

## Оптимизация управления насосными агрегатами системы поддержания пластового давления

В.П. Фрайштетер, К.Т.Н.,  
И.А. Ниссенбаум,  
М.К. Велиев  
(ОАО «Гипротюменнефтегаз»,  
Группа ГМС)

Адрес для связи: gtng@gtng.ru

**Ключевые слова:** оптимизация управления насосными агрегатами, кустовая насосная станция (КНС), повышение энергетической эффективности, частотно-регулируемый электропривод (ЧРП) насосных агрегатов.

Большинство проектируемых и находящихся в эксплуатации технологических систем поддержания пластового давления (ППД) на нефтяных месторождениях Западно-Сибирского региона построено по схеме с централизованной кустовой насосной станцией (КНС). В последние годы наиболее распространенной является технологическая схема, в которой отделение пластовой воды осуществляется на установках предварительного сброса воды (УПСВ). При такой схеме степень технологических связей между системой подготовки нефти и системой ППД возрастает, что определяет режимы насосных агрегатов КНС: необходимость непрерывной утилизации объемов поступающей пластовой воды в связи с ограниченным объемом резервуаров и сепарационных емкостей. В этом случае появляются дополнительные требования к управлению режимами работы насосных агрегатов, что в свою очередь влияет на количество электроэнергии, потребляемой технологической системой.

Результаты работ, проводившихся в «Гипротюменнефтегазе» в области оптимизации потребления электроэнергии нефтепромышленными технологическими системами, свидетельствуют о том, что повышение энергетической эффективности системы ППД заключается в оптимизации управления режимами работы насосных агрегатов [2].

Основными причинами повышенного расхода электроэнергии являются низкий уровень управляемости электропривода насосов и высокий уровень непроизводительных потерь энергии при использовании гидродинамических способов управления подачей насосных агрегатов, характеризующихся неэффективным исполь-

### Optimizing the control of pumping unit of formation-pressure maintenance system

V.P. Fraishteter, I.A. Nissenbaum, M.K. Veliev  
(Giprotyumenneftegaz JSC, HMS Group, RF, Tyumen)

E-mail: gtng@gtng.ru

**Key words:** pumping unit control optimization, well pad pump station (WPPS), power efficiency increase, variable-frequency electric drive.

Well pad pump station (WPPS) pumping units are the elements of the high energy waste system. One of the reasons of the specified circumstance is a low level of pump electrical drive controllability. The article presents methods and a control system enabling to optimize operation of WPPS for power and process efficiency increase of the formation-pressure maintenance system by applying variable-frequency electric drives. Stated, that application of variable-frequency electric drives on all booster and two main pumping units is the most reasonable.

зованием электроэнергии. Наиболее перспективный метод управления режимами работы насосного агрегата – применение частотно-регулируемого электропривода (ЧРП), который позволяет повысить гибкость управления производительностью и потребляемой мощностью агрегата и, следовательно, оптимизировать потребление электроэнергии.

Для решения задачи оптимального управления насосными агрегатами системы ППД необходимо определить стратегию управления, при которой с использованием ЧРП обеспечивается минимальный удельный расход электроэнергии при выполнении планового задания на закачку воды в пласт. С целью анализа эффективности возможных стратегий управления насосными агрегатами системы ППД разработана методика, основанная на определении коэффициента рентабельности использования электроэнергии, который в наиболее обобщенном виде отражает эффективность применения ЧРП насосных агрегатов при различных стратегиях. Исходя из анализа проведенных расчетов установлено, что наибольшая рентабельность достигается при ЧРП двух основных и ЧРП всех подпорных насосных агрегатов [3, 4]. Последовательное включение этих ЧРП позволяет расширить диапазон регулирования насосных агрегатов, тем самым обеспечивая согласование режимов работы КНС с режимами технологической системы по объемам плановых заданий на закачку воды в пласт. Использование ЧРП позволяет изменять частоту вращения электропривода подпорных и основных насосов как выше, так и ниже номинальной, тем самым обеспечивая их совместную работу в области минимального удельного расхода электроэнергии с максимальным использова-

нием мощности при минимальном числе основных насосов КНС с большой единичной мощностью.

Предложенный способ управления насосными агрегатами реализован в имитационной модели и апробирован на примере режима работы участка технологической системы одного из типовых нефтяных месторождений западносибирского региона. На месторождении имеются КНС с пятью многоступенчатыми секционными центробежными насосами ЦНС240-1900 и приводным электродвигателем мощностью 2000 кВт, пять подпорных насосов 1Д250-125 с мощностью приводного электродвигателя 200 кВт, 117 нагнетательных скважин и 158 участков высоконапорных водоводов. На основе серии вариантных расчетов исследовалась возможность повышения технологической и энергетической эффективности КНС при частотном управлении электродвигателями подпорных и основных насосных агрегатов КНС по сравнению с проектным вариантом при нерегулируемом электроприводе.

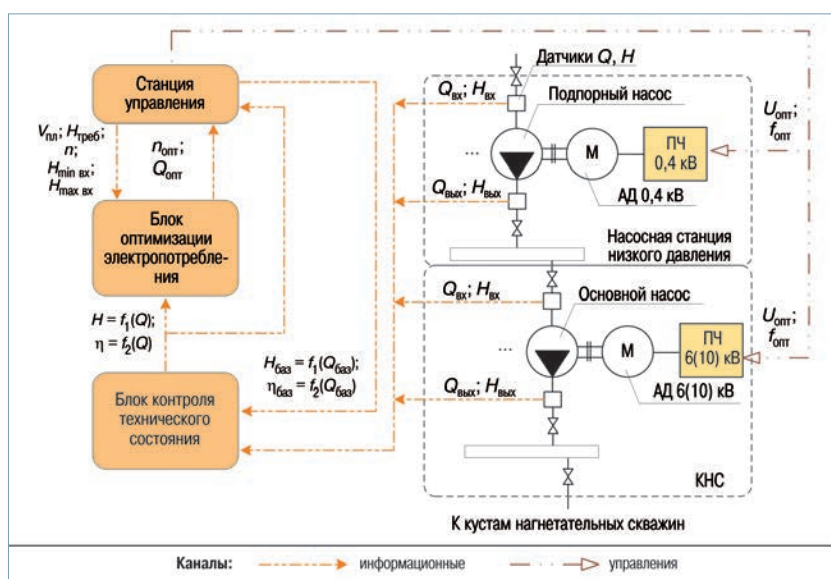
Анализ результатов имитационного моделирования показал, что применение ЧРП двух основных насосных агрегатов КНС и ЧРП подпорных насосных агрегатов позволяет расширить технологические возможности КНС и увеличить объем плановых заданий на закачку на 19 % (3,88 тыс. м<sup>3</sup>/сут), а также снизить потребление электроэнергии до 6–6,5 % (около 10 МВт·ч/сут) по сравнению с вариантом без частотного управления [2]. Кроме того, удельный расход электроэнергии в системе зависит от индивидуальных энергетических характеристик одновременно работающих агрегатов и распределения нагрузки между ними. В процессе эксплуатации происходит износ насосных агрегатов. На их характеристики также существенно влияют периодичность, условия и качество проведения ремонта, который не всегда проводится удовлетворительно. Указанные факторы снижают гидравлические и энергетические показатели насосных агрегатов. В связи с этим для устранения причин повышенных непроизводительных потерь энергии в технологической системе ППД разработана методика определения оптимального состава работающих насосных агрегатов для выполнения планового технологического задания с минимальным удельным расходом электроэнергии на закачку воды в нефтеносный пласт [5].

Данная методика основана на представлении подпорных насосных агрегатов и насосных агрегатов КНС в виде двух допустимых множеств некоторого пространства, в котором каждый элемент множества характеризуется потребляемой мощностью и непроизводительными потерями электроэнергии  $\Delta W$ , вызванными бесполезным расходом энергии при соответствующей подаче  $Q$ . Структура элементов каждого множества задается парой значений  $(Q_i, \Delta W_i)$  для основных и парой  $(Q_{2j}, \Delta W_{2j})$  для подпорных насосных агрегатов.

Техническое состояние каждого насосного агрегата можно определить по удельным потерям электроэнергии на закачку  $\Delta w_i = \Delta W_i / Q_i$ . При заданных объеме планового задания  $V_{пл}$  и структуре элементов задача сводится к определению оптимального состава насосных агрегатов по производительности, при котором суммарное значение критерия выбора – удельных потерь электроэнергии  $\Delta w_i$  будет минимальным. Для нахождения допустимого решения задачи определения оптимального состава насосных агрегатов необходимо упорядочить элементы множеств, для этого использован метод нижней огибающей кривой (НОК).

Путем линейной аппроксимации характеристик насосных агрегатов  $\Delta w = f(Q)$  в системе координат  $Q - \Delta w$  при заданном числе элементов получим семейство  $n$ -мерных векторов  $l_i = (l_1, l_2, \dots, l_n)$ , координаты которых  $(Q_i, \Delta w_i)$  соответствуют каждому значению. После представления полученного множества векторов на координатной плоскости  $Q - \Delta w$  в виде точек, будем иметь множество точек  $(Q_i^{li}, \Delta w_i^{li})$ , которые определяют положение вектора  $l$  в плоскости для каждого элемента множества. Кривая, проходящая через данное множество точек, определяет область поиска оптимальной подачи для каждого насосного агрегата с учетом его индивидуальных гидравлических и энергетических параметров. Построение НОК для элементов множества выполняется при условии  $\beta_i \geq \beta_{i-1}$ , где  $\beta_i = \Delta w_{ij} / Q_{ij}$  – крутизна характеристики каждого элемента в координатах  $(Q; \Delta w)$ . Рассматриваемая методика позволяет определить оптимальный состав насосных агрегатов и при изменении объема планового задания, очередность их включения/отключения для минимизации непроизводительных потерь электроэнергии.

Без соответствующей системы управления режимом работы насосных агрегатов, реализующей предложенные подходы к управлению, ЧРП не может обеспечить эффективную работу КНС. В связи с этим на основе рассмотренной выше методики и способа управления многомашинным электротехническим комплексом системы ППД разработана адаптивная система управления



Структурная схема системы оптимального управления насосными агрегатами технологической системы ППД

(см. рисунок), которая позволяет оптимизировать режимы работы насосных агрегатов КНС с использованием средств технологической автоматики [6]. Станция управления (СУ) представлена в виде автоматизированного рабочего места оператора с программным комплексом для расчета режимов работы системы ППД и является ее основной интеллектуальной частью, связанной с базой данных, в которой происходит накопление информации о состоянии системы в виде графических и табличных данных. В СУ формируются и передаются в преобразователи частоты управляющие сигналы оптимального напряжения  $U_{\text{опт}}$  и частоты  $f_{\text{опт}}$  для основных и подпорных насосных агрегатов.

Блок контроля технического состояния обеспечивает обработку поступающей информации от датчиков напора ( $H_{\text{вх}}, H_{\text{вых}}$ ) и расхода ( $Q_{\text{вх}}, Q_{\text{вых}}$ ) основных и подпорных насосных агрегатов. Из СУ в блок оптимизации электропотребления передаются следующие данные: объем планового задания  $V_{\text{пл}}$ , минимальный и максимальный напор на входе основных насосных агрегатов  $H_{\text{min}}, H_{\text{max}}$ , требуемый напор  $H_{\text{треб}}$  на устье нагнетательных скважин для выполнения  $V_{\text{пл}}$ , число рабочих и резервных основных насосных агрегатов  $n$ . Из блока контроля технического состояния в СУ и далее в базу данных поступает информация о фактических параметрах насоса в виде гидравлических ( $H = f(Q)$ ) и энергетических параметров ( $\eta = f(Q)$ ).

Блок оптимизации электропотребления обеспечивает обработку информации из СУ и данных из блока контроля технического состояния. Из СУ в блок оптимизации электропотребления передаются следующие данные: объем планового задания; минимальный и максимальный напор на входе основных насосных агрегатов; требуемый напор на устье нагнетательных скважин для выполнения планового задания; число рабочих и резервных основных насосных агрегатов. Результатом работы блока является передача в СУ информации об оптимальном составе  $n_{\text{опт}}$  и подаче каждого насосного агрегата для выполнения планового задания при минимальном удельном расходе электроэнергии. Исходя из этого определяется оптимальная частота вращения электродвигателей регулируемых насосных агрегатов.

Предлагаемая система оптимального управления является адаптивной, что в условиях изменяющихся технологических параметров и при различных характеристиках промышленного оборудования позволяет решить проблему несоответствия режимов работы насосных агрегатов и технологической системы, а также требований технологии заводнения к объемам планового задания.

Представленные решения по оптимизации управления насосными агрегатами технологической системы ППД предполагают применение полупроводниковых преоб-

разователей частоты, стоимость которых (особенно высоковольтных) остается достаточно высокой. Однако на фоне прогрессирующего роста тарифов на электроэнергию, увеличения обводненности добываемой продукции и больших объемов закачиваемой в пласт воды можно говорить о перспективности данного направления.

Таким образом, предлагаемые решения позволяют при широком разнообразии условий разработки нефтяных месторождений и применяемого технологического оборудования:

- повысить гибкость управления режимами работы насосных агрегатов технологической системы;
- снизить уровень непроизводительных потерь электроэнергии в насосных агрегатах технологической системы;
- повысить эффективность эксплуатации нефтепромыслового оборудования при реализации предложенных подходов к управлению насосными агрегатами с использованием разработанной системы управления на основе средств технологической автоматики.

### Список литературы

1. Современное состояние проблемы энергосбережения на нефтяных промыслах Тюменской области/И.А. Ниссенбаум, Р.А. Кудряшов, Ю.Б. Новоселов, В.П. Фрайштетер//Энергетика Тюменского региона. – 2000. – № 3. – С. 2–9.
2. Фрайштетер В.П., Ниссенбаум И.А., Велиев М.К. Повышение технологической и энергетической эффективности кустовых насосных станций системы поддержания пластового давления//Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 3. – С. 86–88.
3. Сушков В.В., Велиев М.К. Энергосберегающее управление многомашинным комплексом системы поддержания пластового давления нефтяных месторождений//Промышленная энергетика. – 2013. – № 1. – С. 2–5.
4. Пат. 2493361 РФ, МПК E21B43/20 Способ управления многомашинным комплексом системы поддержания пластового давления/М.К. Велиев, В.В. Сушков; заявитель и патентообладатель Тюменский гос. нефтегазовый университет. – № 2012107206/03; заявл. 27.02.12; опубл. 20.09.13.
5. Сушков В.В., Велиев М.К. Методика определения оптимального состава работающих насосных агрегатов кустовых насосных станций//Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 12. – С. 125–127.
6. Пат. 119474 РФ, МПК G05B13/00 Система оптимального управления кустовой насосной станцией/Велиев М.К., Сушков В.В.; заявитель и патентообладатель Тюменский гос. нефтегазовый университет. – № 2012108919/08; заявл. 07.03.12; опубл. 20.08.12.

### References

1. Nissenbaum I.A., Kudryashov R.A., Novoselov Yu.B., Fraysteter V.P., *Energetika Tyumenskogo regiona*, 2000, no. 3, pp. 2–9.
2. Fraysteter V.P., Nissenbaum I.A., Veliev M.K., *Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry*, 2013, no. 3, pp. 86–88.
3. Sushkov V.V., Veliev M.K., *Promyshlennaya energetika*, 2013, no. 1, pp. 2–5.
4. Patent no. 2493361 RF, MPK E21B43/20, *Method for controlling multichannel complex of reservoir pressure maintenance system*, Inventors: Veliev M.K., Sushkov V.V.
5. Sushkov V.V., Veliev M.K., *Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry*, 2013, no. 12, pp. 125–127.
6. Utility patent no. 119474 RF, MPK G05B13/00, *System of optimal control cluster pump station*, Inventors: Veliev M.K., Sushkov V.V.