

Проблемы группового управления насосными агрегатами

А.В. Гордейчик¹, А.В. Попов², А.П. Усачев³,

¹ - заместитель директора по направлению "электропривод и автоматизация", ООО «Сибирь-мехатроника», г. Новосибирск, РФ

² - заместитель директора - руководитель "Центра инжиниринговых услуг", ООО «Сибирь-мехатроника», г. Новосибирск, РФ

³ - к.т.н., технический директор, ООО «Сибирь-мехатроника»; г. Новосибирск, РФ

Рассматриваются алгоритмы группового управления насосными агрегатами. Основное внимание уделено процессам переключения насосных агрегатов. Выделено два основных алгоритма. На основании проведенного анализа режимов работы предлагается модернизация наиболее распространенного алгоритма управления насосами, обеспечивающая безопасную работу насосов в рабочей зоне.

Ключевые слова: частотное регулирование, групповое управление, центробежный насос.

The algorithms of group control of pumping units are considered. The main attention is paid to the processes of switching pumping units. Two main algorithms are distinguished. Based on the performed analysis of operating modes, it is proposed to modernize the most common pump control algorithm, which ensures safe operation of pumps in the work area.

Keywords: frequency control, group control, centrifugal pump.

Все насосные станции водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения имеют в своем составе несколько насосных агрегатов, объединённых по всасу и напору, - группу насосных агрегатов. Число агрегатов определяется возможным диапазоном расхода, перспективой, и необходимым резервом, и составляет от 2 до 8 штук. Соответственно, все устройства управления представляют собой системы группового управления. Сказанное касается и систем частотного управления насосами – станций частотного управления (СЧУ) группой насосных агрегатов. Разновидностей СЧУ – масса. Все их условно можно разделить на три группы:

1. СЧУ с индивидуальными преобразователями частоты (ПЧ) на каждый насосный агрегат.
2. СЧУ с одним ПЧ на группу насосных агрегатов.
3. СЧУ комбинированные (вся группа разбита на подгруппы, например, посекционно, каждая из которых содержит станцию с одним ПЧ) – рис.1. С точки зрения алгоритма управления данный тип СЧУ является наиболее универсальным.

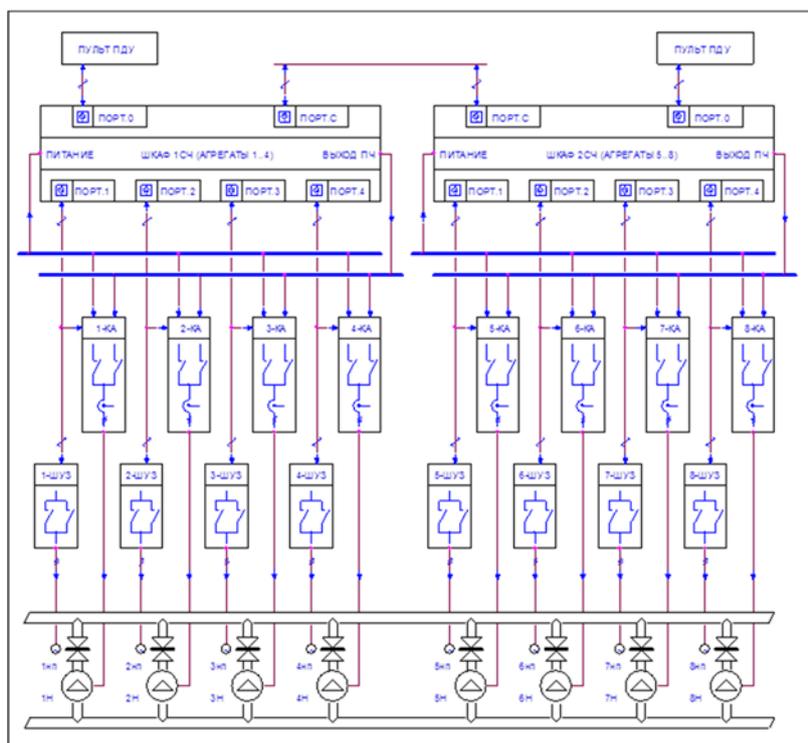


Рис.1. Структурная схема аппаратуры группового управления комбинированной СЧУ (две подгруппы, каждая с ПЧ (на схеме шкаф СЧ) и управлением четырьмя насосными агрегатами).
 Обозначения на схеме: СЧ – шкафы станций с преобразователем частоты (ПЧ); КА - шкафы коммутационной аппаратуры подключения насосных агрегатов непосредственно к сети или к выходу ПЧ; ШУЗ – шкафы управления задвижкой; НП –

напорная задвижка; Н – насосный агрегат;

(схема приведена на базе оборудования «Сибирь-мехатроника»).

Ниже рассматриваются СЧУ с одним ПЧ на группу насосных агрегатов.

Групповое управление предполагает переключения (подключение/отключение) дополнительных насосных агрегатов по определенному алгоритму. Для формирования команд на переключение требуется:

1. Определение (назначение) приоритетов работы насосных агрегатов внутри группы (например, как основной, 1-ый дополнительный, 2-ой дополнительный и т.д.).
2. Определение (назначение) критериев (условий) недостаточной/избыточной производительности.
3. Определение алгоритма группового управления.

Определение приоритетов осуществляется путем непосредственного назначения оператором.

В качестве основного критерия (условия) недостаточной/избыточной производительности

обычно принимаются отклонение реального значения технологического параметра от заданного значения - ошибка регулирования технологического процесса.

Оценка ошибки регулирования осуществляется системой управления с частотным регулированием.

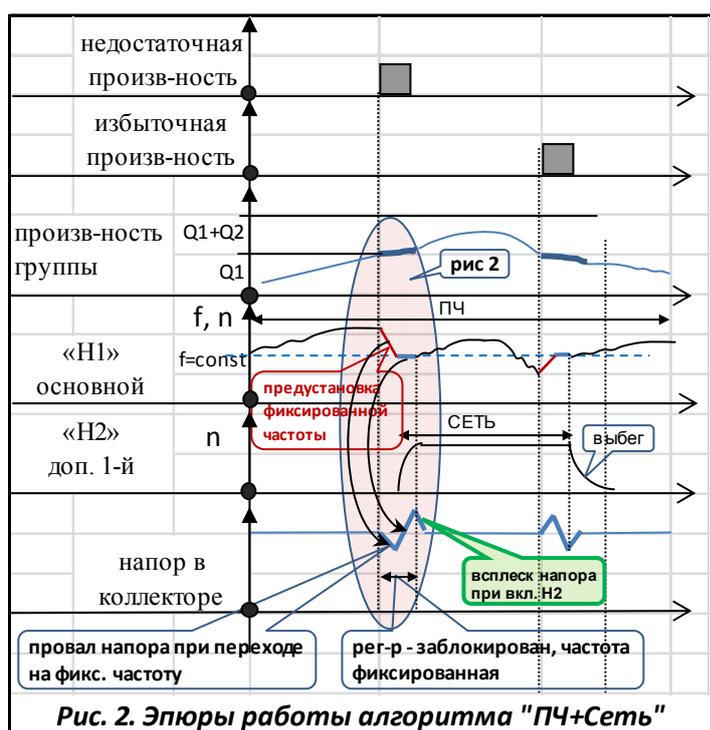
При недостаточной производительности отклонение заданного значения процесса от реального формирует положительную ошибку регулирования, что приводит к разгону

управляемого от ПЧ агрегата. При достижении максимальных оборотов ошибка регулирования растёт, что является свидетельством недостаточной производительности. В случае избыточной производительности отклонение заданного значения процесса от реального формирует отрицательную ошибку регулирования, что приводит к снижению производительности управляемого от ПЧ агрегата. При достижении минимальных оборотов ошибка регулирования растёт, что является свидетельством избыточной производительности.

Дополнительным критерием является, как правило, величина токовой загрузки агрегатов. Анализ токовой загрузки должен производиться для каждого агрегата, находящегося в работе. Увеличение/снижение токовой нагрузки агрегата может свидетельствовать о необходимости запуска /останова дополнительного агрегата.

Переключения (подключение/отключение) дополнительных насосных агрегатов осуществляется по определенному алгоритму. Можно выделить следующие типы переключений:

1. **«ПЧ + С»** - групповое управление в системе с одним ПЧ. В случае недостаточной производительности дополнительный насосный агрегат подключается напрямую к сети. Преобразователь частоты всегда подключен к основному двигателю и не переключается (кроме аварийных режимов). В случае избыточной производительности, дополнительный агрегат, имеющий низший приоритет, отключается от сети.
2. **«ПЧ – С»** - групповое управление в системе с одним ПЧ. В случае недостаточной производительности двигатель насоса, работавший от ПЧ, переводится на работу от сети



и преобразователь частоты переключается к следующему насосному агрегату. В случае избыточной производительности агрегат, имеющий низший приоритет отключается от сети и подключается к преобразователю частоты. Ниже рассматриваются процессы переключений для вышеприведенных алгоритмов и их особенности.

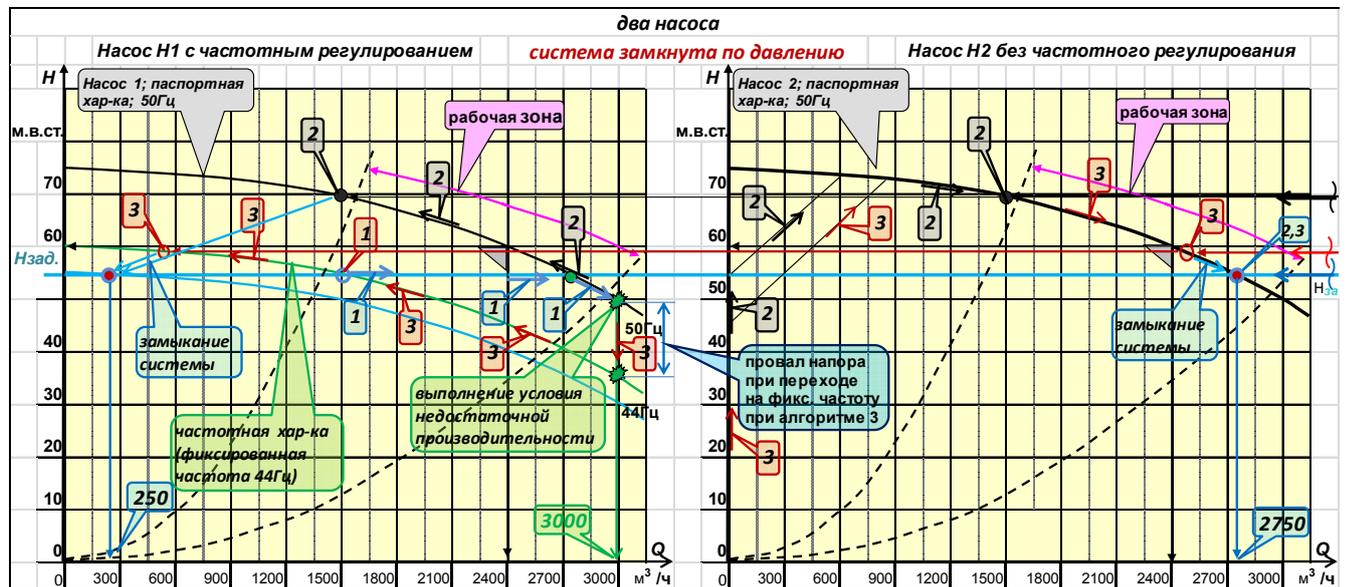
Алгоритм «ПЧ + С».

Рис. 2. Эпюры работы алгоритма "ПЧ+Сеть"

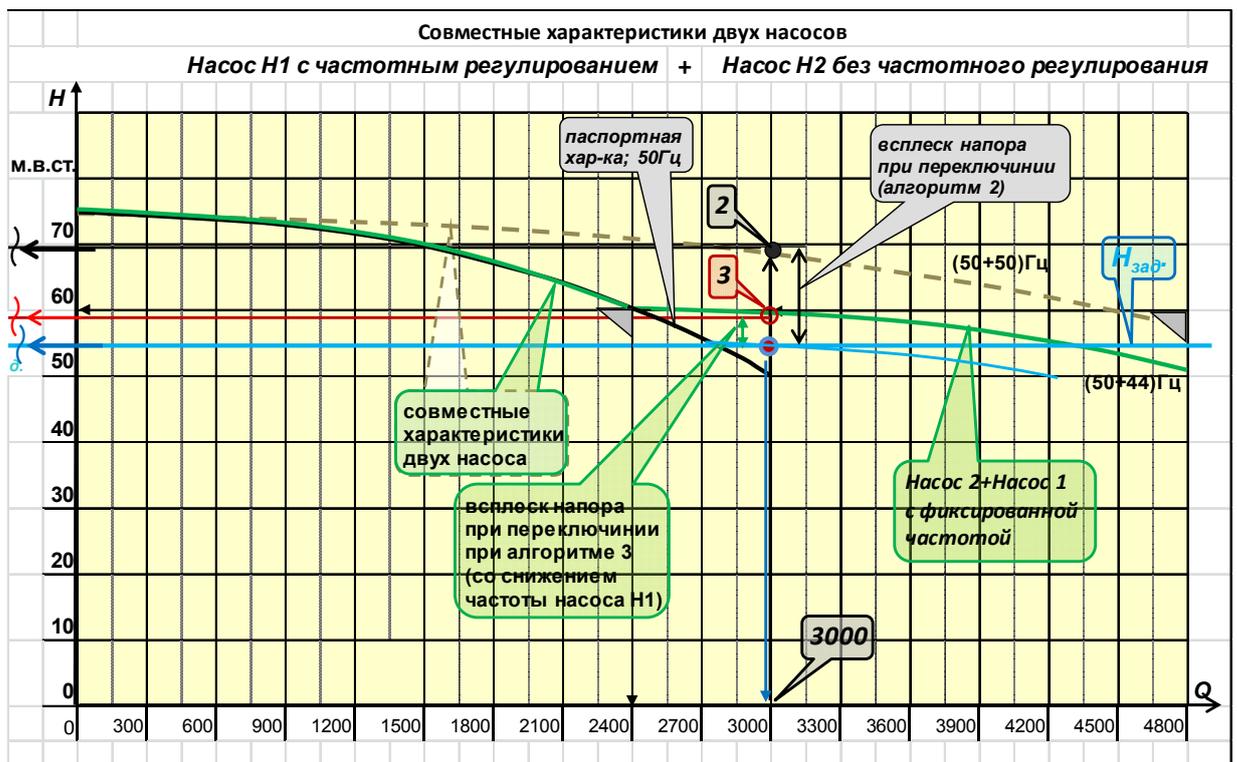
Это самый распространённый алгоритм. Его часто именуют как каскадное управление.

Эпюры работы алгоритма приведены на рис.2.

На рис.3 приведен процесс подключения дополнительного агрегата – движение рабочей точки насосов на их напорных характеристиках.



Продолжение



"1" - в работе насос Н1 с частотным регулированием (увеличение расхода с 1500 до 3000 м³/ч).

"2" - подключение насоса Н2 без снижения частоты насоса Н1 (на время переключения технологический регулятор заблокирован).

"3" - подключение насоса Н2 со снижением частоты насоса Н1 с 50Гц до 44Гц (на время переключения технологический регулятор заблокирован).

Рис. 3. Групповое управление с одним преобразователем частоты, алгоритм работы ПЧ+Сеть (увеличение производительности с 1500 до 3000 м³/ч - включение насоса Н2 от Сети).

Простое включение дополнительного насосного агрегата при формировании системой сигнала недостаточной производительности приводит к всплеску давления в общем коллекторе (рис.2), которое может достигать значительных величин и продолжительностью до 1 минуты, пока замкнутая система не обработает возмущение (предполагается, что напорные задвижки дополнительных насосов открыты и они неуправляемы). Сказанное поясняется на напорных характеристиках – рис.3. На рисунке рассматриваются траектории движения рабочих точек насосов со следующими условными номинальными параметрами насоса $Q_{ном}=2400\text{м}^3/\text{ч}$ и $H_{ном}=60\text{м.в.ст.}$. Рассматривается процесс увеличения расхода с $1500\text{м}^3/\text{ч}$ до $3000\text{м}^3/\text{ч}$ в замкнутой системе по давлению с $H_{зад}=55\text{м.в.ст.}$. Первоначально, при расходе $1500\text{м}^3/\text{ч}$, в работе находится один насосный агрегат Н1 с ПЧ – точки «1» на рис.3. При увеличении расхода точка «1» перемещается по горизонтальной линии $H_{зад}$ до момента увеличения частоты ПЧ до 50 Гц. Далее возникает ошибка рассогласования и при $Q=3000\text{м}^3/\text{ч}$ наступает момент выполнения условия недостаточной производительности – формируется соответствующий сигнал на включение дополнительного насоса Н2. Процесс подключения дополнительного насоса на рисунке 3 отражен траекториями движения рабочих точек насосов «2» и «3». Рабочие точки «2» относятся к случаю «простого» включения дополнительного насосного агрегата, точки «3» - к предлагаемому алгоритму (со снижением частоты ПЧ). Во всех случаях предполагается, что на время переключений технологический регулятор блокируется и его выходное значение фиксируется. На совместной характеристике двух насосов (третья характеристика на рисунке 3) показана величина всплеска напора при переключении по «случаю 2». Для уменьшения всплеска можно внести «предисказание» - перед включением дополнительного насоса снизить частоту питания насоса Н1. На рис.3 это рабочие точки «3». На рисунке снижение частоты показано до 44 Гц. По траекториям движения рабочих точек «3» видно, что всплеск напора при введении «предисказания» значительно уменьшается.

Следует отметить, что независимо от способа переключения после окончания переходных процессов производительности насосов Н1 и Н2 устанавливаются следующие: $Q_1=250\text{м}^3/\text{ч}$, $Q_2=2750\text{м}^3/\text{ч}$. Рабочая точка насоса Н1 находится в левой недопустимой зоне (левая граница рабочей зоны при $H=55\text{м.в.ст.}$ равна $1400\text{м}^3/\text{ч}$) [1, 2].

Как отмечалось, рассмотренный алгоритм наиболее распространен и в совокупности с «предисказанием» находит широкое применение.

Алгоритм «ПЧ - С».

Алгоритм встречается под названием каскадно-частотный. Алгоритм имел широкое распространение в начале двухтысячных годов. Потом постепенно от него практически все отошли. Все дело в том, что он имеет один крупный недостаток.

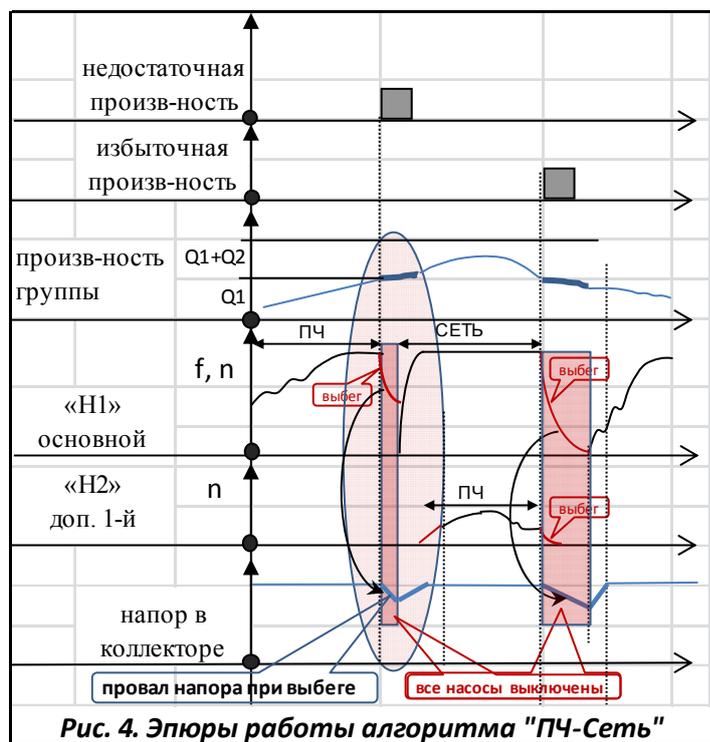


Рис. 4. Эпюры работы алгоритма "ПЧ-Сеть"

Эпюры работы алгоритма приведены на рис.4.

Данный алгоритм предполагает, что при увеличении производительности, производится переключение двигателя насосного агрегата, работающего от ПЧ, на сеть и наоборот, при уменьшении производительности, - переключение двигателя насосного агрегата, работающего от сети, на работу от ПЧ (рис. 4). Переключение двигателя насосного агрегата, работающего от ПЧ, на сеть возможно двумя путями:

- С синхронизацией выходного напряжения ПЧ с сетью (по амплитуде, частоте и фазе).
- Без синхронизации.

Первый способ не находит практического применения, так как он требует дополнительных аппаратных и финансовых затрат.

Для второго способа характерен другой недостаток – после отключения ПЧ требуется выдержка времени до момента подключения двигателя к сети. Выдержка необходима для спада ЭДС статора. В противном случае, в момент включения двигателя на сеть, возможен двойной пусковой ток (когда ЭДС сети будет в противофазе с ЭДС двигателя). Как известно, ЭДС двигателя спадает с постоянной времени ротора, поэтому необходимая выдержка времени, в зависимости от мощности, составляет 1-3 сек. В течении этого времени, зачастую, поток жидкости в трубопроводе меняет направление и происходит срабатывание обратного клапана. Данное явление для большинства ВНС недопустимо. Более того, при подключении первого дополнительного насоса, в течение этого времени, происходит прерывание циркуляции, что также для многих насосных станций недопустимо. Именно по этим причинам данный алгоритм имеет весьма ограниченное применение.

Кроме того, при избыточной производительности производится отключение агрегата от сети и его подключение к преобразователю частоты. Включение преобразователя частоты возможно после ожидания выбега двигателя (останова по инерции) либо путем «подхвата на лету». То и другое предполагает существенную паузу, что ведет к тем же последствиям.

Схема с управляемыми напорными задвижками и алгоритмом «ПЧ + С» (алгоритм ПЧ + Сеть + НЗ).

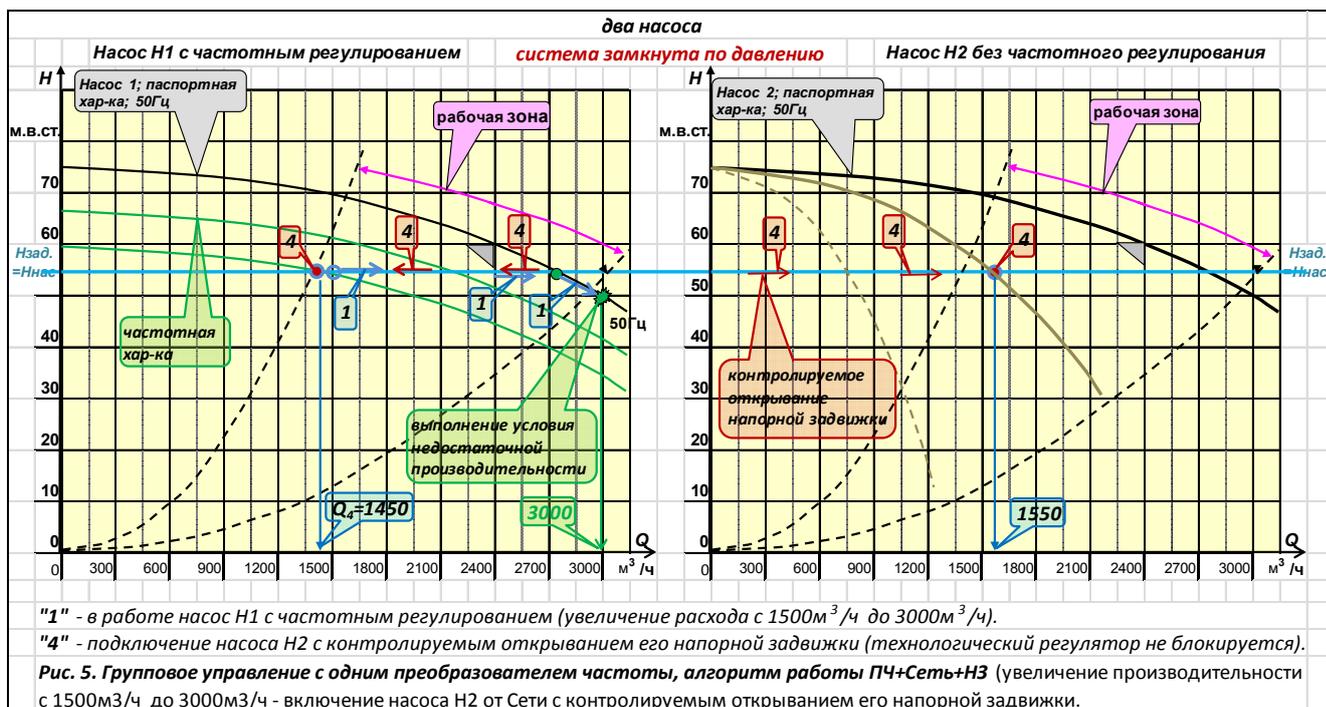
Применение данного алгоритма блока возможно только на насосных станциях с электрифицированными напорными задвижками. Что имеет место быть, как правило, на достаточно крупных насосных станциях.

Как отмечалось, алгоритмы «ПЧ + С» и «ПЧ - С» имеют недостаток – после любого подключения дополнительного насоса, насос с ПЧ оказывается в недопустимой рабочей зоне (с малой производительностью). Насосный агрегат без частотного регулирования (с питанием непосредственно «от Сети») обеспечивает основную долю требуемой производительности - практически номинальную производительность (на рисунке 3 - 2750м³/час), а зачастую и больше, попадая при этом в перегрузку. Насосный агрегат с частотным регулированием добавляет не хватаемую часть подачи (на рисунках 3 - 250 м³/час), которая в данном случае оказывается достаточно малой. В результате насос с частотным регулированием оказывается в недопустимой рабочей области (в левой части напорной характеристики), что ведет к выходу его из строя.

Воздействовать на производительность насоса без частотного регулирования возможно только путем его дросселирования, например, напорной задвижкой. В автоматическом режиме это возможно, например, с помощью блока серии CP200 (<http://www.sibmech.ru/elektroprivod-i-avtomatizaciya/produktsya/oborudovanie-lokalnogo-upravleniya/seriya-SR200/>).

Для исключения перегрузки обратная связь блока CP200 замыкается по току приводного двигателя насосного агрегата [2].

Для исключения «недогрузки» насоса предлагается следующий алгоритм управления:



При включении насоса от сети №2 дается команда на открытие его напорной задвижки. При ее открывании производительность насоса с частотным регулированием №1 будет падать. Задвижку насоса №2 необходимо «приоткрыть» на величину, при которой рабочая точка насоса с частотным регулированием (насоса №1) будет находиться в районе левой границы рабочей области (в точке «4» рис.5).

При этом производительность насоса №1 будет равна 1450 м³/час, а насоса №2 - 1550 м³/час. Другими словами, данным алгоритмом предлагается осуществлять контролируемое открытие напорной задвижки насоса включаемого от сети. Контроль предлагается осуществлять по положению рабочей точки насоса работающего от ПЧ. Сказанное поясняется рисунком 5.

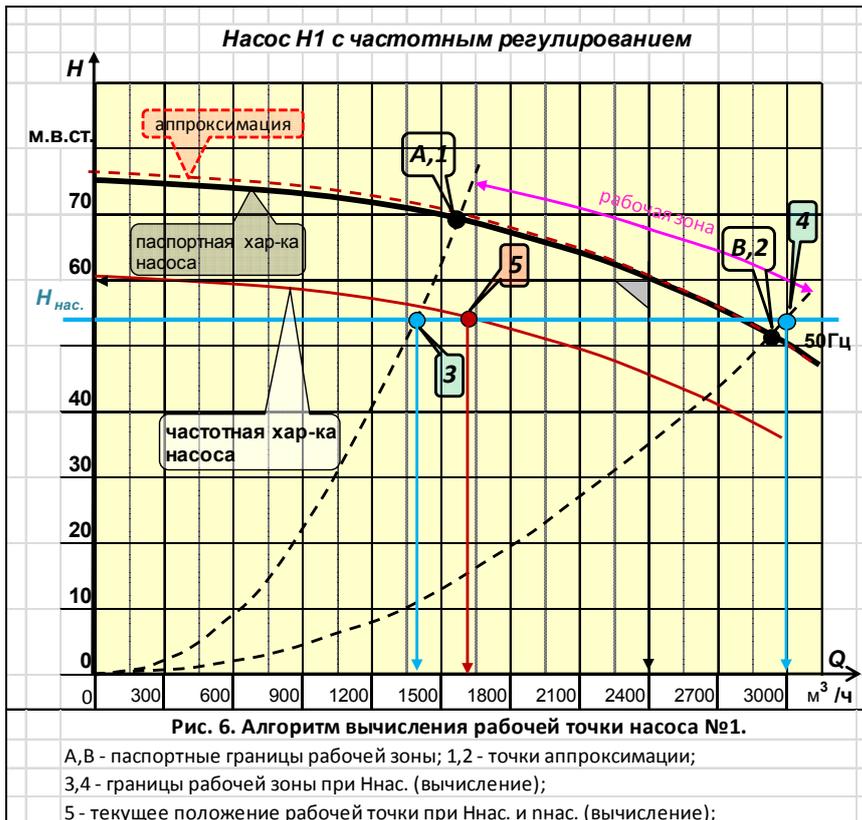
Для реализации данного алгоритма необходимо знать текущую производительность насоса №1 и производительность на левой границе рабочего диапазона при текущем напоре насоса (минимально допустимая производительность насоса).

Текущий напор насоса вычисляется как разность показаний датчиков давления на всасе насоса и его выходе (напоре).

Производительность на левой границе рабочего диапазона вычисляется по соответствующей параболе левой границы рабочего диапазона (исходная информация – из паспортных данных).

Текущая производительность насоса с частотным регулированием может быть либо измерена, либо косвенно вычислена.

1. Непосредственное измерение производительности насоса путем установки расходомера в его цепь реально не реализуемо, так как практически нет возможности установки в цепь насоса индивидуального расходомера.
2. Вычисление производительности насоса с частотным регулированием осуществляется по напорной характеристике насоса, информации от преобразователя частоты и дополнительных датчиков давления. Процедура вычисления поясняется рисунком 6:



- а) по паспортной напорной характеристике насоса вычисляются коэффициенты аппроксимирующего уравнения H_ϕ и S_ϕ [3,4]

$$H = H_\phi \frac{n^2}{n_{ном}^2} - S_\phi Q^2$$

Для этого, как правило, берутся точки 1 и 2 близкие к границам рабочей области насоса - рис.8:

$$H_\phi = H_1 + S_\phi Q_1^2 \quad S_\phi = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2}$$

- б) Уравнения парабол рабочей зоны будут:

левая парабола $H = K_A * Q^2$, где $K_A = \frac{H_A}{Q_A^2}$;

правая парабола $H = K_B * Q^2$, где $K_B = \frac{H_B}{Q_B^2}$.

- в) Границы левой и правой рабочей зоны при $H_{нас.}$:

граница левой зоны - $Q_3 = \sqrt{\frac{H_{нас.}}{K_A}}$,

граница правой зоны - $Q_4 = \sqrt{\frac{H_{нас}}{K_B}}$.

- d) Вычисление текущей производительности насоса (из аппроксимирующего уравнения напорной характеристики насоса №1):

$$Q_5 = \sqrt{\left(\frac{H_\phi}{S_\phi} \frac{n^2}{n_{НОМ}^2} - \frac{H_{нас}}{S_\phi} \right)}$$

Далее при включении насоса №2 необходимо вести сопоставление текущей производительности насоса №1 Q_5 и его минимально допустимого значения (граница левой зоны - Q_3). При уменьшении производительности насоса №1 до значения минимально допустимого ($Q_5=Q_3$) необходимо прекратить открывание напорной задвижки насоса №2. При дальнейшем увеличении суммарного расхода напорная задвижка насоса №2 должна продолжить процесс открывания до максимальной производительности насоса (при этом рабочая точка насоса №1 должна удерживаться на границе рабочей зоны). И только при дальнейшем увеличении расхода производительность насоса №1 может увеличиваться.

Для реализации выше описанного алгоритма необходимо использование специализированного технологического контроллера с достаточной вычислительной мощностью типа СТК500 (<http://www.sibmech.ru/elektroprivod-i-avtomatizaciya/produksya/oborudovanie-dlya-avtomatizacii-i-telemetrii/technologicheskii-kontroller-STK500/>).

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Наиболее удовлетворительным является алгоритм группового управления с каскадным управлением и предискажением по частоте.
2. Всем алгоритмам группового управления с одним ПЧ присущ общий недостаток – при включении дополнительного насоса, частотно-регулируемый насос оказывается вне рабочей зоны.
3. Предлагается модернизированный алгоритм - производить контролируемое дросселирование насоса без частотного регулирования путем контроля положения рабочей точки насоса с частотным регулированием на границе рабочей зоны.
4. Для реализации данного алгоритма предлагается использование специализированного технологического контроллера с достаточной вычислительной мощностью типа СТК500 и блоки серии СР200.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.Г. Багаев, Н.В. Карпов, А.П. Усачев. Проблема параллельной работы насоса с частотным регулированием. // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. №4.
2. А.П. Усачев, А.В.Гордейчик. Особенности частотного регулирования насосами с учетом рабочего диапазона: международный форум «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК-2014, Международная конференция «Водоснабжение и водоотведение населенных мест», 4-5 июня 2014, Москва. - М., МВЦ “Крокус Экспо”.
3. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б.С. Лезнов. М.: Энергоатомиздат, 2006.
4. Б.С. Лезнов, С.В. Воробьев. Работа центробежных насосов с переменной частотой вращения. // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. №9.