

УДК 621.3.078 + 621.002.5]:006.354

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДОЖИМНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

Никulin Н.В., Мишуринских С.В., Ромодин А.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

В статье проводится разработка методики повышения энергетической эффективности электроприводов дожимных насосных станций. Определена актуальность задачи повышения энергетической эффективности электроприводов дожимных насосных станций. Рассмотрены основные методы повышения энергетической эффективности электроприводов. Приведена оценка энергетической эффективности их реализации. Выделены основные показатели функционирования электроприводов, влияющие на их энергетическую эффективность. Определены недостатки проведения энергоаудита с позиции повышения энергетической эффективности. Приведена методика проведения энергоаудита, учитывающая особенности электроэнергетического оборудования дожимных насосных станций, а также постановки и решения задачи повышения энергетической эффективности. Предложен алгоритм реализации энергосберегающих мероприятий. Приведено описание математического аппарата, на котором основан предлагаемый алгоритм. Проведен расчет на основе предложенного алгоритма. Выполнена оценка эффективности предлагаемого математического аппарата.

Ключевые слова: потребление электроэнергии, энергосбережение, модель, энергетическая эффективность, автоматизация управления

TO THE ISSUE OF ENERGY EFFICIENCY INCREASE OF ELECTRIC BOOSTER PUMP STATIONS OF THE LLC «LUKOIL-PERM»

Nikulin N.V., Mishurinskikh S.V., Romodin A.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru

In the article the development of methods of improving the energy efficiency of electric booster pump stations is conducted. The urgency of the task of improving the electric booster pump stations' energy efficiency is determined. The main methods of increasing the energy efficiency of electric drives are considered. The evaluation of the energy efficiency of the implementation is given. The main indicators of electric drives' functioning, which influence their energy efficiency are marked. The disadvantages of carrying out an energy audit from the perspective of energy efficiency increasing are determined. The methodology of the energy audit considering the peculiarities of booster pumping stations' electrical power equipment as well as formulating and solving the problem of energy efficiency increasing are considered. An algorithm for implementing energy-saving measures is set forward. The description of the mathematical apparatus on which the introduced algorithm is based is provided. The calculation based on the introduced algorithm is carried out. The evaluation of the efficiency of the introduced mathematical apparatus is conducted.

Keywords: power consumption, energy saving, model, energy efficiency, control automation

Нефтедобыча охарактеризована высоким уровнем энергоемкости: расходы на электроэнергию составляют до 50%, в связи с чем повышение энергоэффективности является актуальной задачей. Использование автоматизированных систем позволяет эффективно, с заданной степенью точности, осуществить управление энергетической эффективностью насосных станций предприятия ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» [1, 4, 5]. В подавляющем большинстве систем реальные нагрузки агрегатов оказываются ниже их номинальной мощности. И чем больше эта разница, тем большие потери возникают в этом оборудовании. Таким образом, довольно остро встает вопрос регулирования производительности оборудования, что, в свою очередь, позволит повысить энергоэффективность электрооборудования.

Задача повышения энергетической эффективности является сложной техниче-

ской и инженерной задачей, которая требует разностороннего рассмотрения и разработки новых подходов к ее реализации.

В качестве объекта данного исследования выступала дожимная насосная станция ДНС-1214 «Южный Юрчук» ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Производительность дожимной насосной станции (ДНС) на март 2015 г. составляет по жидкости – 221,6 тыс. м³/год, по нефти – 163,8 тыс. т/год, по нефтяному газу – 10,2 млн м³/год. Жидкость, поступающая на ДНС-1214 «Южный-Юрчук», по состоянию на март 2015 г. содержит до 13% воды.

Методика анализа энергоэффективности электроприводов ДНС

Основными потребителями электрической энергии в любой насосной станции являются электродвигатели. Главная цель повышения энергетической эффективно-

сти – это снижение потерь в двигателях. В подавляющем большинстве для привода насосных агрегатов используются асинхронные двигатели, так как они просты в эксплуатации, имеют простую конструкцию, относительно низкую стоимость, небольшие габариты и массу. Существенным недостатком таких двигателей является невозможность плавного изменения скорости вращения простыми средствами и высокие пусковые токи. В большинстве систем нагрузки на рабочие агрегаты часто ниже номинальных, поэтому без регулирования производительности насосов не обойтись. Отсюда вытекает проблема регулирования – снижение производительности насоса сопровождается уменьшением полезной мощности, то есть дополнительными потерями [2, 3, 8, 9].

Для анализа энергоэффективности насосов предлагается рассмотреть следующие показатели их функционирования:

- подача;
- напор;
- КПД.

Наибольшая эффективность насоса обеспечивается при оптимальном режиме работы.

В настоящее время существует несколько способов повышения энергоэффективности, которые приведены в табл. 1 [9].

Таблица 1
Методы повышения энергоэффективности насосов

Метод	Доля экономии электроэнергии, %
Замена старых насосов на более современные	1–2
Замена электродвигателей	1–3
Подрезка рабочего колеса	10–20
Снижение частоты вращения	5–40
Каскадное регулирование	10–30
Частотный преобразователь	10–60

Разработка любых энергосберегающих мероприятий должна начинаться с анализа объекта исследования и его энергетических характеристик. Поэтому стоит отдельно остановиться на этом этапе и рассмотреть его более подробно.

Основная проблема разработки энергосберегающих мероприятий заключается в том, что часто реальные параметры сети известны не в полной мере или отличаются от проектных значений. Чтобы определить реальные режимы работы насосов, нужно производить замеры непосредственно на объекте с применением специализированного измерительного оборудования. В процес-

се энергетического аудита насосного оборудования можно выделить следующие этапы:

1. Сбор предварительной информации об оборудовании на объекте и о технологическом процессе, в котором оно используется.

2. Сбор дополнительных данных, уточнение полученной информации. Предварительное планирование проведения испытаний.

3. Проведение испытаний на объекте.

4. Обработка и оценка результатов.

5. Подготовка технико-экономического обоснования для разных вариантов модернизации. При планировании мероприятий можно определить наиболее проблемные в части энергопотребления насосы.

При проведении энергоаудита необходимо проверять, соответствует ли мощность электропривода потребляемой мощности нагрузки. Завышение мощности влечет за собой снижение КПД, а при снижении степени загрузки двигателя растет доля реактивной мощности по сравнению с активной. Замена двигателя на другой с соответствующей номинальной мощностью целесообразна при его загрузке менее 45 %, при загрузке от 45 % до 75 % требуется провести экономическую оценку мероприятия по замене, при большем проценте нагрузки замена, соответственно, нецелесообразна.

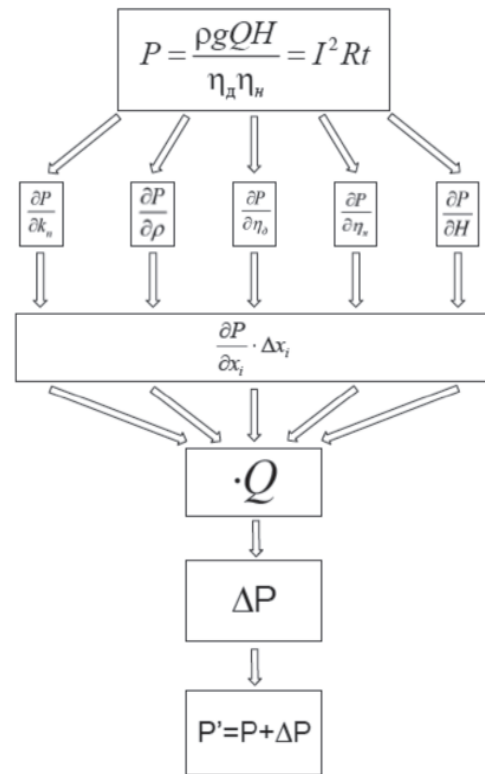


Рис. 1. Алгоритм расчета эффективности энергосберегающих мероприятий

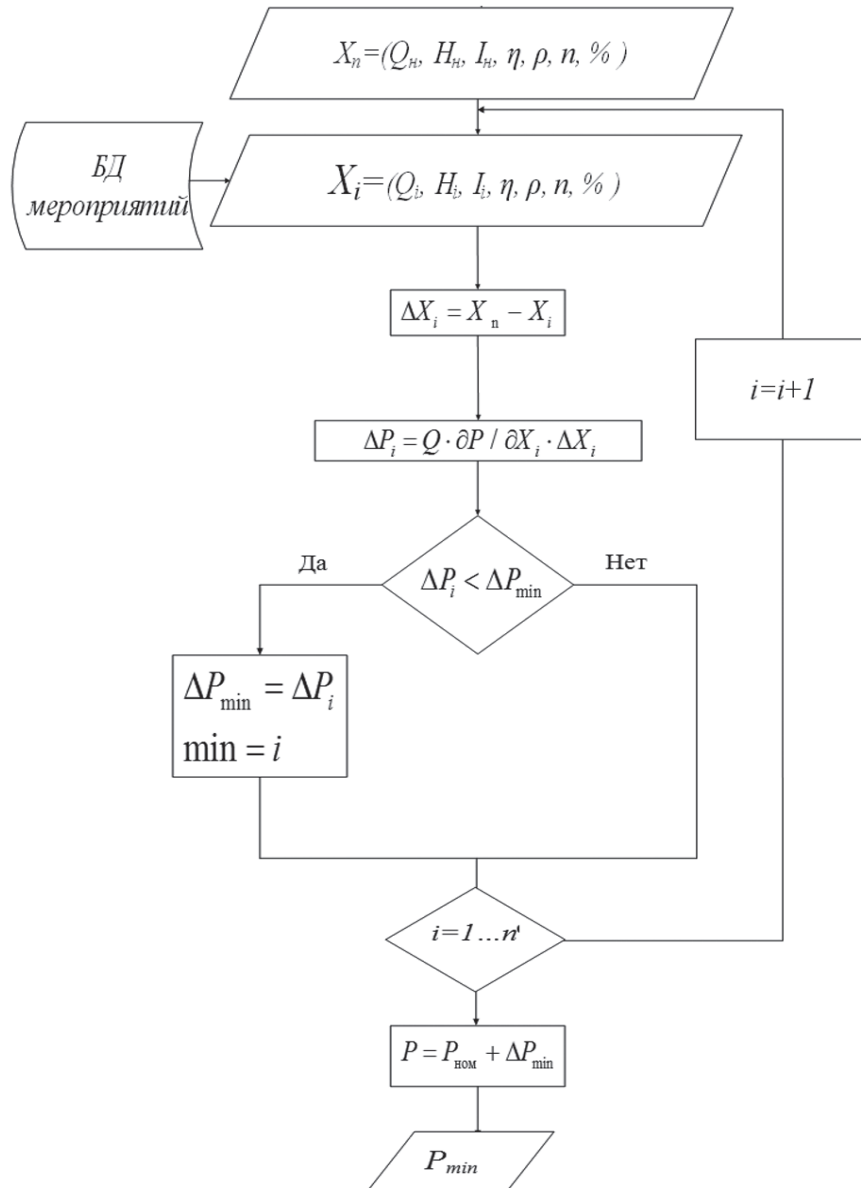


Рис. 2. Блок-схема выбора энергосберегающих мероприятий

В качестве математического аппарата для решения задачи оптимизации потребления электрической энергии в данной работе предлагается применить градиентный метод оптимизации, который относится к численным методам поискового типа. Он универсален и в большинстве случаев весьма эффективен при поиске экстремального значения нелинейных функций с ограничениями и без них, а также тогда, когда аналитический вид функции вообще неизвестен. Сущность указанных методов заключается в определении значений независимых переменных, дающих наибольшие изменения целевой функции.

Обычно для этого двигаются вдоль градиента, ортогонального к контурной поверхности в данной точке [6, 7].

Для оценки эффективности работы насоса в новом рассматриваемом режиме предлагается проведение анализа потребляемой энергии согласно градиентному методу по частным производным. Для этого требуется определить приращения мощности от показателей насоса, после чего составляется общая функция изменения потребляемой мощности, на основе которой можно сделать вывод о целесообразности применения того или иного способа регулирования.

Таблица 2

Технический эффект от реализации энергосберегающих мероприятий

№ п/п	№ скважины	P , Вт	ΔP , Вт	ΔP , %	P' , Вт
1	761	23204,951	- 3537,885	15,25	19667,066
2	766	80611,582	- 12787,222	15,86	67824,360
3	767	38958,733	- 6195,113	15,90	32763,620
4	772	29056,721	- 4564,430	15,71	24492,291
5	773	123051,518	- 19567,321	15,90	103484,197
6	775	123619,719	- 19180,623	15,52	104439,096
7	778	251057,633	- 39922,509	15,90	211135,124
8	779	89416,122	- 14166,506	15,84	75249,616
9	780	160134,570	- 25247,080	15,77	134887,490
10	781	113152,944	- 17993,277	15,90	95159,667
11	785	363141,356	- 57816,781	15,92	305324,575
12	786	84075,406	- 13369,445	15,90	70705,961
13	796	331700,766	- 52726,733	15,90	278974,033
14	798	402671,249	- 59297,193	14,73	343374,056
15	1	318534,697	- 50466,556	15,84	268068,141
16	2	150519,368	- 23964,622	15,92	126554,746
17	762	229953,887	- 36254,909	15,77	193698,978
18	763	144909,157	- 23071,404	15,92	121837,753
19	774	159071,151	- 24280,986	15,26	134790,165
20	776	201530,694	- 29509,482	14,64	172021,212

Графическое представление предлагаемого алгоритма представлено на рис. 1. Блок-схема реализации алгоритма представлена на рис. 2.

Также последовательность действий можно представить следующим образом:

1. Заполнение базы мероприятий.
2. Задание начальных параметров.
3. Частная производная по пусковому току.
4. Частная производная по плотности.
5. Частная производная по КПД.

6. Частная производная мощности по напору.

7. Частная производная по скорости вращения.

8. Составление общей функции.

Частные производные характеризуют изменение функции по каждой отдельной переменной. Далее вычисляют изменение удельной потребляемой мощности, которое является подобием градиента функции, по следующей формуле [2, 3, 9]:

$$P = Q \cdot \left(2 \cdot k_{\text{п}} \cdot \frac{t_{\text{п}}}{Q \cdot t_{\text{п}}} \cdot \Delta k_{\text{п}} + \frac{g \cdot H}{\eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{н}}} \cdot \Delta \rho + \frac{-\rho \cdot g \cdot H}{\eta_{\text{д}}^2 \cdot \eta_{\text{н}}} \cdot \Delta \eta_{\text{д}} + \right. \\ \left. + \frac{-\rho \cdot g \cdot H}{\eta_{\text{н}}^2 \cdot \eta_{\text{д}}} \cdot \Delta \eta_{\text{н}} + \frac{\rho \cdot g}{\eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{н}}} \cdot \Delta H + \frac{3 \cdot n^2 \cdot \rho \cdot g \cdot H}{n_{\text{нач}}^3 \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{н}}} \cdot \Delta n \right) \quad (1)$$

где ΔP – изменение удельной потребляемой мощности;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q – подача насоса, м³/ч;

H – напор, м;

$\eta_{\text{н}}$ – коэффициент полезного действия насоса;

$\eta_{\text{д}}$ – коэффициент полезного действия двигателя;

$t_{\text{п}}$ – время пуска двигателя, с;

$t_{\text{п}}$ – время работы двигателя, с;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент броска пускового тока двигателя;

n – номинальная скорость вращения электродвигателя, об/мин;

$n_{\text{нач}}$ – скорость вращения электродвигателя до регулирования; об/мин.

Полученный таким образом градиент будет давать представление о поведении функции. Также удобно полученное значе-

ние представить в процентном соотношении от номинального. Расчетная мощность вычисляется по формуле

$$P_p = P_{нач} + \Delta P, \quad (2)$$

где P_p – расчетная мощность, кВт;
 $P_{нач}$ – мощность до реализации энергосберегающих мероприятий, кВт.

Технический эффект от реализации энергосберегающих мероприятий в результате выполнения предложенного алгоритма представлен в табл. 2.

Из табл. 1 видно, что реализация предложенного алгоритма позволяет снизить потребляемую мощность в среднем на 15,67%, что является довольно большой величиной.

Заключение

Предложенный математический аппарат позволяет разносторонне рассмотреть функционирование электроэнергетического оборудования и подобрать его оптимальный режим работы по важным электрическим и технологическим параметрам.

Алгоритм, предложенный в данной работе, позволяет существенно повысить энергетическую эффективность электроэнергетического оборудования дожимной насосной станции.

Список литературы

1. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. – М.: Факториал Пресс, Гл. ред. физ.-мат. лит., 2002. – 824 с.
2. ГОСТ 31605-2012. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели энергоэффективности. Дата введения 01.01.2015.
3. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1990. – 191 с.
4. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энерго-оптимизатор» // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 49–54.

5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.

6. Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И. Об одном формализованном методе оценки управленческих решений (на примере управления электротехническими объектами) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 166–171.

7. Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М. Численные методы в экстремальных задачах. – М.: Наука, 1975. – 320 с.

8. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю., Лейзгольд К.А., Щенятский Д.А. Исследование режима пуска асинхронного привода испытательного стенда ОАО «ПРОТОН-ПМ» // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: Сб. науч. тр. / ПНИПУ. – Пермь, 2012. – С. 215–224.

9. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

References

1. Vasilev F.P. Metody optimizacii. M.: Faktorial Press, Gl. red. fiz.-mat. lit., 2002. 824 s.

2. GOST 31605-2012. Mashiny jelektricheskie asinhronnye moshhnostju ot 1 do 400 kVt vkljuchitelno. Dvigateli. Pokazatelije nergojeffektivnosti. Data vvedeniija 01.01.2015.

3. Lobachev P.V. Nasosy i nasosnye stancii. M.: Strojizdat, 1990. 191 p.

4. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jeletrotehnika. 2010. no. 6. pp. 49–54.

5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podhodov k postroeniju kompleksa «Jenergooptimizator» // Jeletro. Jeletrotehnika, jeletrojenergetika, jeletrotehnicheskaja promyshlennost. 2013. no. 4. pp. 20–25.

6. Petrochenkov A.B., Romodin A.V., Horoshev N.I. Ob odnom formalizovannom metode ocenki upravlencheskih reshenij (na primere upravlenija jeletrotehnicheskimi ob#ektami) // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2009. no. 87. pp. 166–171.

7. Pshenichnyj B.N., Danilin Ju.M. Chislennye metody v jekstremalnih zadachah. M.: Nauka, 1975. 320 p.

8. Romodin A.V., Lejzgold D.Ju., Lejzgold K.A., Shhenjatskij D.A. Issledovanie rezhima puska asinhronnogo privoda ispytatelnogo stenda ОАО «ПРОТОН-ПМ» // Jenergetika. Innovacionnye napravlenija v jenergetike. CALS-tehnologii v jenergetike: Sb. науч. tr. / PNIPU. Perm, 2012. pp. 215–224.

9. Cherkasskij V.M. Nasosy, ventiljatory, kompressory. M.: Jenergoatomizdat, 1984. 416 p.