

Электротехника

УДК 621.365

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСОВ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

А.М. Абакумов, И.С. Мухортов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Приводятся результаты анализа эффективности оптимизации режимов работы электроприводов насосов систем поддержания пластового давления при дискретном регулировании. Дана оценка влияния потерь электроэнергии в переходных процессах на выбор оптимальных режимов.

Ключевые слова: *насосная станция, центробежный насос, расход электроэнергии, оценка эффективности оптимизация режимов работы электроприводов, дискретное регулирование, переходные процессы.*

Одним из перспективных методов повышения энергетической эффективности технологических установок является совершенствование режимов работы электроприводов насосных установок [1].

В работе [2] рассмотрена постановка и методика решения комбинаторной оптимизационной задачи выбора включаемых насосных агрегатов станций систем поддержания пластового давления (ППД), работающих в условиях переменной подачи, по критерию минимума расхода электроэнергии с учетом технологических ограничений по требуемому расходу и напору.

Методика базируется на аппроксимации реального суточного графика требуемого расхода $Q_z(t)$ ступенчатым, состоящим из l интервалов длительностью T_i с постоянными значениями Q_{zi} , $i \in \{1, 2, \dots, l\}$. При этом i -му интервалу для j -го альтернативного варианта включения насосных агрегатов соответствуют потери мощности из-за превышения напора ΔP_{ij} , а потери электроэнергии за сутки определяются суммированием потерь на отдельных интервалах T_i :

$$\Delta W_{ij} = \Delta P_{ij} T_i.$$

Задача оптимизации сводится к выбору из множества допустимых альтернатив для каждого i -го временного интервала варианта включения насосных агрегатов, обеспечивающего минимум потерь электроэнергии:

$$\Delta W_{ij} \rightarrow \min.$$

Александр Михайлович Абакумов (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Электромеханика и автомобильное оборудование».

Иван Сергеевич Мухортов, аспирант.

Представляет интерес дополнительно учесть потери энергии ΔW_{2ij} , возникающие при переходе от i -го интервала к $(i+1)$ -му, обусловленные пуском двигателей насосов, которые будут поддерживать $(i+1)$ -й режим, и оценить их влияние на выбор оптимального режима, что особенно актуально для насосных, работающих с частыми переключениями режимов подачи жидкости.

Потери энергии при пуске двигателей под нагрузкой могут быть оценены по выражению [3]

$$\Delta A = \Delta A_{st} + \Delta A_{rot}, \quad (1)$$

где ΔA_{st} , ΔA_{rot} – потери энергии в статоре и в роторе асинхронного двигателя.

Указанные величины определяются следующим образом:

$$\Delta A_{st} = \Delta A_X R_1 / R_2'; \quad (2)$$

$$\Delta A_{rot} = \Delta A_X M_{cp} / (M_{cp} - M_c), \quad (3)$$

где $\Delta A_X = J\omega_0^2 / 2$ – потери энергии в двигателе при пуске без нагрузки, Дж; R_1 , R_2' – параметры Г-образной схемы замещения асинхронного двигателя, Ом; M_{cp} – средний, неизменный за время переходного процесса, момент двигателя, Н·м; M_c – момент сопротивления нагрузки, Н·м; J – момент инерции, приведенный к валу двигателя, кгм²; ω_0 – скорость холостого хода, рад/с.

Средний, неизменный за время переходного процесса, момент двигателя определяется на основании паспортных характеристик [3]:

$$M_{cp} = (M_{пуск} + M_{max}) / 2$$

С учетом выражений (1) – (3) потери электроэнергии при переходе от i -го интервала к $(i+1)$ -му для j -го альтернативного варианта включения насосных агрегатов равны

$$\Delta W_{2ij} = 0,28 \cdot 10^{-6} \cdot \sum_{g=1}^{r_j} \Delta A_{ijg}, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где ΔA_{ijg} – потери энергии при пуске двигателей, Дж; $r_j \in \{1, 2, \dots, m_2\}$ – количество двигателей, включаемых для достижения требуемого режима; m_2 – количество двигателей насосной станции.

Таким образом, суммарные потери электроэнергии с учетом переходных режимов будут

$$\Delta W_{ij} = \Delta P_{ij} T_i + \Delta W_{2ij}.$$

Проведена оценка влияния потерь электроэнергии при пуске двигателей на выбор оптимальных режимов работы электроприводов на примере типовой насосной станции II водоподъема. Суточный график нагрузки (рис. 1) состоит из 4 режимов, первый и третий повторяются.

Результаты решения задачи оптимизации в соответствии с предложенной методикой для рассматриваемого примера представлены в таблице.

Как следует из приведенных результатов, итоговая доля потерь электрической энергии при переходных процессах в суммарных годовых потерях составляет порядка 0,1 % и может не учитываться при проведении оптимизации режимов работы электроприводов насосных станций систем ППД. Необходимость учета потерь при

пуске может возникать лишь в случаях, характеризующихся низкими (сопоставимыми с потерями при переходных процессах) величинами потерь электроэнергии из-за превышения напора ΔW_{ij} одновременно в нескольких альтернативных вариантах включения насосов.

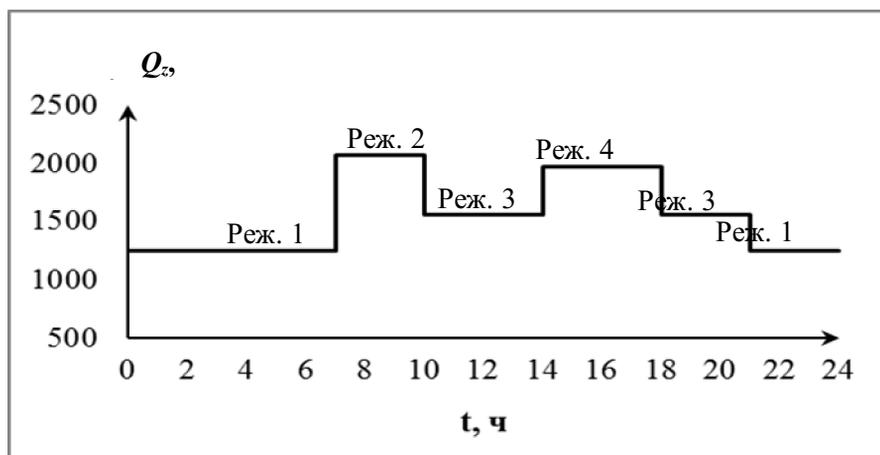


Рис. 1. Суточный график нагрузки

Оптимальные варианты достижения требуемой производительности

Показатель	Режим №1	Режим №2	Режим №3	Режим №4	Итого
Требуемый расход жидкости Q , м³/ч	1253	2068	1556	1977	–
Минимально необходимый напор H , м	75,2	104,4	84,4	100,4	–
Оптимальный вариант включения насосов	Совместная работа насосов №1 и №4	Совместная работа насосов №2 и №3	Работа насоса №2	Работа насоса №3	–
Превышение напора ΔH , м	26	2,8	1,1	1,2	–
Годовые потери электроэнергии из-за превышения напора ΔW_1 , тыс. кВт·ч	351,53	20,29	13,72	0,55	386,1
Годовые потери электроэнергии при переходных процессах ΔW_2 , тыс. кВт·ч	0,07	0,12	0,13	0,06	0,39
Суммарные годовые потери электроэнергии ΔW , тыс. кВт·ч	351,6	20,41	13,85	0,61	386,49

Для оценки эффективности использования оптимизированных режимов работы насосных агрегатов проведено сравнение потребления электроэнергии для варианта включения насосных агрегатов, фактически применяемого оператором насосной

станции повседневно, с потреблением электроэнергии при использовании оптимизированных режимов. Данные по фактическому годовому потреблению электрической энергии (рис. 2) получены на основании показаний, снятых при помощи измерителя параметров качества электрической энергии (ПКЭ) Ресурс-UF2MB-3П15-5 [4]. Применяемый измеритель ПКЭ в комплексе с расходомерами и датчиками давления станции позволяет параллельно получить необходимые исходные данные для расчета потерь электроэнергии при пуске двигателей. Электропотребление для оптимизированного варианта включения насосных агрегатов вычислено в соответствии с приведенной методикой. Результаты замеров пересчитаны на годовой интервал с допущением о неизменности суточного графика подачи жидкости. Как показывают полученные результаты, использование оптимизированных режимов на рассмотренном объекте позволит сэкономить до 5 % от суммарного годового потребления электроэнергии, что составляет 309 тыс. кВт·ч в год, или при тарифах на электроэнергию 2012 г. – 584 тыс. рублей. При этом наибольший эффект достигается за счет самого длительного режима №1 – 10 часов в сутки, а фактический вариант включения агрегатов в режимах №3 и №4 совпадает с оптимальным.

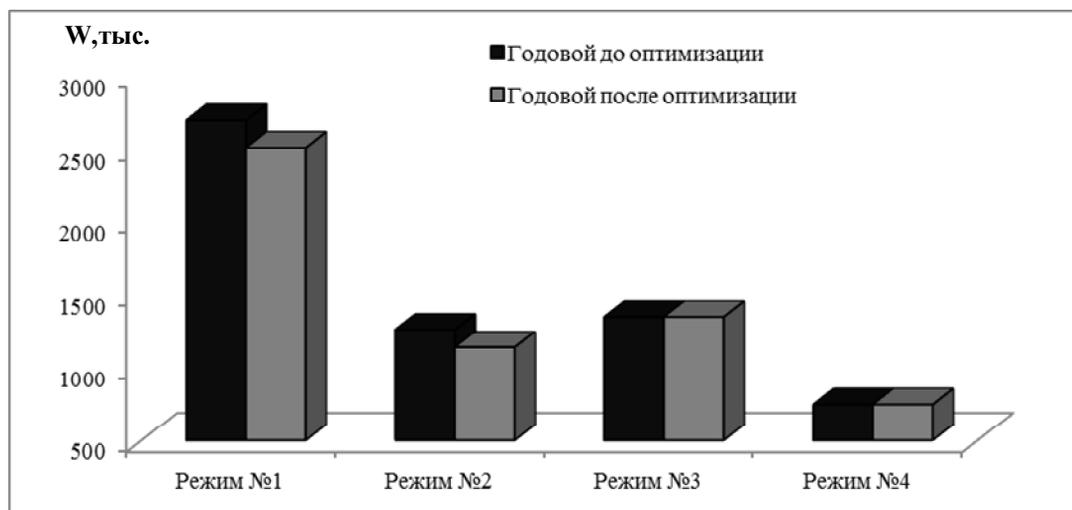


Рис. 2. Расход электроэнергии до и после проведения оптимизации

Таким образом, полученные результаты позволяют оценить влияние потерь электроэнергии в переходных процессах на выбор оптимальных режимов работы электроприводов насосов систем поддержания пластового давления при дискретном регулировании, а также оценить эффективность использования оптимизированных режимов работы электроприводов насосных агрегатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Абакумов А.М., Мухортов И.С. Оптимизация режимов работы электроприводов насосов систем поддержания пластового давления // Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки. – 2012. – №3 (35). – С. 163-169.
3. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Академия, 2007. – 368 с.
4. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: ВНИИМС, 2000. – 38 с.

Статья поступила в редакцию 21 февраля 2013 г.

THE ANALYSIS OF OPTIMISATION EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL PUMPING EQUIPMENT OPERATING MODELS IN RESERVOIR PRESSURE MAINTENANCE SYSTEMS

A.M. Abakumov, I.S. Mukhortov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The estimation of energy losses influence in transition on the optimal operation modes of electric drives pumps in reservoir pressure maintenance systems selection for discrete regulation is given. Results of efficiency optimization analysis are presented.

Keywords: *pumping station, centrifugal pumping equipment, power consumption, operation modes of electric drives optimization, discrete adjustment, transient.*

*Alexander M. Abakumov(Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Ivan S. Mukhortov, Postgraduate student.*