DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-4-53-59
УДК 621.65.03

И.Р. Байков, А.Ю. Трофимов, Р.Р. Зиятдинов (Уфимский государственный
нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Igor R. Baikov, Andrey Yu. Trofimov, Ramil R. Ziyatdinov
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY PUMPING UNITS

Введение

С целью обеспечения энергоэффективности центробежного насоса поддержание и повышение коэффициента полезного действия (КПД) – главная задача эксплуатирующих организаций. Величина оплаты электроэнергии на привод для отдельных отраслей промышленности достигает почти 85 % от суммарных затрат на электроэнергию. При эксплуатации необходимо проводить анализ фактических напорных и энергетических характеристик насосов и улучшать эти показатели разработанными мероприятиями.

Цели и задачи

Определить причины отклонений энергетических характеристик центробежного насоса от паспортных значений путем расчетов параметров работы на примере магистрального насоса НМ 1250-260.

Исследовать дефекты, влияющие на качество насосного оборудования. Провести анализ эффективности использования специальных полимерных материалов на поверхности проточной части рабочих колес.

Результаты

Предложен способ снижения гидравлических потерь по длине каналов рабочего колеса насоса.

Показана эффективность обработки проточных частей рабочего колеса полимерным покрытием, рассчитана годовая экономия электроэнергии в результате повышения КПД насоса.

Background

For the energy efficiency of a centrifugal pump, maintaining and improving the efficiency is the main task of operating organizations. The amount of electricity paid for the drive for individual industries reaches almost 85 % of the total cost of electricity. During operation it is necessary to analyze the actual pressure and energy characteristics of pumps and improve these indicators by the developed measures.

Aims and Objectives

Determine the deviations causes in the centrifugal pump energy characteristics from the passport values by calculating the operation parameters using the example of the main pump NM 1250-260.

Investigate defects affecting the pumping equipment quality. Conduct effectiveness analysis of special polymeric materials on the impellers flowing part surface.

Results

A method for reducing hydraulic losses along the pump impeller channels length is proposed.

The efficiency of the impeller flowing parts treatment with a polymer coating is shown, and the annual energy savings as a result of increasing the pump efficiency is calculated.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, насосы, полимерные покрытия, характеристики центробежного насоса, энергоэффективность

Key words: efficiency, pumps, polymer coatings, centrifugal pumps characteristics, energy efficiency

Насосы относятся к наиболее энергоемкому оборудованию в системе магистрального транспорта нефти и нефтепродуктов. Эффективность работы насоса определяется коэффициентом полезного действия (КПД). На магистральных трубопроводах при перекачке нефти используются центробежные насосы (ЦБН) со средним значением КПД при номинальной подаче 85 %, а также подпорные насосы со средним значением КПД около 80 % [1]. На нефтеперекачивающих станциях (НПС) допускают перекачку нефти при снижении КПД на 2-3 %, поэтому очень важно повышать эффективность насоса.

КПД насоса складывается из трех составляющих:

- *гидравлические*. Вызваны потерями на трение и вихреобразованием при течении жидкости в каналах проточной части [2]. Их величина оценивается гидравлическим КПД, который колеблется в диапазоне $\eta_r = 80-90$ % и напрямую зависит от вязкости жидкости;
- *объемные*. Обусловлены утечками жидкости через зазоры между вращающимися и неподвижными деталями, например утечки через торцевые уплотнения. Их величина оценивается объемным КПД, который составляет $\eta_o = 95,5-97$ %;
- *механические*. Делятся на два типа: внешние и внутренние. Внешние механические потери происходят в подшипниках и зависят от диаметра и длины вала, типа концевых уплотнений и от частоты вращения вала [3]. К внутренним относятся дисковые потери, которые подразумевают потери энергии на трение жидкости о наружную поверхность рабочего колеса. Отличие механических потерь от гидравлических в

том, что механические связаны с увеличением потребляемой мощности насоса, а гидравлические связаны с понижением напора. В среднем механический КПД составляет $\eta_{мех} = 95-99$ %.

Перемножив все составляющие, можно определить КПД насоса:

$$\eta_n = \eta_r \cdot \eta_o \cdot \eta_{мех} = 0,72-0,86 \text{ \%}.$$

Последствия износа рабочих колес представлены на рисунке 1.

Рисунок 1. Последствия износа рабочих Колес

Метод совершенствования работы насосов путем нанесения на проточную часть рабочего колеса полимерных покрытий является одним из наиболее эффективных. Полимерные покрытия обладают высокой износостойкостью и коррозионностойкостью, достаточно эластичные и прочностные. В качестве полимерных покрытий используются тефлон, фторопласт-4 и другие.

Данный метод позволяет снизить шероховатость проточной части рабочих колес и

корпуса насоса. Кроме того, одним из достоинств данного метода является возрастание сопротивления явлению кавитации [4]. Покрытие должно хорошо взаимодействовать с металлами, из которых сделан насос и рабочее колесо, но оно не должно подвергаться износу при взаимодействии с перекачиваемой жидкостью.

На гидравлический КПД полимеризация влияет следующим образом:

- полимеры образуют гладкую поверхность, что приводит к уменьшению шероховатости и, соответственно, к снижению энергозатрат на перекачку [5];
- полимеры отталкивают жидкость (рисунок 2) [6];
- полимеры сопротивляются износу, защищая металл от коррозии;
- полимеры снижают внутреннюю турбулентность потока в проточной части насоса.

- а) поверхность до обработки;
 б) поверхность после обработки металла;
 в) поверхность после полной обработки с использованием полимеров

Рисунок 2. Смачивание поверхности деталей проточной части насоса

Нанесение покрытий производится пневматическим напылением с последующей термообработкой колеса. Для начала следует подготовить деталь к покрытию и очистить поверхность, предварительно нагреть деталь, а затем приступить к напылению. Установка для напыления порошковых материалов представлена на рисунке 3.

- 1 - порошковый материал;
 2, 7 - эжекторы;
 3, 5 - штуцеры для подачи воздуха;
 4 - пористая перегородка;
 6 - пневмокамера;
 8 - шланг;
 9 - распылитель;
 10 - камера для напыления;
 11 - окрашиваемое изделие;
 12 - подвеска для изделий;
 13 - вращающаяся оправка;
 14 - рукавный фильтр;
 15 - вентилятор;
 16 - сборник порошка;
 17 - редуктор;
 18 - электродвигатель;
 19 - поворотный стол;
 20 - ванна с псевдоожиженным слоем порошка

Рисунок 3. Схема установки для напыления порошковых материалов на детали насосов

По результатам экспериментальных исследований покрытие полимерами рабочего колеса насоса повышает КПД на 2-6 %, сокращая гидравлические потери.

Магистральные и подпорные насосные агрегаты необходимо выводить на ремонт при уменьшении напора относительно пас-

портных характеристик на 5-6 % и более [7]. Величина возможного снижения КПД относительно базового значения может уточняться для конкретного типоразмера насоса.

Для насоса НМ 1250-260 допустимое снижение КПД - 3,5 %. Данные об изменении параметров насоса при снижении КПД на 3,5 % приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменения параметров насоса при снижении КПД на 3,5 %

Подача Q, м ³ /ч	Паспортные характеристики			До проведения ремонта		
	Напор Н, м	КПД, %	Мощность на валу N, кВт	Напор Н, м	КПД, %	Мощность на валу N, кВт
1000	279,89	82,26	927,2	264,50	78,76	915,1
1100	272,10	82,26	991,5	257,13	78,76	978,6
1200	263,56	81,87	1052,7	249,07	78,37	1039,2
1250	259,02	81,61	1081,1	244,77	78,11	1067,4
1300	254,29	81,36	1107,2	240,30	77,86	1093,4
1400	244,27	81,00	1150,5	230,83	77,50	1136,3
1500	233,50	81,07	1177,2	220,66	77,57	1162,7

Изменение относительного удельного расхода электроэнергии на перекачку воды при расчетной подаче $Q = 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{отн}} = \frac{N}{\eta_{\text{дв}} \cdot Q} \cdot (1 - \eta), \quad (1)$$

где N - мощность на валу насоса при расчетной подаче Q , кВт;

η - коэффициент полезного действия КПД насоса при расчетной подаче Q ;

$\eta_{\text{дв}}$ - коэффициент полезного действия электродвигателя. Магистральный насос НМ 1250-260 укомплектован синхронным электродвигателем СТДП1250-2УХЛ4 мощностью $N_{\text{эн}} = 1250 \text{ кВт}$ [8], $\eta_{\text{дв}} = 0,96$. Расчет показал, что при паспортных характеристиках и подаче $1250 \text{ м}^3/\text{ч}$ удельный расход электроэнергии составляет $0,1653 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{ч})$, а при фактических характеристиках насоса до ремонта и той же подаче - $0,1944 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{ч})$.

Таким образом, изменения удельного расхода электроэнергии на перекачку при снижении КПД составит:

$$\Delta N_{\text{отн}} = N_{\text{отн}}^{\text{факт}} - N_{\text{отн}}^{\text{паспорт}} = 0,1944 - 0,1653 = 0,0291 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{ч}). \quad (2)$$

Снижение КПД приведет к перерасходу электроэнергии:

$$\begin{aligned} \Xi &= \Delta N_{\text{отн}} \cdot Q \cdot \tau \cdot 24 = 0,0291 \cdot 1250 \cdot 350 \cdot 24 = \\ &= 305550 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \end{aligned} \quad (3)$$

где τ - продолжительность работы насоса в течение года, сут.

При среднем тарифе $3,2 \text{ руб.}/\text{кВт} \cdot \text{ч}$ затраты составят около 1 млн руб. При этом затраты определены только для одного магистрального насоса, на НПС в работе могут находиться до трех магистральных насосов. Использование полимеров позволит избежать этих затрат.

Многие предприятия по добыче и транспорту нефти используют данный метод для повышения общей эффективности процесса перекачки (ПАО «Лукойл»). Предприятия, специализирующиеся на ремонте насосов, также применяют покрытие рабочих колес и корпусов полимерными материалами. Например, результаты работы лидирующей в этой области фирмы BELZONA по ремонту деталей и покрытию их полимерами представлены на рисунке 4.

а)

б)

а) до модернизации;
б) после модернизации

Рисунок 4. Результаты обработки корпуса насосов

Изменение параметров в работе насоса НМ 1250-260 после полной полимеризации с использованием материала Supermetalgilde от фирмы BELZONA приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики насосного агрегата в рабочей зоне после нанесения полимеров

Подача Q, м ³ /ч	Напор H, м	КПД, %	Мощность на валу N, кВт
1000	277,72	81,76	925,6
1100	269,99	81,76	989,8
1200	261,52	81,37	1051,0
1250	257,01	81,11	1079,3
1300	252,32	80,86	1105,4
1400	242,37	80,50	1148,6
1500	231,70	80,57	1175,4

При этом снижение удельного расхода электроэнергии на перекачку после нанесения полимерного покрытия при номинальной подаче в 1250 м³/ч составит:

$$\Delta N_{\text{отн}} = 0,1944 - 0,1695 = 0,0249 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{ч}).$$

Таким образом, данное мероприятие обеспечит годовую экономию электроэнергии в размере 261450 кВт·ч, что при тарифе 3,2 руб./кВт·ч обеспечит экономию в размере 840 тыс. руб. Графическое представление характеристик насоса в рабочей зоне до и после полимеризации материалом Supermetalgilde представлено на рисунке 5.

1 - по паспорту;
2 - без полимерного
покрытия;
3 - с использованием
полимерного покрытия

Рисунок 5. Напорная характеристика насоса НМ 1250-260 до и после использования полимерного покрытия Supermetalgilde

Из рисунка 5 видно, что напор после применения полимерных покрытий в рабочей зоне вырос на 5 %, а КПД на 3 %. Снижение затрат на эксплуатацию отремонтированного насоса составит 840 тыс. руб., что превышает стоимость нового насоса.

Кроме того, полимерные покрытия долговечны и технологичны, следовательно, их можно применять как при ремонте рабочих колес, так и при создании нового оборудования для перекачки.

Выводы

С использованием полимерных покрытий улучшаются эксплуатационные параметры. Снижение потребляемой мощности приводит к существенному экономическому эффекту.

Также снижается коррозионное и эрозийное воздействие на детали проточной части насоса. Возрастает сопротивление кавитации вследствие уменьшения шероховатости поверхностей.

Нанесение покрытия не требует использования дорогостоящего оборудования. Специальные полимеры позволяют легко применять их при ремонте и восстановлении рабочих частей насоса. При этом нет необходимости транспортировать насосный агрегат для обработки рабочих органов насоса.

Годовой экономический эффект от применения метода нанесения полимерных покрытий может превышать стоимость нового насоса.

Список литературы

1. Типовые расчеты по проектированию и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов / П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак и др. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. 658 с.
2. Байков И.Р., Сулейманов А.М., Трофимов А.Ю., Елисеев М.В., Рязанов Н.Р., Петров М.Г. Повышение КПД центробежных насосов путем обработки чугунного рабочего колеса // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14, № 4. С. 108-112.
3. Бажайкин С.Г., Велижанин В.С., Михеев А.С. Опыт применения композиционных материалов при совершенствовании центробежных насосов типа ЦНС // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 4 (110). С.186-192.
4. Абачараев М.М. Кавитация и защита металлов от кавитационных разрушений. Махачкала: Даг. кн. изд-во, 1990. 169 с.
5. Гольянов А.И., Гольянов А.А., Кутуков С.Е. Обзор методов оценки энергоэффективности магистральных нефтепроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 4 (110). С.156-170.
6. Попадюк В.В. Повышение КПД центробежных насосов путем использования при проведении ремонтных работ специальных полимерных покрытий. Украина, г. Калуш ООО «КАРПАТНЕФТЕХИММ». http://www.ipktek.ru/templates/new_style_1/images/konkurs_2015/pr1422.pdf.
7. РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций. Введ. 04.04.2005, ГУП «Институт проблем транспорта энергоресурсов». 2005. 142 с.
8. Коршак А.А., Нечваль А.М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. СПб.: Недра, 2008. 488 с.

References

1. Tugunov P.I., Novoselov V.F., Korshak A.A. e.a. *Tipovye raschety po proektirovaniyu i ekspluatatsii neftebaz i nefteprovodov* [Typical Calculations for the Design and Operation of Oil Depots and Oil Pipelines]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 2002. 658 p. [in Russian].
2. Baikov I.R., Suleimanov A.M., Trofimov A.Yu., Eliseev M.V., Ryazapov N.R., Petrov M.G. *Povyshenie KPD tsentrobezhnykh nasosov putem obrabotki chugunnogo rabocheho kola* [Increasing Centrifugal Pumps' Efficiency by Means of Cast Iron Working Wheel Treatment]. *Neftgazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2016, Vol. 14, No. 4, pp. 108-112. [in Russian].
3. Bazhaikin S.G., Velizhanin V.S., Mikheev A.S. *Opyt primeneniya kompozitsionnykh materialov pri sovershenstvovanii tsentrobezhnykh nasosov tipa TsNS* [Composite Materials Application Experience for Improvement of Centrifugal Pumps]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 4 (110), pp.186-192. [in Russian].
4. Abacharaev M.M. *Kavitatsiya i zashchita metallov ot kavitatsionnykh razrushenii* [Cavitation and Metal Protection from Cavitation Damages]. Makhachkala, Dag. kn. izd-vo, 1990. 169 p. [in Russian].
5. Gol'yanov A.I., Gol'yanov A.A., Kutukov S.E. *Obzor metodov otsenki energoeffektivnosti magistral'nykh nefteprovodov* [Review of Main Pipelines Energy Efficiency Estimation Methods]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 4 (110), pp.156-170. [in Russian].
6. Popadyuk V.V. *Povyshenie KPD tsentrobezhnykh nasosov putem ispol'zovaniya pri provedenii remontnykh rabot spetsial'nykh*

polimernykh pokrytii [Increasing the Centrifugal Pump Efficiency by Using Special Polymer Coatings during Repair Work]. Ukraina, g. Kalush ООО «KARPATNEFTEKHIMM». http://www.ipktek.ru/templates/new_style_1/images/konkurs_2015/pr1422.pdf. [in Russian].

7. RD 08.00-60.30.00-KTN-016-1-05. *Rukovodstvo po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu oborudovaniya i sooruzhenii nefteperekachivayushchikh stantsii. Vved.* 04.04.2005, GUP «Institut problem transporta energoresursov» [RD 08.00-60.30.00-KTN-016-1-05. Manual on Maintenance and Repair of Equipment and Structures of Oil Pumping Stations. Enter. 04.04.2005, State Unitary Enterprise «Institute for Problems of Energy Resources Transportation». 2005. 142 pp.]. 2005. 142 p. [in Russian].

8. Korshak A.A., Nechval' A.M. *Proektirovanie i ekspluatatsiya gazonefteprovodov* [Design and operation of gas and oil pipelines]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2008. 488 p. [in Russian].

Авторы

• Байков Игорь Равильевич, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-20-79
e-mail: pte@rusoil.net

• Трофимов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: trofimov_pte@mail.ru

• Зиятдинов Рамиль Рашитович
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Студент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: rara-097@mail.ru

The Authors

• Baikov Igor R., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Industrial Heat and Power Engineering Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-20-79
e-mail: pte@rusoil.net

• Trofimov Andrey Yu., Candidate of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Industrial Heat and Power Engineering Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: trofimov_pte@mail.ru

• Ziyatdinov Ramil R.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Industrial Heat and Power Engineering Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: rara-097@mail.ru