // GIAB, 2011. – № 3. – pp. 39–47.

4. Oficial'nyj sajt OOO «Link-Produkt». URL: http://www.linkprodukt.ru/produkciya; (date access 10.06.2017).

5. Rick Kesler. Considerations is selecting a positive displacement slurry pump // Mining World, 2016. – V. 13(4). – pp. 34–37.

6. Kranzler Thomas. Improving pump materials for harsh environments / Thomas Kranzler, Raimo Arola // Sulzer Technical Review, 2013. – V. 2. – pp. 10–12.

7. Men'shikov, S. S. Kojefficient tehnicheskogo sostojanija gruntovogo nasosa v sistemah gidrotransporta hvostovyh pul'p / S. S. Men'shikov, M. A. Vasil'eva // Zapiski Gornogo instituta, 2014. – T. 209. – pp. 193–196.

8. Ostrovskij, V. G. Raschet skorosti gidroabrazivnogo iznosa mezhstupenchatyh uplotnenij neftjanogo nasosa / V. G. Ostrovskij, S. N. Peshherenko // Vestnik Permskogo nacional'no-issledovatel'skogo politehnicheskogo instituta. Geologija. Neftegazovoe delo, 2012. – № 5. – pp.70–75.

9. Khalid, Y. A. Wear analysis of centrifugal slurry pump impellers / Y. A. Khalid, S. M. Sapuan // Industrial Lubrication and Tribology, 2007. – T. 59. – № 1. – pp. 18–28.

10. Bagmanov, A. A. Priblizhennaja analiticheskaja svjaz' napora sekcionnogo nasosa CNS s K.P.D. po mere iznosa shhelevogo uplotnenija rabochego kolesa // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov, 2005. – № 64. – pp. 222–228.

11. Analiz jeffektivnosti razgruzochnyh ustrojstv shahtnyh centrobezhnyh sekcionnyh nasosov / A. V. Dolganov, A. O. Eslent'ev, E. O. CHerakov, JE. JU. Toropov // Izvestija Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2014. – № 2(34). – pp. 31–35.

12. O razrabotke shahtnyh centrobezhnyh sekcionnyh dvuhpotochnyh nasosov / S. A. Timuhin, A. V. Dolganov, Yu. V. Popov, E. O. CHerakov, A. O. Eslent'ev, Ye. Yu. Toropov // Izvestija Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2014. – № 2(34). – pp. 41–44.

13. Stjufljaev, S.S. Sravnitel'nyj analiz mnogostupenchatogo nasosa tipa CNS s oppozitnym raspolozheniem koles i s gidropjatoj / S. S. Stjufljaev, O. G. Shipulin // Molodoj uchenyj, 2017. – № 3. – pp. 165–171.

14. Obosnovanie i razrabotka metodiki rascheta gidropjaty iz uslovija minimuma poter' jenergii / P. L. Kalinichenko, O. L. Gusak, S. L. Khovanskyy, Yu. L. Krutas // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 2017. – T. 2. – № 7(86). – pp. 36–41.

15. Pirozerskaja, O. L. Analiz vozmozhnostej primenenija sovremennyh sposobov izgotovlenija i vosstanovlenija avtomobil'nyh detalej raznyh klassov s cel'ju povyshenija ih nadezhnosti / O. L. Pirozerskaja, A. N. Malyshev // Tehniko-tehnologicheskie osnovy servisa, 2012. – V. – № 4. – T. 22. – pp. 14–19.

Поступило в редакцию 20.06.2017
Received 20.06.2017