

УДК 621.31; 681.3

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ ПО
НЕФТЕПРОВОДАМ ПРИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**

**PROBLEMS STRUCTURE-PARAMETRIC OPTIMIZATION OF
OIL PIPELINES BY FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC
DRIVE**

Шабанов В.А., Шарипова С.Ф., Рябишина Л.А.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация

V.A. Shabanov, S.F. Sharipova, L.A. Ryabishina,

FSBEI of HPE “Ufa State Petroleum Technological University”,

Ufa, the Russian Federation

e-mail: ShabanovVA1@yandex.ru

Аннотация. В последние годы большое внимание уделяется разработке частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) для магистральных насосов трубопроводного транспорта нефти. Одной из наиболее важных проблем, которую необходимо решить, при оптимизации технологического процесса перекачки с использованием ЧРЭП, является выбор числа насосов, преобразователей частоты и скорости вращения электродвигателей. В статье рассматриваются задачи и критерии оптимизации перекачки нефти по нефтепроводам при частотно-регулируемом электроприводе магистральных насосов.

Для привода магистральных насосов на нефтеперекачивающих станциях используются высоковольтные электродвигатели. Каждый из электродвигателей вместе с насосом может быть включен или выключен, причем каждый электродвигатель может получать питание от сети напрямую или от преобразователя частоты. При этом возможно множество структур как каждой из нефтеперекачивающих станций, так и технологического участка в целом, отличающихся числом и сочетанием включенных насосов, электродвигателей и преобразователей частоты.

При современной системе перекачки «из насоса в насос» режимы работы всех насосов технологического участка взаимосвязаны. Изменение режима одного из магистральных насосов изменяет режим перекачки всего технологического участка, а, следовательно, и режимы всех других насосов. При этом режимы работы всех насосов, электродвигателей и преобразователей частоты всех нефтеперекачивающих станций технологического участка взаимосвязаны. Поэтому при оптимизации процесса перекачки электродвигатели, преобразователи частоты и магистральные насосы технологического участка следует рассматривать как компоненты единого технологического процесса. Таким образом, взаимосвязанными являются как состав компонент технологического участка, так и режимы их работы. Поэтому для оптимизации перекачки нефти целесообразно использовать структурно-параметрическую оптимизацию, которая представляет собой комбинацию структурной и параметрической оптимизаций. Структурная оптимизация при использовании ЧРЭП – это определение оптимального числа и сочетания включенных регулируемых и нерегулируемых насосов. Параметрическая

оптимизация при использовании частотного регулирования заключается в выборе оптимальных скоростей вращения каждого из магистральных насосов.

Все критерии оптимизации режимов работы трубопровода при использовании ЧРЭП предложено разделить на три группы:

- энергетические критерии, назначение которых – снижение энергозатрат на перекачку;
- технологические критерии, назначение которых оптимизация технологических параметров;
- эксплуатационные критерии, назначение которых – снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт объектов магистрального трубопровода.

Предложена блок-схема структурно-параметрической оптимизации технологического процесса перекачки с двумя контурами оптимизации. В контурах структурной и параметрической оптимизаций могут использоваться как одинаковые, так и разные критерии оптимизации. Предложены принципы выбора критериев оптимизации.

Abstract. In recent years, much attention is paid to the development of variable frequency drive (frequency-adjustable electric drive) for pumps of pipeline transport of oil. One of the most important problems that must be addressed during the optimization of the technological process of pumping using frequency-adjustable electric drive is the choice of the number of pumps, frequency converters and electric motors rotation speed. In the article the objectives and criteria of optimization of pumping oil by pipeline with frequency-regulated drive the pumps are discussed.

For drives of main pump for pumping stations are used high-voltage electric motors. Each motor together with the pump can be switched on or off, and each motor can be powered directly from the network or from the frequency converter. While there are many possible structures as each of pump stations and technological area as a whole, with different number and combination included pumps, motors and frequency converters.

In the modern system of pumping out «from the pump in the pump» mode all pumps technological area of interrelated. Changing the mode of one of the pumps changes the mode of pumping technological area, and, consequently, regimes of all other pumps. The modes of operation of all the pumps, motors and frequency converters of all pump stations technological area are interrelated. Therefore, when optimizing the process of pumping motors, frequency converters and pumps should be regarded as components of a single process. Thus, related how the composition of a component technological area and modes of their work. Therefore optimization of pumping oil is advisable to use structural-parametric optimization, which is a combination of structural and parametric optimization. Structural optimization using frequency-adjustable electric drive is the determination of the optimal number and combination included in regulated and non-regulated pumps. Parametric optimization when using a frequency regulation lies in selecting the optimal speed of rotation of each of the pumps.

All criteria of optimization of modes pipeline using frequency-adjustable electric drive proposed to divide into three groups: energy criteria, the purpose of which - reduction of energy costs for pumping, technological criteria, the purpose of which is the optimization of technological parameters and to increase reliability, and operational criteria, which purpose is to reduce the cost of maintenance and repair of

objects of the main pipeline. A block diagram of the structural and parametric optimization of the technological process of pumping with two contours optimization is offered. In the contours of the structural and parametric optimization the same or different criteria optimization can be used. The principles of selection criteria optimization are proposed.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, магистральный насос, нефтеперекачивающая станция; структурно-параметрическая оптимизация, критерии оптимизации.

Key words: frequency-adjustable electric drive, main pump, oil pumping station, structural and parametric optimization; criteria for optimizing.

В последние годы большое внимание уделяется разработке частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) для магистральных насосов трубопроводного транспорта нефти [1, 2, 3]. Одной из наиболее важных проблем, которую необходимо решить при проектировании технологического процесса перекачки (ТПП) с использованием таких электроприводов, является выбор числа и параметров ЧРЭП [4, 5]. Такая задача носит оптимизационный характер. В статье рассматриваются задачи и критерии структурно-параметрической оптимизации перекачки нефти по нефтепроводам при ЧРЭП магистральных насосов.

Перекачка нефти по магистральным нефтепроводам представляет собой сложный технологический процесс, в котором участвуют сотни магистральных насосов [6, 7]. Для повышения надежности весь магистральный трубопровод делят на технологические участки, отделенные друг от друга резервуарами. В

технологический участок входят до шести нефтеперекачивающих станций (НПС). Все НПС технологического участка соединяются последовательно (рисунок 1).

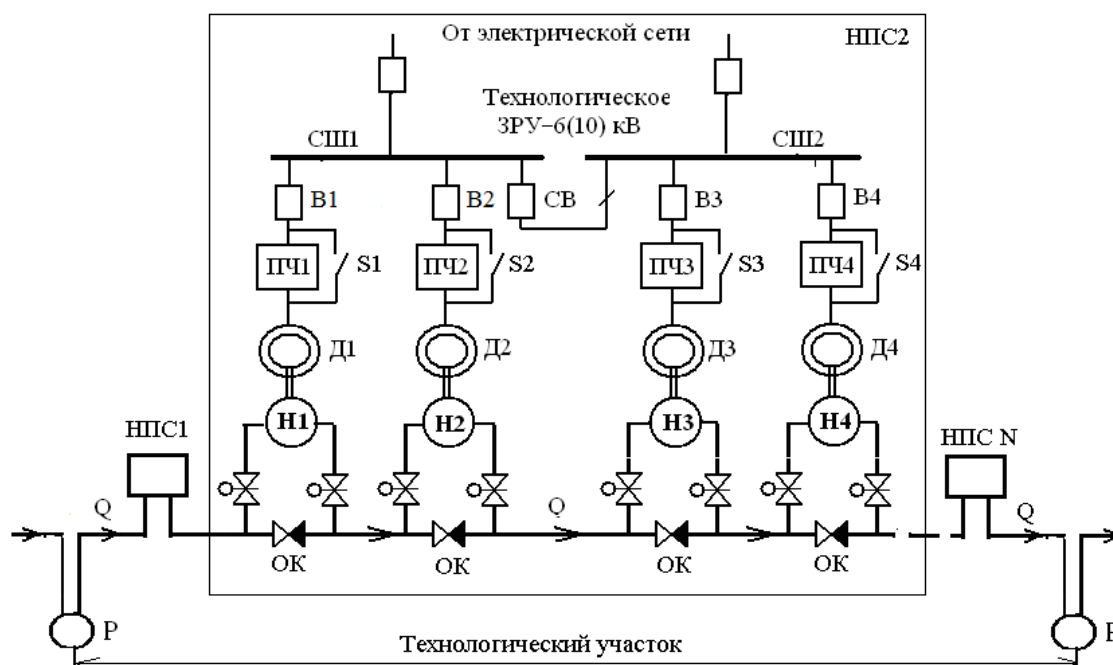


Рисунок 1. Структурная схема технологического участка и НПС, совмещенная со схемой электроснабжения

На каждой НПС обычно устанавливаются четыре насосных агрегата. Часть из них (не более трех) являются рабочими, а часть — резервными. Структурная схема НПС (на примере НПС 2), совмещенная со схемой ее электроснабжения и схемой прохождения нефти, показана на рисунке 1. Жидкость с выхода первого по потоку насоса Н1 поступает на прием второго насоса Н2 и т. д. При этом все насосы работают с одной подачей Q . Обратный клапан ОК, разделяющий и всасывающий, и напорные патрубки насоса пропускают жидкость в одном направлении, указанном на рисунке 1 стрелкой.

Для привода магистральных насосов на НПС используются высоковольтные электродвигатели мощностью до 8000 кВт. При ЧРЭП, в общем случае, каждый электродвигатель (Д1-Д4 на рисунке 1) подключается к секциям шин СШ1 и СШ2 технологического закрытого распределительного устройства через преобразователь частоты (ПЧ). Каждый из электродвигателей может быть включен или выключен с помощью выключателей В1-В4. Каждый из преобразователей частоты может быть выключен от своей системы управления. В этом случае двигатели получают питание от сети через разъединители S1- S4.

В пределах одного технологического участка применяется система перекачки «из насоса в насос». При такой системе перекачки режимы работы всех насосов технологического участка взаимосвязаны, причем все станции технологического участка должны вести перекачку с одинаковыми расходами. Изменение режима одного из магистральных насосов изменяет режим перекачки всего технологического участка, а, следовательно, и режимы всех других насосов.

Так как режимы работы всех насосов взаимосвязаны, то взаимосвязанными оказываются также режимы электродвигателей и преобразователей частоты всех НПС технологического участка. Таким образом, при оптимизации ТПП электродвигатели, преобразователи частоты и магистральные насосы технологического участка следует рассматривать как компоненты единого технологического процесса, образующие структуру технологического участка. Причем взаимосвязанными являются как состав компонент ТПП, так и режимы их работы. В зависимости от положения выключателей В1-В4 и разъединителей S1-S4 возможно несколько

структур каждой из НПС, отличающихся сочетанием включенных насосов, электродвигателей и преобразователей частоты.

При отсутствии ЧРЭП оптимизация ТПП заключается в выборе числа и технических характеристик магистральных насосов каждой из НПС, проводится она для каждого из режимов перекачки. Критерием выбора, обычно, является минимум затрат электроэнергии на перекачку. Такая оптимизация является структурной, при которой выбирается оптимальная структура ТПП. Структурная оптимизация ТПП выполняется в два этапа. На первом этапе выполняется предварительный структурный синтез, например, на основе ограничений, накладываемых на параметры технологического режима. При этом структурный синтез ТПП на первом этапе - это процесс формирования технически допустимых структур с отсевом недопустимых и определение множества возможных (конкурирующих) структур. На втором этапе из множества возможных структур методом последовательного перебора вариантов выбирается рациональная структура с минимальным значением целевой функции.

При использовании ЧРЭП необходимо найти как оптимальную структуру ТПП (требуемое число включенных насосов на каждой из НПС, технические параметры насосов и электродвигателей, число включенных ПЧ на каждой из НПС и т.д.), так и параметры элементов, составляющих эту структуру (скорости вращения насосов и электродвигателей). Это означает, что для ТПП с ЧРЭП целесообразно использовать структурно-параметрическую оптимизацию, которая представляет собой комбинацию структурной и параметрической оптимизаций [8]. Структурная оптимизация при использовании ЧРЭП – это определение оптимального числа и

сочетания включенных регулируемых и нерегулируемых насосов на каждой из НПС технологического участка. Параметрическая оптимизация ТПП при использовании частотного регулирования заключается в расчете оптимальных скоростей вращения каждого из магистральных насосов. Таким образом, при структурно-параметрической оптимизации неизвестными являются как структура ТПП, так и параметры компонентов и процесса. При этом поиск осуществляется в пространстве параметров и структур.

Разные структуры ТПП, вследствие различий в количестве и технических характеристиках, применяемых магистральных насосов, резервуарных парков и т.д., имеют различные выходные показатели (производительность трубопровода, напоры и загрузку магистральных насосов и электродвигателей, расход электроэнергии на перекачку, остаточный ресурс, расходы на техобслуживание и ремонт и др.). При этом для решения задачи структурного синтеза необходимо знать оценки качества ТПП, которые, можно получить только на основе параметрической оптимизации. С другой стороны, задача параметрической оптимизации может быть решена только для заданной структуры. Таким образом, задачу структурного синтеза и параметрической оптимизации следует рассматривать как единый процесс структурно-параметрической оптимизации.

Простейший алгоритм структурно-параметрической оптимизации представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. Однокритериальная структурно-параметрическая оптимизация с последовательным перебором всех возможных структур

В блоке «ввод исходных данных» в компьютерную модель вводятся исходные данные множества возможных структур технологического участка. Для каждой структуры выполняется параметрическая оптимизация, в процессе которой определяются значения скоростей вращения регулируемых магистральных насосов, при которых целевая функция достигает экстремума. Параметрическая оптимизация выполняется последовательно для всех структур. В результате расчетов создается база данных по значениям целевой функции всех возможных структур. Оптимальная структура выбирается по наименьшему значению той же целевой функции.

При проведении оптимизации важнейшим вопросом является выбор целевых функций. Целевая функция формализует требования,

предъявляемые к ТПП. При структурной оптимизации ТПП используется, как правило, однокритериальная оптимизация. Оптимизационный алгоритм ищет при этом экстремум одной целевой функции. Наибольшее распространение при структурной оптимизации ТПП получил метод перебора возможных вариантов [1]. При этом задача оптимизации ТПП представляет собой задачу минимизации целевой функции $f(x)$ в общем случае N -мерного векторного аргумента $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, компоненты которого удовлетворяют системе уравнений $h_k(x) = 0$, набору неравенств $g_j(x) \geq 0$, а также ограничены сверху и снизу. Уравнения $h_k(x) = 0$ называют ограничениями в виде равенств, а неравенства $g_j(x) \geq 0$ – ограничениями в виде неравенств [9]. Критерий оптимальности позволяет определить, является ли данное решение оптимальным.

Все критерии оптимизации режимов работы ТПП можно разделить на три группы. Первая группа включает в себя энергетические критерии, назначение которых – снижение энергозатрат на перекачку [10]. Оптимизационные задачи с энергетическими критериями сводятся к однокритериальным задачам вида:

$$F_{ЭН} = f_1(\omega_1, \omega_2; \dots \omega_n) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $F_{ЭН}$ – целевая функция критериев первой группы; $\omega_1, \omega_2; \dots \omega_n$ – угловые скорости вращения магистральных насосов.

Известен и применяется ряд различных энергетических критериев оптимальности, используемых для оптимизации как ТПП в целом, так и при решении отдельных частных технологических задач перекачки. Наиболее часто используются следующие энергетические критерии:

- минимум мощности или электроэнергии, потребляемой всеми магистральными насосами технологического участка из электрической сети;

- минимум удельного расхода электроэнергии (минимум расхода электроэнергии, израсходованной на перекачку одной тонны нефти или на перекачку заданного или максимально допустимого количества нефтепродукта) [11];

- максимум КПД регулирования (минимум потерь на регулирование);

- максимум КПД насосной станции [12, 13];

- максимум КПД перекачки [14].

Вторая группа критериев включает в себя технологические критерии. Назначение их – оптимизация технологических параметров и повышение надежности трубы и объектов магистрального трубопровода. К таким критериям можно, например, отнести минимум наибольшего из давлений в трубопроводе или максимум разности между фактическим и предельно допустимым давлением. Оптимизационные задачи с технологическими критериями можно записать в виде:

$$F_T = f_2(\omega_1, \omega_2; \dots \omega_n) \rightarrow \min (\max), \quad (2)$$

где F_T – целевая функция критериев второй группы.

Третья группа критериев включает в себя эксплуатационные критерии и критерии ресурса оборудования (снижение циклов нагружения, увеличение остаточного ресурса оборудования) при часто изменяющихся режимах работы нефтепровода. Назначение их – снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт объектов магистрального трубопровода. Оптимизационные задачи с критериями надежности можно записать в виде:

$$F_H = f_3(\omega_1, \omega_1; \dots \omega_n) = f_a + f_{\text{обс}} + f_{\text{рем}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где f_a , $f_{\text{обс}}$ и $f_{\text{рем}}$ – целевые функции (затраты) на амортизацию, техническое обслуживание и ремонт объектов магистрального трубопровода

Вторая и третья группы критериев пока мало исследована. Первые две группы критериев применимы как к отдельно взятому режиму перекачки, так и к их совокупности (последовательности) за некоторый промежуток времени, например, за год. Критерии третьей группы применимы только к последовательности режимов.

Критерии разных групп можно объединить в один обобщенный критерий [15, 16]. Например, при объединении критериев первой и третьей групп возможен обобщенный критерий оптимизации ТПП вида:

$$\text{Minf} = \min[f_1(j) + f_{\text{рем}}(j)], \quad (4)$$

где j – возможные варианты режима работы нефтепровода; $f_1(j)$ – затраты на электроэнергию (целевая функция первой группы); $f_{\text{рем}}(j)$ – затраты на ремонт объектов магистрального трубопровода (целевая функция третьей группы).

Технологический процесс перекачки, оптимальный по одному критерию, может быть не оптимальным по другому критерию. Например, минимум расхода электроэнергии может не соответствовать минимуму эксплуатационных расходов. Структурно-параметрическая оптимизация позволяет использовать одновременно два критерия: один для параметрической оптимизации и второй для структурной. Технологический процесс является оптимальным, если он обеспечивает экстремум обеих целевых функций (или значения функций близких к экстремуму) при выполнении системы

ограничений, отражающих условия протекания ТПП и требования, предъявляемые к нему.

Блок-схема структурно-параметрической оптимизации ТПП с отдельными целевыми функциями (критериями) при структурной и параметрической оптимизациях, приведена на рисунке 3.

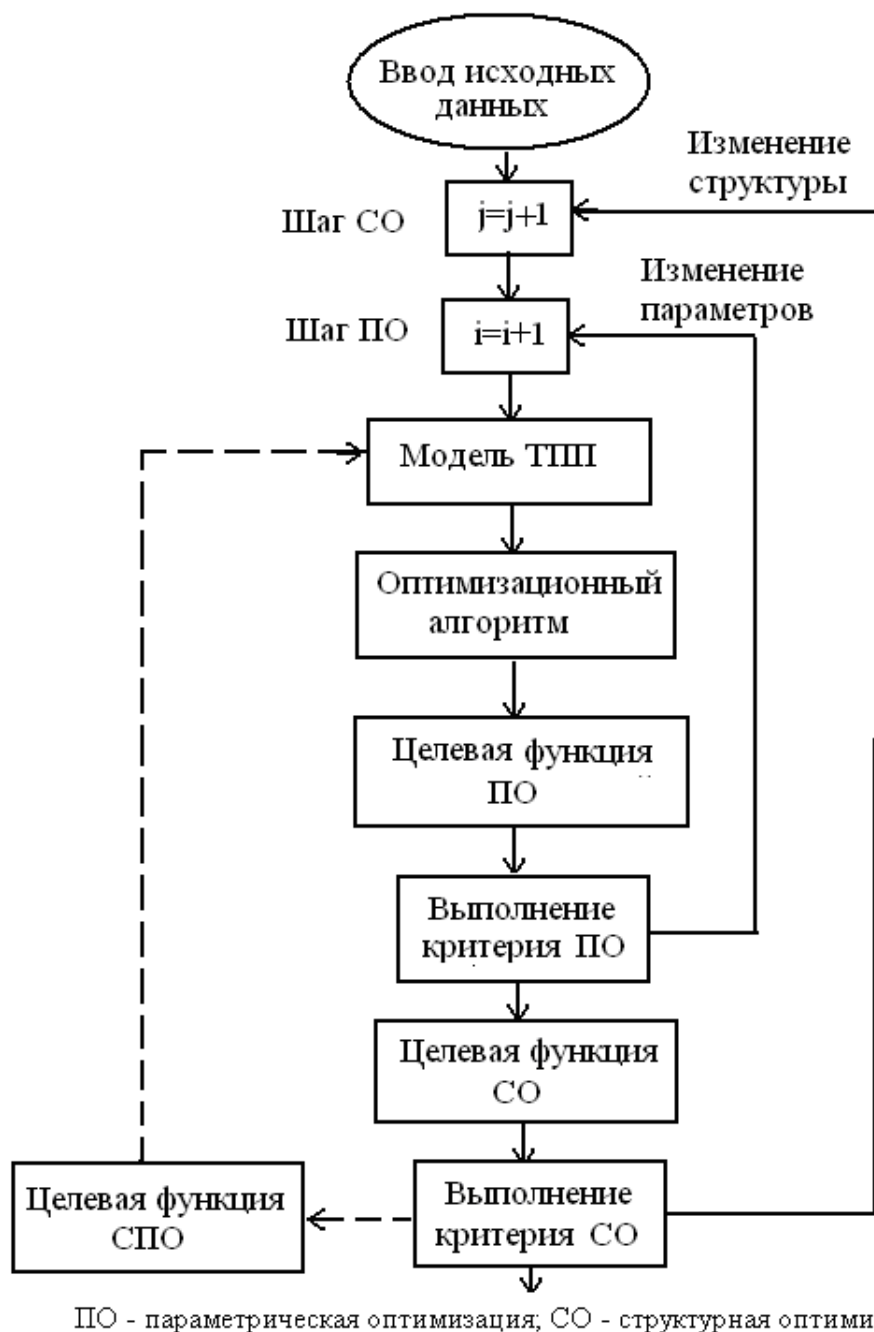


Рисунок 3. Схема структурно-параметрической оптимизации ТПП

Схема содержит два циклических контура: контур параметрической оптимизации (ПО) с изменением параметров ТПП и контур структурной оптимизации (СО) с изменением структуры технологического участка. В контурах структурной и параметрической оптимизации могут использоваться как одинаковые, так и разные критерии оптимизации. Пунктиром показан контур, в котором может использоваться обобщенный критерий структурно-параметрической оптимизации (СПО). В этом случае целевая функция должна определять возможность реализации требуемого режима перекачки при минимальном числе частотно-регулируемых электроприводов.

Структурно-параметрическая оптимизация по схеме, представленной на рисунке 3, выполняется в несколько этапов. На первом этапе, как и при отсутствии ЧРЭП, выполняется предварительный структурный синтез, например, на основе ограничений, накладываемых на параметры технологического режима. При этом структурный синтез ТПП на первом этапе - это процесс формирования множества возможных структур (множество №1). На втором этапе выполняется параметрическая оптимизация. На этом этапе: для каждой из возможных структур множества №1, путем использования параметрической оптимизации, определяется значение первой целевой функции и выбирается несколько структур с параметрами, близкими к оптимальным (множество №2). На третьем этапе выполняется структурная оптимизация. На этом этапе из множества №2 путем использования целевой функции структурной оптимизации выбирается оптимальная структура ТПП.

Выбор критериев структурно-параметрической оптимизации во многом зависит от структуры технологического участка и метода

регулирования режимов перекачки до установки ЧРЭП. В контуре структурной оптимизации целесообразно использование энергетических критериев. В то же время на этапе параметрической оптимизации энергетические критерии могут быть не эффективными. Так исследования, выполненные с использованием энергетических критериев (1), показали, что снижение расхода электроэнергии на перекачку при ЧРЭП может быть существенным только за счет исключения дросселирования [14, 17]. Поэтому, если структура нефтепровода содержит дросселирующие задвижки, то целесообразно использовать энергетические критерии. Если же регулирование режимов выполняется путем циклической перекачки, то применение энергетических критериев для параметрической оптимизации и обоснования эффективности ЧРЭП будет малоэффективным. Обусловлено это тем, что энергетический эффект от использования ЧРЭП взамен циклической перекачки обеспечивается только за счет повышения КПД магистральных насосов и электродвигателей. Однако экономия электроэнергии при этом в значительной мере нивелируется дополнительными потерями в преобразователе частоты. В этих случаях эффективнее использование критериев второй или третьей группы, например, минимума циклов изменения давления (циклов нагружения), максимума остаточного ресурса (максимума межремонтного периода), минимума расходов на техобслуживание и ремонт. Обусловлено это тем, что при циклической перекачке нефтепровод работает с большим числом включений/отключений магистральных насосов. Изменение давлений в трубопроводе при таких переключениях приводит к ускоренному развитию дефектов в технологическом оборудовании и в теле трубы, снижению остаточного ресурса и увеличению затрат на ремонт. При ЧРЭП

параметры технологических режимов перекачки изменяются плавно. Это позволяет уменьшить число переключений магистральных насосов и выполнять оптимизацию по критериям надежности трубопровода и снижения эксплуатационных расходов.

Выводы

1 При оптимизации ТПП с использованием ЧРЭП магистральных насосов необходимо найти как оптимальную структуру технологического участка, так и параметры компонентов (скорости вращения магистральных насосов), составляющих эту структуру. Это означает, что для оптимизации ТПП при использовании ЧРЭП необходимо использовать структурно-параметрическую оптимизацию, которая представляет собой комбинацию структурной и параметрической оптимизаций.

2 Все критерии оптимизации режимов работы ТПП при использовании ЧРЭП предложено разделить на три группы: энергетические критерии, назначение которых – снижение энергозатрат на перекачку, технологические критерии, назначение которых оптимизация технологических параметров и повышение надежности ТПП, и эксплуатационные критерии, назначение которых – снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт объектов магистрального трубопровода. Возможно также использование обобщенных (комбинированных) критериев.

3 Предложена блок-схема структурно-параметрической оптимизации ТПП с двумя контурами оптимизации. В контурах структурной и параметрической оптимизаций могут использоваться

как одинаковые, так и разные критерии оптимизации. Предложены принципы выбора критериев оптимизации.

¹*При подготовке статьи использованы результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по комплексному проекту «Разработка и организация серийного производства мощных высоковольтных частотно-регулируемых приводов (ВЧРП)» (договор №13.G25.31.0060).*

Список используемых источников

1 Гумеров А.Г., Гумеров Р.М., Акбердин А.С. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций. М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2001. 475 с.

2 Сокол Е.И., Бару А.Ю., Лукпанов Ш.К. Опыт разработки и внедрения преобразователей частоты для регулируемого электропривода насосных агрегатов МН // Электротехника. 2004. №7. С. 52-57.

3 Шабанов В.А., Кабаргина О.В. Достоинства и перспективы использования частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на НПС // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2011. Т. 2. С. 63-66.

4 Туманский А.П. Оптимизация режимов перекачки по магистральным трубопроводам с перекачивающими станциями, оборудованными частотно-регулируемым приводом // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2005. №8. С. 11-14.

5 Шабанов В.А., Кабаргина О.В., Павлова З.Х. Оценка эффективности частотного регулирования магистральных насосов по

эквивалентному коэффициенту полезного действия//Нефтегазовое дело: Электрон. науч. журн. 2011. №6. С.24-29. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_8.pdf

6 Зайцев Л.А., Ясинский Г.С. Регулирование режимов магистральных нефтепроводов. М.: Недра, 1980. 187 с.

7 Нечваль А.М. Основные задачи при проектировании и эксплуатации магистральных нефтепроводов. Уфа: изд-во УГНТУ, 2005. С. 81.

8 Акимов С.В. Компьютерные модели для автоматизированного структурно-параметрического синтеза //Компьютерное моделирование 2004: Тр. 5-й междунар. конф. СПб.: «Нестор», 2004. Ч. 1 С. 191-197.

9 Реклейтис Г., Рейвиндран, А., Рэгсдел, К. Оптимизация в технике. М.: Мир, 1986. С. 49 – 58, 109 – 132.

10 Шабанов В.А., Бондаренко О.В. Целевые функции и критерии оптимизации перекачки нефти по нефтепроводам при частотно-регулируемом электроприводе магистральных насосов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн., 2012. №4. С.10-17. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_12.pdf.

11 Шилин Ю.И., Мороз П.А. К постановке задачи об оптимальном управлении магистральным нефтепроводом, работающем в режиме "из насоса в насос" // "Нефтяное хозяйство" М.: Недра, 1966. №1. С. 63-66.

12 Бобровский С.А. Оценка эффективности регулирования работы насосных станций трубопроводов // НТС. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М.: ВНИИОЭНГ, 1965. №6. С. 19-22.

13 Об основных факторах эффективности применения на

магистральных нефтепроводах насосного агрегата с регулируемым электроприводом/ Русов Е.В. и др. // РНТС Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М.: ВНИИОЭНГ, 1978. №10. С. 23-26.

14 Шабанов В.А., Кабаргина О.В., Павлова З.Х. Оценка эффективности частотного регулирования магистральных насосов по эквивалентному коэффициенту полезного действия // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2011. №.6. С. 24-29. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_8.pdf

15 Гумеров А.Г., Борисов К.А., Козловский А.Ю. Внедрение энергосберегающих технологий в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов// Нефтяное хозяйство. 2007. № 3. С. 85-88.

16 Щербань А.И., Борисов К.А., Ахиярдинов Э.М. К вопросу разработки технологии транспорта нефтепродуктов на основе регулирования частоты вращения перекачивающих насосных агрегатов//Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2007. № 6. С. 7-10.

17 Шабанов В.А., Хакимов Э.Ф., Шарипова С.Ф. Анализ коэффициента полезного действия магистральных насосов эксплуатируемых нефтепроводов при использовании частотно регулируемого электропривода в функции регуляторов давления // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2013. №1. С. 324-333. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_16.pdf

References

1 Gumerov A.G., Gumerov R.M., Akberdin A.S. Ekspluatatsiya oborudovaniya nefteperekachivayushih stancii. M.: OOO «Nedra — Biznescentr», 2001. 475 s. [in russian].

2 Sokol E.I., Baru A.Yu., Lukpanov Sh.K. Opyt razrabotki i vnedreniya preobrazovatelei chastoty dlya reguliruemogo elektroprivoda nasosnyh agregatov MN // Elektrotehnika. 2004. №7. S. 52-57 [in russian].

3 Shabanov V.A., Kabargina O.V. Dostoinstva i perspektivy ispol'zovaniya chastotno-reguliruemogo elektroprivoda magistral'nyh nasosov na NPS // Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse. 2011. T. 2. S. 63-66 [in russian].

4 Tumanskii A.P. Optimizatsiya rezhimov perekachki po magistral'nyh truboprovodam s perekachivayushimi stanciyami, oborudovannymi chastotno-reguliruemym privodom // Transport i hranenie nefteproduktov. 2005. №8. S. 11-14 [in russian].

5 Shabanov V.A., Kabargina O.V., Pavlova Z.H. Ocenka effektivnosti chastotnogo regulirovaniya magistral'nyh nasosov po ekvivalentnomu koefficientu poleznogo deistviya//Neftegazovoe delo: Elektron. nauch. zhurn. 2011. №6. S.24-29. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_8.pdf [in russian].

6 Zaicev L.A., Yasinskii G.S. Regulirovanie rezhimov magistral'nyh nefteprovodov. M.: Nedra, 1980. 187 s. [in russian].

7 Nechval' A.M. Osnovnye zadachi pri proektirovanii i ekspluatatsii magistral'nyh nefteprovodov. Ufa: izd-vo UGNTU, 2005. C. 81 [in russian].

8 Akimov S.V. Komp'yuternye modeli dlya avtomatizirovannogo strukturno-parametricheskogo sinteza //Komp'yuterno modelirovanie

2004: Tr. 5-i mezhdunar. konf. SPb.: «Nestor», 2004, Ch. 1 S. 191-197 [in russian].

9 Rekleitis G., Reivindran, A., Regsdel, K. Optimizaciya v tehnike. M.: Mir, 1986. S. 49 - 58, 109 - 132 [in russian].

10 Shabanov V.A., Bondarenko O.V. Celevye funkicii i kriterii optimizacii perekachki nefiti po nefteprovodam pri chastotno-reguliruemom elektroprivode magistral'nyh nasosov // Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn., 2012. №4. S.10-17. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_12.pdf [in russian].

11 Shilin Yu.I., Moroz P.A. K postanovke zadachi ob optimal'nom upravlenii magistral'nyim nefteprovodom, rabotayushem v rezhime "iz nasosa v nasos" // "Neftyanoe hozyaistvo" M.: Nedra, 1966. №1. S. 63-66 [in russian].

12 Bobrovskii S.A. Ocenka effektivnosti regulirovaniya raboty nasosnyh stancii truboprovodov // NTS Transport i hranenie nefiti i nefteproduktov. M.: VNIIOENG, 1965. №6. S. 19-22 [in russian].

13 Ob osnovnyh faktorah effektivnosti primeneniya na magistral'nyh nefteprovodah nasosnogo agregata s reguliruemym elektroprivodom/ Rusov E.V. i dr. // RNTS Transport i hranenie nefiti i nefteproduktov. M.: VNIIOENG, 1978 №10. S. 23-26 [in russian].

14 Shabanov V.A., Kabargina O.V., Pavlova Z.H. Ocenka effektivnosti chastotnogo regulirovaniya magistral'nyh nasosov po ekvivalentnomu koefficientu poleznogo deistviya // Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. 2011. №6. S. 24-29. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_8.pdf [in russian].

15 Gumerov A.G., Borisov K.A., Kozlovskii A.Yu. Vnedrenie energosberegayushih tehnologii v truboprovodnom transporte nefiti i nefteproduktov// Neftyanoe hozyaistvo. 2007. №3. S. 85-88 [in russian].

16 Sherban' A.I., Borisov K.A., Ahiyartdinov E.M. K voprosu razrabotki tehnologii transporta nefteproduktov na osnove regulirovaniya chastoty vrasheniya perekachivayushih nasosnyh agregatov//Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. 2007. № 6. S. 7-10 [in russian].

17 Shabanov V.A., Hakimov E.F., Sharipova S.F. Analiz koefficienta poleznogo deistviya magistral'nyh nasosov ekspluatiruemyh nefteprovodov pri ispol'zovanii chastotno reguliruemogo elektroprivoda v funkcii regulyatorov davleniya // Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. 2013. №1. S. 324-333. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_16.pdf [in russian].

Сведения об авторах

Information about authors

Шабанов В. А., канд. техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВПО УГНТУ, Уфа, Российская Федерация

V.A. Shabanov, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair “Electrical Engineering and Electrical Equipment Enterprises” FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: ShabanovVA1@yandex.ru

Шарипова С.Ф., аспирант кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

S.F. Sharipova, Post-graduate Student, of the Chair of “Electrical Engineering and Electrical Equipment Enterprises”, FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: SharipovaSveta@yandex.ru

Рябишина Л.А., канд. техн. наук, старший преподаватель
кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий»,
ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

L.A. Ryabishina, Candidate of Technical Sciences, of the Chair of
“Electrical Engineering and Electrical Equipment Enterprises”, FSBEI of
HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: Eep-Ugntu@yandex.ru