



Инженерный центр  
«Автоматизация  
ресурсосберегающих  
технологий»  
[www.ic-art.ru](http://www.ic-art.ru)

*Публикации специалистов  
Инженерного центра «АРТ»*

## Параллельная работа насосных агрегатов при использовании технологии частотного регулирования

*Сербин Юрий Владимирович, д.т.н., Прокопов Анатолий Афанасьевич, к.т.н., Бугров Владимир Павлович, к.т.н.*

Опубликовано в издании  
“ТЕПЛОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”,  
информационный бюллетень № 2 (47) 2007, специальный выпуск  
“Системы частотного регулирования на объектах городского хозяйства и промышленности”

Офис Инженерного центра «АРТ»

195196, г. Санкт-Петербург, Таллинская ул., д. 7, литер «А»

Офисный центр «К12». Офис 2-Н

+7 (812) 445-24-22; 445-24-76; 445-23-47

e-mail: [office@ic-art.ru](mailto:office@ic-art.ru)

[www.ic-art.ru](http://www.ic-art.ru)



YouTube Канал «Инженерный центр «АРТ»

# ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Сербин Юрий Владимирович, д.т.н., Прокопов Анатолий Афанасьевич, к.т.н.,  
**Бугров Владимир Павлович**, к.т.н.

Необходимость исследования параллельной работы насосных агрегатов (НА) при использовании технологии частотного регулирования вызвана практикой применения подобных схем включения агрегатов для обеспечения переменных нагрузок инженерных систем (ИС). В предыдущих статьях [1, 2] специалисты Инженерного центра «АРТ» рассматривали особенности применения технологии частотного регулирования для случаев смешанных схем включения (параллельной работы частотно-регулируемого и нерегулируемого агрегатов) и для случаев параллельной работы двух частотно-регулируемых НА.

Опыт внедрения систем частотного регулирования на энергетических объектах, полученный за последние годы, показывает, что эта тема по-прежнему актуальна.

## ***Обеспечение гидравлических параметров ИС при параллельной работе агрегатов, подключаемых по смешанной схеме***

Потребность в параллельной работе НА, когда один из них имеет возможность изменения частоты вращения в широком диапазоне (далее частотно-регулируемый, ЧР) НА, а другие работают с неизменной скоростью (нерегулируемые, НР) НА, встречается наиболее часто. Это вызывается ограниченностью средств на приобретение ПЧ, а так же распространенным мнением о том, что «дополнительные нерегулируемые аг-

регаты будут работать в «базовом» режиме при номинальном КПД и мощности, а их включение и отключение обеспечивается стандартными макропрограммами преобразователей частоты».

При использовании смешанных схем включения это не всегда справедливо.

Работа нерегулируемых агрегатов в «базовом» режиме в ряде случаев невозможна в принципе или сопряжена с необходимостью использования дополнительных способов и средств управления. Наряду с этим, копирование зарубежного опыта из-за своеобразия технических решений и диапазонов условий функционирования отечественных насосных установок проблематично.

При наличии двух насосов (регулируемого и нерегулируемого) определенные сочетания требуемых выходных параметров – общей подачи  $Q_{общ}$  и напора  $H$ , развиваемого насосной группой, – могут быть обеспечены:

- при использовании только регулируемого нагнетателя;
  - только при параллельной работе агрегатов.
- Кроме того, некоторые выходные параметры ИС, в зависимости от сочетания  $H$ - $Q$ -характеристик регулируемого и нерегулируемого насосов, не могут быть обеспечены ни при одиночной, ни при параллельной работе агрегатов.

Основными задачами, которые необходимо решать при анализе параллельной работы регулируемого и нерегулируемого агрегатов, являются:

- определение возможности обеспечения заданной совокупности выходных параметров ИС с помощью данных нагнетателей;
- определение зон, в которых выходные параметры ИС могут быть обеспечены как одиночной работой регулируемого агрегата, так и параллельной их работой;
- расчет величин потребляемой мощности для любого сочетания заданных параметров  $Q_{общ}$  и  $H$  как для одиночной, так и для параллельной работы нагнетателей;
- выбор сочетаний параметров, при которых более целесообразна одиночная работа регулируемого нагнетателя либо их параллельная работа.

Практически возможно выполнять анализ для каждой конкретной пары агрегатов (регулируемого и нерегулируемого) и каждой совокупности сочетаний параметров  $Q_{общ}$  и  $H$ . Однако более целесообразно использовать предварительно выполненные обобщения [1], которые позволяют существенно сократить объем работ при расчетах систем частотного регулирования.

Характеристика НА для последующего анализа строилась упрощенно по формуле:

$$H = H_o - sQ^2 \quad (1).$$

Все возможные сочетания величин напоров, развиваемых частотно-регулируемым и нерегулируемым агрегатами при нулевой подаче ( $H_{po}$  и  $H_{но}$ ), и величин гидравлических сопротивлений насосов,  $s_p$  и  $s_n$  соответственно, были сведены в семь групп (табл. 1, рис. 1).

В таблице и на рисунке индексами  $n$  и  $p$  отмечены параметры нерегулируемого и частотно-регулируемого насосов, горизонтальной штриховкой отмечены области гидравлических параметров, которые может обеспечить одиночно работающий ЧР нагнетатель, вертикальной штриховкой – области параметров, обеспечиваемые совместной работой ЧР и НР нагнетателей. Для ЧР насоса приведена  $H$ - $Q$ -характеристика на номинальной частоте вращения.

Анализ показал, что для трех сочетаний из семи (№№ 1, 3, 7) на поле характеристик имеются так называемые «мертвые зоны» (не заштрихованные), параметры в которых не обеспечиваются данной группой насосов без реализации дополнительных функций управления. При попытке обеспечения нагрузок ИС в «мертвой зоне» технологический параметр не сможет быть стабилизирован на требуемом уровне (будет либо провал, либо заброс давления).

Например, для группы № 1 (см. рис. 1), когда напор ЧР насоса при нулевой подаче выше, чем у НР, а гидравлическое сопротивление

Таблица 1

№ группы	$H_{но} \text{ и } H_{po}$	$s_n \text{ и } s_p$
1	$H_{но} < H_{po}$	$s_n \ll s_p$
2	$H_{но} < H_{po}$	$s_n < s_p; s_n = s_p; s_n > s_p$
3	$H_{но} = H_{po}$	$s_n < s_p$
4	$H_{но} = H_{po}$	$s_n = s_p$
5	$H_{но} = H_{po}$	$s_n > s_p$
6	$H_{но} > H_{po}$	$s_n \gg s_p$
7	$H_{но} > H_{po}$	$s_n < s_p; s_n = s_p; s_n > s_p$

регулируемого насоса существенно больше, чем у нерегулируемого (от величины гидравлического сопротивления  $s_p$  зависит наклон характеристики  $H$ - $Q$ ), будет «мертвая зона» для параметров, находящихся между характеристиками НР и ЧР насосов правее точки «В». Параметры выше характеристики НР будут обеспечены совместной работой насосов, параметры ниже характеристики ЧР при номинальной подаче – одиночно работающим частотно-регулируемым насосом. При необходимости обеспечения параметров в «мертвой зоне» потребуются вводить дополнительное гидравлическое сопротивление в напорной линии нерегулируемого насоса.

Наибольшие затруднения при реализации параллельной работы возникают при соотношении характеристик ЧР и НР насосов в группе № 7, где характеристика ЧР насоса во всем диапазоне изменения подачи находится ниже характеристики НР агрегата.

*Примером подобной реализации частотно-регулируемого регулирования и использования стандартных макросов является одна из котельных Псковской области, на которой дополнительный нерегулируемый насосный агрегат (НА) оказался существенно переразмеренным по напору. Его подключение в качестве дополнительного на открытую напорную задвижку приводило к резкому повышению давления в системе и явилось причиной выхода из строя оборудования у потребителей.*

В наиболее общем случае при реализации параллельной работы агрегатов, подключаемых по смешанной схеме, «мертвых зон» не будет, когда  $H$ - $Q$ -характеристика ЧР насоса на всем диапазоне изменения подач оказывается выше или совпадает с характеристикой НР насосного агрегата.

С другой стороны, при реализации параллельной работы необходимо помнить о требуемой для привода нерегулируемого насоса механической мощности и соотносить ее с но-

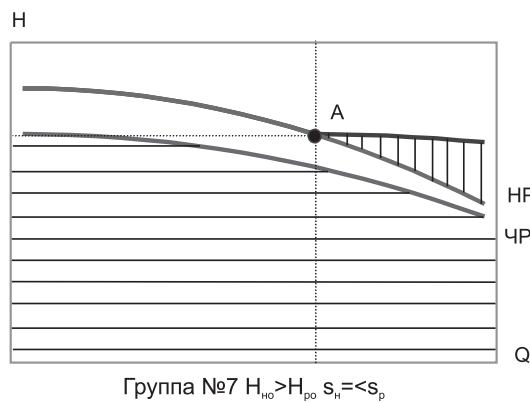
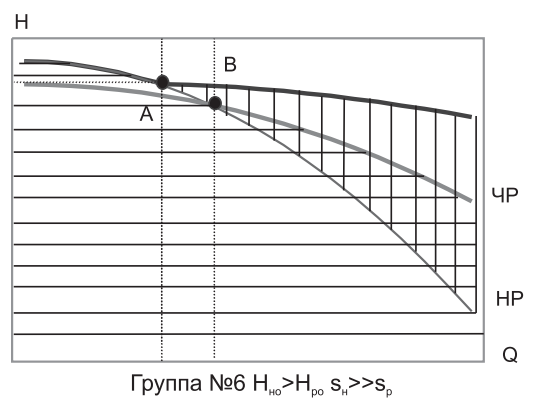
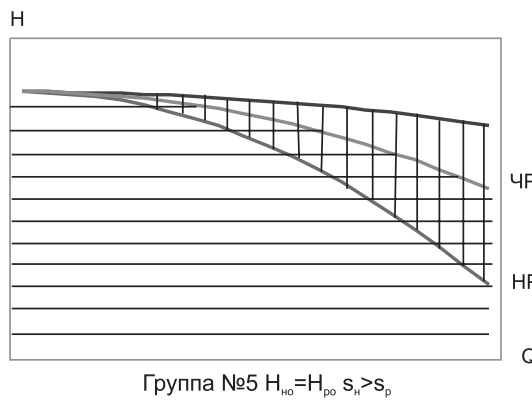
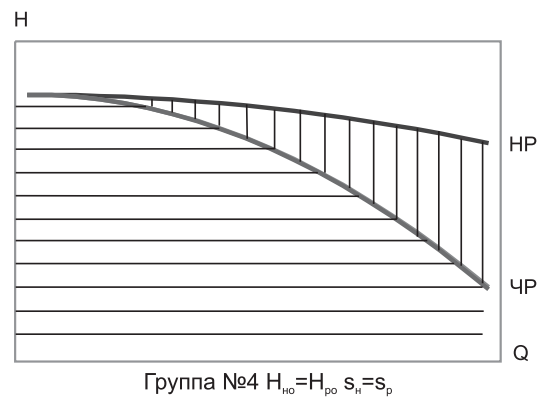
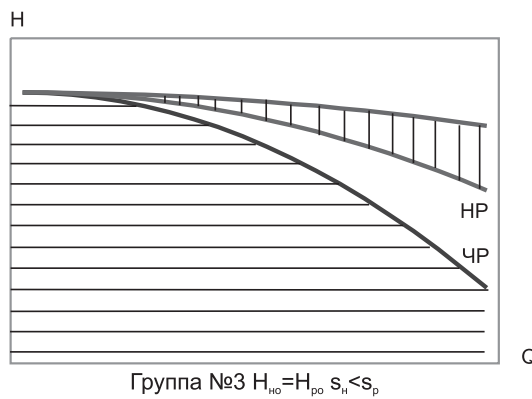
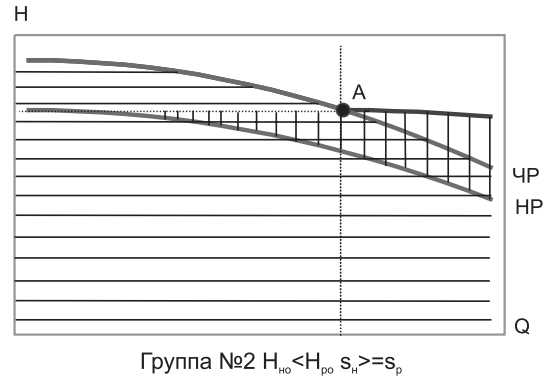
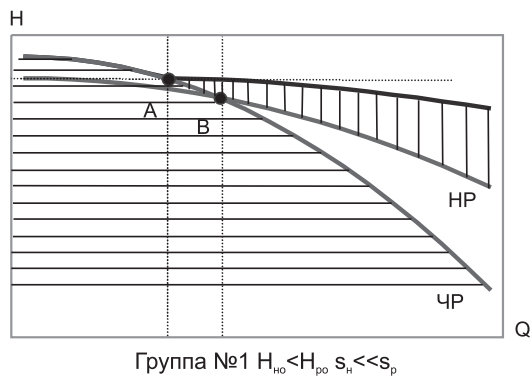


Рис.1. Обеспечение гидравлических параметров при параллельной работе нерегулируемого (HP) и частотно-регулируемого (ЧР) нагнетателей

минальной мощностью его электродвигателя. Так, нередко случаи, когда по соотношению  $H-Q$ -характеристик НР и ЧР насосы могут обеспечить технологические параметры во всем диапазоне изменения нагрузок на ИС. В то же время работа только одного НР насоса на гидравлическую сеть без дополнительных дроссельных элементов приводит к перегрузке его приводного электродвигателя.

Возможность работы НР насоса на гидравлическую сеть без перегрузки электродвигателя (ЭД) должна определяться расчетом [3] и проверяться в процессе выполнения пусконаладочных работ. В случаях невозможности работы на сеть без перегрузки ЭД после пуска НР насоса его напорная задвижка должна приоткрываться лишь на определенную величину.

Такие способы реализации технологии частотного регулирования нередки. Эффект энергосбережения, получаемый при их использовании, снижается пропорционально количеству используемых НР насосов, степени прикрытия их напорных задвижек и суммарному времени включения нерегулируемых агрегатов.

Подобный вариант применения технологии частотного регулирования реализован в г. Могилеве на ТЭЦ-1, где в течение отопительного периода в работе находится один ЧР и один НР сетевой насос типа СЭ-1250-125 с ЭД мощностью 630 кВт. За счет прикрытия напорной задвижки НР насоса совокупный экономический эффект снизился примерно на 10...15% по отношению к случаю использования такого же насоса без дополнительного дросселирования. Общий энергосберегающий эффект от применения частотного регулирования (по отношению к применению двух параллельно работающих частотно-регулируемых насосов) едва достиг 25% и составил 350 000...400 000 кВт·ч за год.

#### **Алгоритм обеспечения гидравлических параметров ИС при параллельной работе агрегатов, подключаемых по смешанной схеме**

При организации параллельной работы любых насосных агрегатов необходимо решить три основные задачи:

- определить условия, при которых должен включаться дополнительный НА;
- разработать алгоритм распределения нагрузки между параллельно работающими НА;
- определить условия, при которых дополнительный насосный агрегат целесообразно отключить.

Кроме того, управление насосной группой во всем диапазоне изменения нагрузки на ИС требует:

- обеспечения работы насосных агрегатов в любом их сочетании;
- контроля состояния насосных агрегатов и их приводов с регистрацией аварийных и предупредительных событий по каждому насосному агрегату;
- выбора приоритета и очередности включения насосных агрегатов при пуске и изменении расхода перекачиваемой жидкости;
- снижения колебаний давления при пуске и остановке дополнительных насосных агрегатов, необходимых для регулирования;
- автоматического изменения приоритета и очередности включения насосных агрегатов;
- управления работой насосных агрегатов с учетом равномерного расхода моторесурса насосных агрегатов.

Включение дополнительного НА может осуществляться с учётом различных критериев:

- по отклонению поддерживаемого технологического параметра (например, давления, уровня и др.);
- по нагрузке (току, мощности) электродвигателя основного частотно-регулируемого агрегата;
- исходя из условия минимизации текущего энергопотребления двигателями насосной установки.

При этом третье условие может рассматриваться как желательное, в то время как первые два носят обязательный характер.

Включение дополнительного НР агрегата по давлению или по нагрузке частотно-регулируемого агрегата осуществляется путем подключения его электродвигателя напрямую к питающей сети. Это выполняют макропрограммы большинства преобразователей частоты. Вместе с тем, подобные программы не обеспечивают распределения нагрузки между параллельно работающими агрегатами, не реализуют оптимизационных алгоритмов, не контролируют состояния коммутационной аппаратуры и самих нагнетателей, не решают вопросов изменения приоритета агрегатов при их отказах и не изменяют состав работающих агрегатов для выравнивания их моторесурса.

Самостоятельной задачей при автоматическом управлении параллельно работающими насосными агрегатами является определение условий, при которых целесообразно отключать дополнительный насосный агрегат. Это возможно, когда:

- основной НА в состоянии при автономной работе обеспечить необходимое выходное давление;
- нагрузка основного агрегата при отключении дополнительного не превысит допустимую.

При отключении дополнительного насосного агрегата следует принять меры против его повторного включения вследствие, например, кратковременного повышения расхода.

Специфичными могут оказаться случаи управления крупными агрегатами, когда требуется минимизировать общее количество пусков/остановок агрегатов. Так, на крупной канализационной станции при увеличении притоков подтапливался приемный коллектор, но количество работающих агрегатов типа СДВ9000/45 с электродвигателями 1600 кВт в течение суток не изменялось.

Алгоритм отключения дополнительного НА должен обеспечить:

- контроль потребляемой мощности основным ЧР НА и расчет величины мощности, потребляемой НР НА;
- вычисление значения подачи насосной установки, при которой возможна работа только основного агрегата (при существующей величине повышения давления);
- вычисление потребляемой мощности при автономной работе основного агрегата и сравнение её с текущей потребляемой мощностью.

Отключение дополнительного агрегата целесообразно выполнять при наличии одновременно трёх условий:

- частота напряжения, подаваемого на электродвигатель основного агрегата, меньше номинальной;
- ток нагрузки основного агрегата значительно меньше номинального; при отключении дополнительного агрегата ток основного агрегата не должен превысить номинального значения;
- мощность, потребляемая электродвигателями параллельно работающих агрегатов больше, чем та, которую будет потреблять основной НА при автономной работе.

Перечисленные параметры определяются расчетом при разработке СЧР и уточняются во время выполнения пуско-наладочных работ.

Операции включения/отключения дополнительных агрегатов могут выполняться персоналом вручную по сигналу СЧР либо автоматически. Последнее требует применения свободно программируемых средств автоматизации и использования управляемых от СЧР электроприводов напорных задвижек НР НА, других

клапанов и задвижек, способных изменить гидравлический режим работы ИС.

Подобные управляющие программы разработаны и реализованы специалистами Инженерного центра «АРТ», в том числе и с использованием пакета разработчика программного обеспечения для встроженных свободно-программируемых контроллеров ПЧ типа Vacon CX и Vacon NX.

Особо следует рассмотреть предлагаемые решения по применению частотно-регулируемого электропривода для управления группой насосов, работающих по следующему алгоритму:

- основной частотно-регулируемый НА стабилизирует технологический параметр в диапазоне нагрузок, обеспечиваемых одиночным агрегатом, постепенно разгоняясь до номинальной частоты вращения;
- при дальнейшем росте нагрузок электродвигатель работающего на номинальной частоте вращения ЧР НА синхронизируется с питающей сетью, а преобразователь переключается на управление другим НА, который становится основным;
- при дальнейшем росте нагрузок таким же образом подключается следующий дополнительный агрегат;
- при снижении нагрузок операции выполняются в обратной последовательности.

Использование таких алгоритмов затруднительно по ряду причин. Основной из них является то, что при работе НР НА без дроссельного элемента в напорной магистрали зачастую происходит перегрузка электродвигателя. Преобразователь частоты ограничит нагрузку на электродвигатель, не позволяя достичь номинальной частоты вращения. Существуют также и проблемы синхронизации. Они могут быть предметом отдельной статьи.

В случаях параллельной работы трех и более агрегатов, из которых только один является частотно-регулируемым, сложность реализации технологической задачи по автоматической стабилизации гидравлических параметров ИС во всем диапазоне изменения нагрузок существенно возрастает. Приходится либо отказываться от реализации функции стабилизации параметра в автоматическом режиме, либо управлять всеми возможными для регулирования гидравлических параметров ИС аппаратными средствами СЧР. Последнее удорожает решение, а в некоторых случаях оказывается невозможным (например, при отсутствии регулирующей арматуры с электроприводами).

Таким образом, кроме трудностей стабилизации, при использовании смешанных схем

подключения практически невозможно выполнять автоматическое распределение нагрузки между параллельно работающими агрегатами, существенно затруднена задача обеспечения величины поддерживаемого параметра даже при плановом изменении состава работающих агрегатов.

**Обеспечение гидравлических параметров ИС и алгоритм управления при параллельной работе частотно-регулируемых агрегатов**

Общие подходы к организации параллельной работы частотно-регулируемых насосов подобны подходам, описанным выше при рассмотрении особенностей совместной работы ЧР и НР насосов. Подробно вопрос обеспечения гидравлических параметров ИС с применением параллельной работы ЧР НА рассмотрен ранее [2]. Здесь необходимо отметить лишь следующее.

Для ИС с одинаковыми насосными агрегатами обеспечение гидравлических параметров с использованием частотного регулирования для всех агрегатов, как правило, не вызывает трудностей. В случае увеличения общего количества управляемых от СЧР агрегатов и числа параллельно работающих частотно-регулируемых насосов требуется выполнение энергетических расчетов для уточнения параметров, при которых целесообразно изменение состава работающих насосов (включения/отключения дополнительных агрегатов).

Задача существенно усложняется в случаях:

- необходимости автоматического изменения статуса агрегата (основной, дополнительный, резервный);
- использования различных по характеристикам насосных агрегатов;
- использования одного преобразователя частоты для одновременного управления параметрами двух и более параллельно работающих ЧР агрегатов;
- управления агрегатами с крупными высоковольтными электродвигателями и построения СЧР на комплектах оборудования преобразовательного звена с двухтрансформаторной схемой подключения ПЧ.

Необходимость автоматического изменения статуса агрегатов определяется следующим. Основной агрегат, он же регулирующий, может быть аварийно или планово выведен из работы. При этом параметры настройки режима и функции основного должны перейти к заранее определенному агрегату. Это может быть работающий дополнительный агрегат либо резервный агрегат первой очереди включения.

При остановке основного агрегата изменяется статус всех управляемых СЧР агрегатов. Так, дополнительный агрегат становится основным, резервный первой очереди включения – дополнительным (он же, при необходимости, сразу включается в работу), резервный второй очереди включения – резервным первой очереди включения, и т. д. Учет автоматического изменения статуса агрегатов для насосной установки с тремя и более агрегатами приводит к существенному усложнению управляющей программы.

Включение в состав СЧР агрегатов с различными характеристиками насосов и/или электродвигателей, учет различных гидравлических сопротивлений участков трубопроводной системы для разных насосов и др. влияет на сложность программы. При этом возможно использование в составе СЧР до трех-четырех регуляторов, которые позволяют обеспечить технологический параметр и распределить нагрузку между параллельно работающими агрегатами по заранее оговоренному алгоритму. Значительно увеличивается трудоемкость пуско-наладочных работ. В процессе их выполнения требуется определять энергетические и динамические характеристики отдельных агрегатов и групп агрегатов при различных конфигурациях рабочих участков трубопроводной системы. Только такие действия позволят определить рациональные параметры использования агрегатов для различных режимов работы ИС и настроить динамику работы СЧР.

Подобная задача должна решаться совместно специалистами эксплуатирующей организации и разработчика. Здесь на первом плане могут оказаться не минимальное потребление энергии, а учет состояния конкретных агрегатов, минимизация количества изменений состава работающих агрегатов. Реализация этой задачи иногда требует некоторого увеличения (на 5...7 Гц) частоты напряжения, подаваемого на двигатели частотно-регулируемых агрегатов, которая позволяет пройти пик нагрузки без подключения дополнительного агрегата, и др. Кроме того, для некоторых агрегатов имеются ограничения по минимальной частоте вращения (по условиям смазки).

Использование одного преобразователя для одновременного управления параметрами двух и более агрегатов встречается достаточно редко. В то же время для реализации подобных решений требуется выбрать рациональную для данного диапазона нагрузок мощность преобразователя частоты. Не факт, что она будет равной суммарной мощности подключаемых к нему электродвигателей. Кроме того, должны

быть подобраны технические средства и программное обеспечение, позволяющее защитить электродвигатели и агрегаты в целом, как при одиночной работе, так и при параллельной работе НА от одного ПЧ. Стандартных средств ПЧ, по нашему мнению, в данном случае недостаточно.

Управление параметрами ИС, в состав которой входят нагнетатели с крупными высоковольтными электроприводами, является самостоятельной задачей. При настройке параллельной работы агрегатов приходится учитывать тот факт, что насос изначально запускается не на нулевую частоту. Кроме того, алгоритм управления должен предусматривать дополнительные действия системы по контролю положения и состояния высоковольтной коммутационной аппаратуры, состояния силовых трансформаторов и т. д.

Примером комплексного решения технологических задач, связанных с управлением нагнетателями является СЧР насосно-перекачивающей станции (НПС) «Пороховская» ТГК 1, г. Санкт-Петербург, которая обеспечивает гидравлический режим Пороховской тепловой магистрали, Невского вывода тепловой магистрали и тепловой магистрали от ТЭЦ-5 до НПС.

В обеспечении параметров гидравлического режима тепловых магистралей участвуют группы подпиточных и сетевых насосов ТЭЦ-5 и группы сетевых насосов прямой и обратной магистрали НПС «Пороховская». В работе может находиться до 4-х насосов прямой магистрали и до 3-х насосов обратной магистрали НПС. Подача группы насосов прямой магистрали достигает  $12\ 000\ \text{м}^3/\text{ч}$ .

Особенностями НПС «Пороховская» являются:

- наличие групповых регулирующих клапанов с электрическими приводами, стабилизирующих давление в контролируемых точках в автоматическом режиме;
- необходимость изменения состава работающих агрегатов, (выполняется персоналом вручную);
- совместная работа на НПС автоматики включения/отключения отдельных насосных агрегатов, системы АВР насосов, системы технологических защит по давлению, РЗиА системы электроснабжения.

При разработке алгоритма управления СЧР сетевых насосов обратной магистрали (2006 г.) возникла необходимость в дополнение к стандартному набору процедур и блоков ввести несколько специальных блоков, описанных ниже.

**1.** Блок запуска НПС после остановки (перевода в режим рециркуляции).

Наличие блока позволило реализовать автоматическое управление частотно-регулируемыми сетевыми насосами (совместно с их напорными задвижками) при пуске НПС из режима рециркуляции и при изменении состава работающих насосов в режиме обеспечения циркуляции тепловой сети. Отсутствие блока запуска НПС приводило к неоднократным «хлопкам» обратных клапанов насосных агрегатов (Ду 600) при запуске агрегатов в режиме рециркуляции и др.

**2.** Блок регулирования с тремя подчиненными регуляторами.

Сетевые насосы обратной магистрали имеют различные  $H-Q$ -характеристики. В параллель в частотно-регулируемом режиме может включаться до трех СН, каждый от своего комплекта оборудования преобразовательного звена. При этом лучшего качества поддержания гидравлических параметров, особенно в переходных режимах при изменении состава работающих агрегатов, удалось достичь при одновременном использовании до трех регуляторов. Основным является регулятор по давлению, реализованный для основного агрегата. Для дополнительных агрегатов первой и второй очереди включения одновременно работают по два регулятора: регулятор по давлению и корректирующий регулятор по мощности, позволяющий выравнять нагрузку между параллельно работающими частотно-регулируемыми агрегатами.

**3.** Блок передачи управления.

Изменение состава работающих агрегатов, особенно отключение основного насосного агрегата, который обеспечивал стабилизацию давления, является «болезненной» процедурой для системы управления. Требования по надежности обеспечения гидравлических параметров не позволяют допускать существенных изменений их величин даже при аварийных отключениях насосных агрегатов. По этой причине потребовался блок, позволяющий изменять статус агрегатов и передавать их под управление соответствующих регуляторов на ходу. Так, при отключении основного агрегата, вспомогательный насос первой очереди включения автоматически становится основным и управляется регулятором давления, а агрегат второй очереди включения становится агрегатом первой очереди включения. При отсутствии достаточного количества работающих агрегатов еще до момента отключения основного агрегата автоматически вводится в работу резервный насос.

**4.** Блок настройки параметров СЧР с удаленного терминала.

Одной из особенностей системы частотного регулирования является то, что она не может

«удовлетворить потребности заказчика» без определенных усилий со стороны самого заказчика. Наиболее удачные и эффективные решения получаются тогда, когда специалисты эксплуатационных подразделений участвуют во всех этапах разработки и реализации СЧР. Более того, система частотного регулирования является по существу лишь инструментом, которым могут пользоваться (или не пользоваться): диспетчер, задающий технологический режим; начальник участка, организующий производственный процесс на объекте; сменный мастер, отвечающий за поддержание технологических параметров; электрик, эксплуатирующий электроустановку; инженер по АСУ, программирующий SCADA-систему, и многие другие специалисты. Для удобства эксплуатации был разработан блок алгоритма, позволяющий изменять в допустимых пределах настройки регуляторов СЧР, величины заданий и пределов срабатывания предупреждений и защит. Последнее особенно важно по причине перспектив дальнейшей реконструкции системы управления НПС, оснащения СЧР агрегатов прямой магистрали, замены системы технологических защит.

Структура программного обеспечения СЧР НПС «Пороховская» (вариант 2006 г.) приведена на рисунке 2.

Перечисленные мероприятия позволили без нежелательных последствий и без длительных остановок НПС выполнить пуско-наладочные работы во время отопительного сезона. При этом наблюдались лишь незначительные изменения (до 0,3–0,5 кгс/см<sup>2</sup> на период до 10 с) давления в контролируемых точках, в то время как конфигурация трубопроводной системы и состав агрегатов, обеспечивающих ее параметры, изменились весьма существенно. Так, время реакции трубопроводной системы изменялось от 1...3 с в режиме рециркуляции до 5 минут при обеспечении циркуляции.

При выполнении пуско-наладочных работ выявлено следующее.

1. При одинаковой частоте на выходе ПЧ максимальный разброс величин потребляемой мощности составил 28% от установленной мощности ПЧ, т. е. характеристики насосов и их трубопроводов существенно различаются.
2. При пуске и торможении насосные агрегаты по-разному влияют на регулируемый параметр (разный заброс давления).
3. Необходимо корректировать уставки мощности для выравнивания работы насосных агрегатов. Например, основной агрегат работает на максимальной частоте 45 Гц и при этом потребляет мощность 85%. Дополнительный насосный агрегат выходит на мощность 85%, но при этом работает на частоте 42 Гц, т. е. недоиспользуется. Это приводило к неоправданным пускам дополнительных агрегатов второй и третьей очереди.

В результате был доработан алгоритм выравнивания нагрузки насосных агрегатов, настройка регулятора давления выполнена на максимальное быстроедействие при требуемом качестве

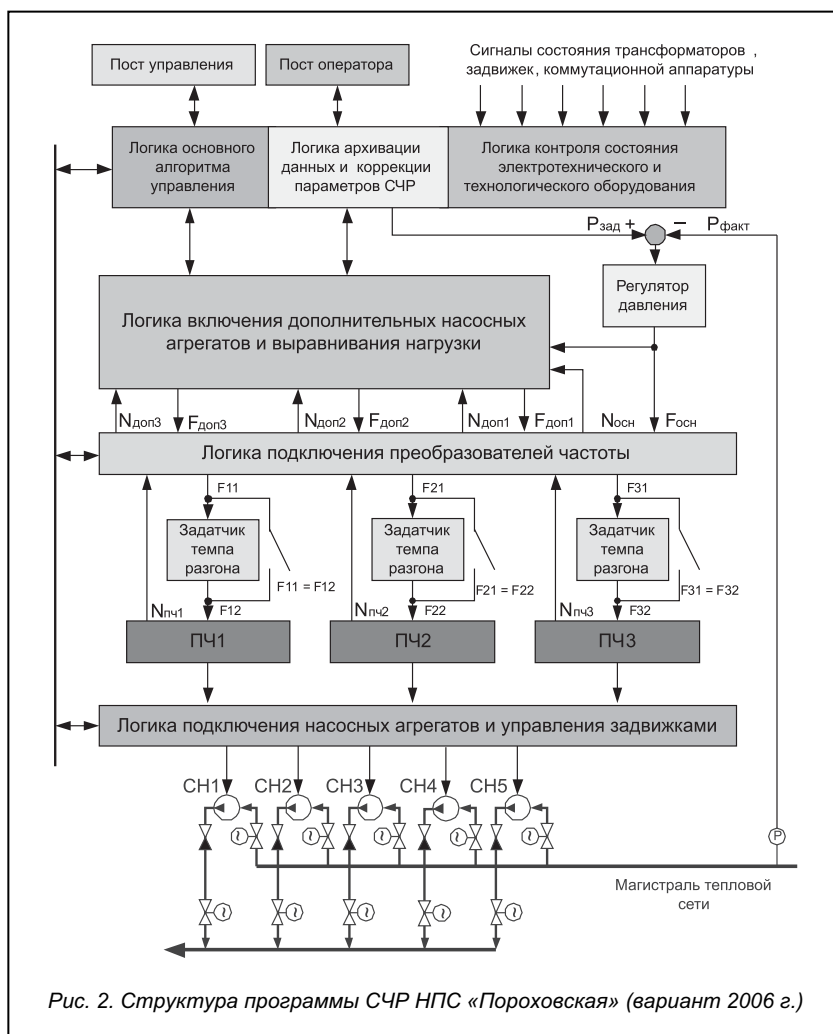


Рис. 2. Структура программы СЧР НПС «Пороховская» (вариант 2006 г.)

переходных процессов, а регуляторы мощности сделаны более инерционными (для обеспечения устойчивости системы в целом).

Предложенная структура системы управления обеспечила хорошую динамику разгона электроприводов и точность поддержания технологического параметра как в режиме «пуска станции из режима рециркуляции», так и при нормальной работе.

Таким образом, за счет применения средств частотного регулирования имеется возможность обеспечить управляемость насосной группы, стабилизировать гидравлический параметр технологического процесса в любой точке, находящейся ниже суммарной характеристики параллельно работающих насосных агрегатов, обеспечить минимальные отклонения величин параметров в переходных режимах, включая плановые и аварийные изменения состава работающих агрегатов. Для реализации таких возможностей требуется фор-

мализация требований к функционированию СЧР на начальных этапах ее создания, включение в состав системы частотного регулирования необходимых средств автоматизации, а в состав реконструируемой ИС – исполнительных механизмов, дополнительной коммутационной аппаратуры и т. п. Рациональное сочетание «цена–качество» для создаваемой СЧР, по мнению авторов, может получиться только в результате совместной работы разработчиков с представителями эксплуатирующей организации.

#### *Литература*

1. Бугров В. П., Сербин Ю. В. Параллельная работа регулируемого и нерегулируемого насосных агрегатов // Теплоэнергоэффективные технологии. – 1999. – № 4. – С. 27–31.
2. Бугров В. П., Шленов К. Н. Параллельная работа частотно-регулируемых насосных агрегатов // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2003. – № 2. – С. 47–50.
3. Бугров В. П., Сербин Ю. В. Методика выполнения технико-экономического обоснования применения систем частотного регулирования на объектах городского хозяйства // Теплоэнергоэффективные технологии. – 1999. – № 1.