ГРУППОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАСОСАМИ. ВЫБОР КРИТЕРИЯ ВКЛЮЧЕНИЯ/ОТКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ

Усачев А.П.
канд. техн. наук,
технический директор

ООО «Сибирь-мехатроника», г. Новосибирск

Рассматриваются основные критерии включения/отключения дополнительных насосов при групповом управлении. Рассмотрено влияние токоограничения преобразователя частоты (ПЧ) на процесс формирования команды включения дополнительного насоса и возможную перегрузку насоса.
Ключевые слова: частотное регулирование, центробежный насос, групповое управление, критерии включения/отключения дополнительных насосов.

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 (и более) штук. В работе может находиться до 80% агрегатов в зависимости от требуемой производительности. Некоторые насосные станции характеризуются относительно небольшим диапазоном изменения расхода, а некоторые – большим (от минимального значения, меньше номинальной производительности одного агрегата $Q_{мин}<Q_{ном1}$, до максимального значения, равного производительности нескольких агрегатов $Q_{макс}>>Q_{ном1}$). Во втором случае производится включение/отключение дополнительных насосов (основной насос плюс дополнительные насосы). Включение/отключение дополнительных насосов может производиться либо в ручном режиме оператором, либо автоматически станцией управления. В последнее время широко стали применяться станции управления с частотным регулированием (СЧУ).

По принципу построения системы СЧУ можно разделить на три группы [1]:

1. СЧУ с индивидуальными преобразователями частоты (ПЧ) на каждый насосный агрегат группы.
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).

Групповое управление предполагает переключения (подключение/отключение) дополнительных насосных агрегатов по определенному алгоритму.

В качестве основного критерия (условия) недостаточной/избыточной производительности может быть либо отклонение реального значения производительности насоса от заданного (например, номинального) значения, либо отклонение реального значения технологического параметра от заданного значения – ошибка регулирования технологического процесса (предполагается, что станция автоматического управления замкнута по технологическому параметру – давлению, уровню в резервуаре и т.д.). Второе используется наиболее часто в связи с тем, что первый способ требует информации о текущей производительности насоса. Для этого требуется либо установка расходомеров в каждый насос, что практически не реально, либо косвенное вычисление текущей производительности насосов, находящихся в работе [2]. На рисунках 1 и 2 изображены оба варианта. На рисунках заданное значение давления $H_{зад}$ (максимальное) на 20% ниже номинального, что обычно

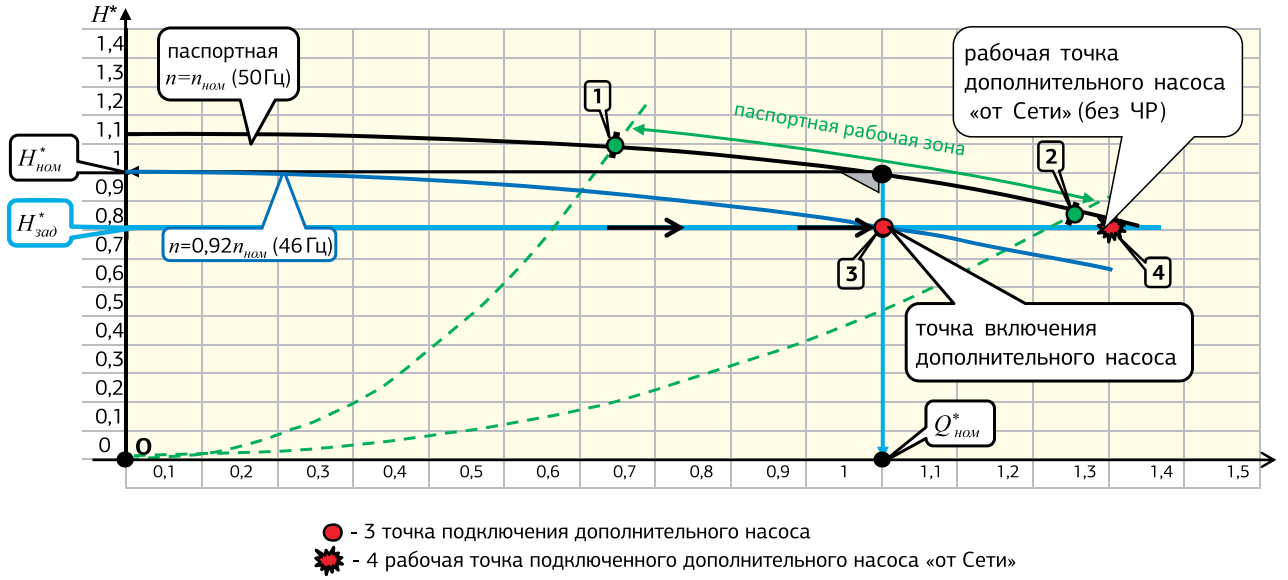

Рисунок 1

Критерий подключения дополнительного насоса $Q_{нас}=Q_{ном}$ (подключение происходит на частоте 46 Гц-точка 3).

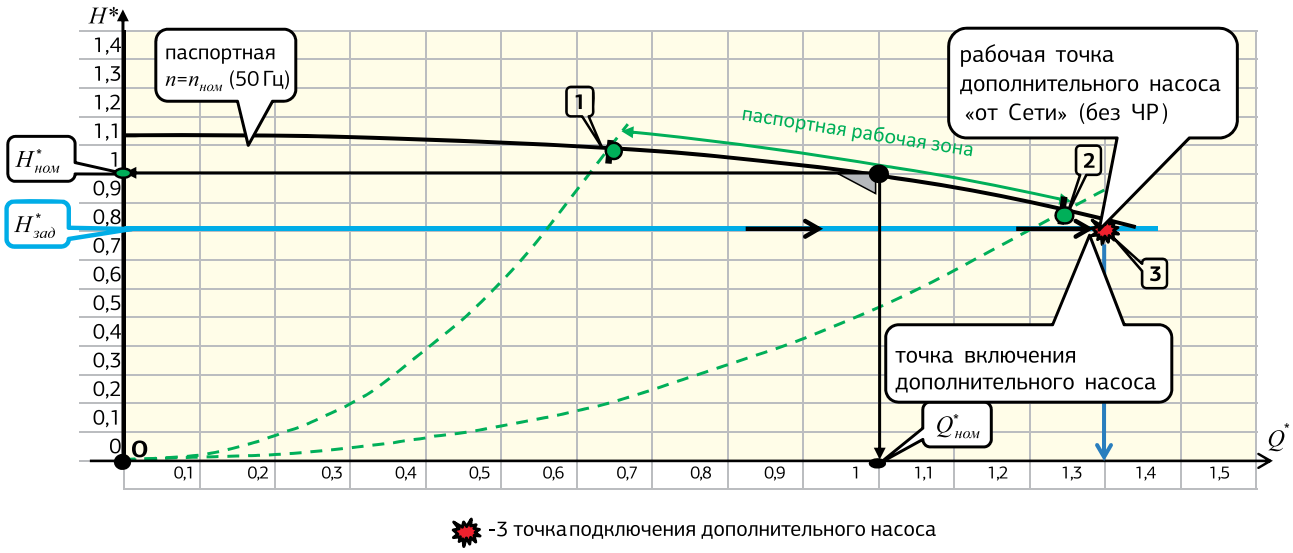

Рисунок 2

Критерий подключения дополнительного насоса по технологическому параметру $H_{нас}=H_{зад}$ (подключение происходит на частоте 50 Гц; насос перегружен-точка 3).

соответствует действительности (насос, как правило, выбирают с запасом). Все характеристики на рисунках представлены в относительных единицах (за базовую величину приняты соответствующие номинальные параметры насоса). Напорная характеристика насоса и его рабочая зона взяты условно и соответствуют центробежному насосу для чистой воды с коэффициентом быстроходности (крутизной напорной характеристики) равным 1,2 [3]. На рисунках показана траектория движения рабочей точки основного насоса с частотным регулированием (ЧР) до точки выполнения условия соответствующего критерия, при котором происходит включение дополнительного насоса. Изображения соответствуют включению дополнительного насоса непосредственно «от Сети» при полностью открытой напорной задвижке.

В первом варианте (критерий подключения дополнительного насоса по производительности, на рисунке 1 это при $Q_{нас}=Q_{ном}$)

дополнительный насос, если он подключается непосредственно к сети, при полностью открытой напорной задвижке, может оказаться в перегрузке, как показано на рисунке 1. Это происходит потому, что включение дополнительного насоса происходит не на 50 Гц работы основного насоса. Вообще, ситуация на рисунке 1 крайне нехорошая. Точка 4 соответствует производительности насоса равного 1,3. А если расход всей станции равен 1 (точка подключения дополнительного насоса), то замкнутая система по давлению просто развалится (насос с частотным регулированием будет работать с нулевой производительностью, а дополнительный насос будет работать с номинальной производительностью – его рабочая точка будет находиться в координатах $[H_{ном}, Q_{ном}]$ естественной характеристики, что выше заданного значения). Это будет продолжаться, пока расход станции не увеличится до значения 1,3. При этом система замкнется, и вступит в работу насос с частотным регулированием, правда его рабочая точка будет находиться в недопустимой «левой» зоне. Решение проблемы возможно либо путем оснащения дополнительного насоса системой частотного регулирования, либо применения алгоритма контролируемого открытия напорной задвижки дополнительного насоса [2]. Отметим, что с точки зрения энергетики предпочтение следует отдать оснащению дополнительного насоса системой частотного регулирования с синхронным управлением.

Во втором варианте (критерий подключения дополнительного насоса по технологическому параметру, на рисунке 2 это при отклонении $H_{нас}=H_{зад}$) подключение дополнительного насоса происходит при достижении частоты питания основного насоса максимального установленного значения, например, 50 Гц (при этом происходит отклонение давления от заданного значения на определенную величину). Дополнительный насос, если он подключается непосредственно к сети, при полностью открытой напорной задвижке, оказывается в той же рабочей точке. Основной насос при этом будет работать с нулевой производительностью. С ростом расхода станции вступит в работу насос с частотным регулированием (основной), правда его рабочая точка будет находиться в недопустимой «левой» зоне. Решение проблемы здесь точно такое же – либо путем оснащения дополнительного насоса системой частотного регулирования, либо применения алгоритма контролируемого открытия напорной задвижки дополнительного насоса [2]. С точки зрения энергетики здесь также предпочтение следует отдать оснащению дополнительного насоса системой частотного регулирования с синхронным управлением.

Следует заметить, что в случае СЧУ с одним ПЧ (когда дополнительные насосы подключаются непосредственно к сети, без частотного регулирования и дросселирования) независимо от способа (критерия), при включении дополнительного насоса, основной насос с частотным регулированием всегда будет работать в левой недопустимой зоне. Это принципиально, если в работе есть насос регулируемый и насос нерегулируемый, производительность которого можно изменить только дросселированием [2].

Сравнивая вышеописанные два способа можно сказать, что:

- Первый способ подключения дополнительных насосов по критерию производительности в большей степени подходит для систем СЧУ с индивидуальными преобразователями частоты на каждый насосный агрегат. А так как такие системы СЧУ предполагают синхронное управление насосами по скорости вращения, то систему управления (в части выявления недостаточной/избыточной производительности) можно строить на основании анализа работы одного насоса (предполагая, что остальные насосы работают синхронно).

- Второй способ подключения дополнительных насосов по критерию технологического параметра в большей степени подходит для систем СЧУ с одним ПЧ на группу насосных агрегатов. По крайней мере, здесь не будет эффекта размыкания системы и, соответственно, ее работа с повышенным давлением (напором). Однако, необходимо помнить о возможной перегрузке насосов и работе частотно регулируемого насоса в левой, недопустимой зоне.

Дополнительным критерием является, как правило, величина токовой загрузки агрегатов. Увеличение/снижение токовой нагрузки агрегата может свидетельствовать о необходимости запуска/останова дополнительного агрегата.

Имеет смысл сопоставить эти критерии – критерий подключения дополнительного насоса по технологическому параметру и критерий подключения дополнительного насоса по уровню

токоограничения ПЧ. Другими словами, оценить действие токоограничения на критерий подключения дополнительного насоса по технологическому параметру. Для этого на напорную характеристику насоса нанесем линии токоограничения.

Линия токоограничения это фактически линия постоянства мощности приводного электродвигателя. Действительно, учитывая, что мощность и насоса, и электродвигателя есть мощность на их валах, можно сказать, что они равны ($N^*_{эл\,дв} = N^*_{нас}$). При этом:

$$N^*_{эл\,дв} = N^*_{нас} = M^* \cdot n^*, \quad (1)$$

где M^* – крутящий момент на валу,

n^* – частота вращения вала (все в относительных единицах к номинальным параметрам).

Для асинхронных электродвигателей момент пропорционален моментообразующей составляющей тока. А при постоянстве потокосцепления (что обеспечивается практически всеми алгоритмами управления асинхронными электродвигателями) и моменте в окрестности номинального значения момент пропорционален общему току электродвигателя. Поэтому вполне можно утверждать, что линия постоянства мощности в окрестности номинального значения момента характеризует токовую загрузку электродвигателя. На рисунке 3 показаны расчетные характеристики этих линий.

Расчет выполнен по соотношению:

$$H^* = (1/Q^*) \cdot \eta^*_{нас} \cdot N^*_{нас} \quad (2)$$

Линии рассчитаны для трех фиксированных значений $N^*_{нас}=0,75;\ 1,0;\ 1,2$. При этом КПД насоса принят равным $\eta^*_{нас} \sim 1$. Случай $N^*_{нас}=1,2$ является вполне реальным (двигатель обычно берется на 20% больше, а токоограничение ПЧ устанавливается обычно равным номинальному току двигателя). На этом же рисунке приведена расчетная кривая напорной характеристики при $n^*=0,75$. Расчет произведен по уравнению [3]:

$$H^* = H^*_{ф} \cdot n^{*2} - S^*_{ф} \cdot Q^{*2} \quad (3)$$

Точки 1 и 2, которые использованы для расчёта коэффициентов $H^*_{ф}$ и $S^*_{ф}$, есть границы рабочего диапазона ($H^*_1=1,08;\ Q^*_1=0,75;\ H^*_2=0,9;\ Q^*_2=1,2;$ рисунок 3).

Анализ линий постоянства мощности и соответствующих кривых напорных характеристик показывает, что при $n^*=1$ и $M^*=1$, при производительности насоса правее номинальной точки происходит перегрузка насоса (линия постоянства

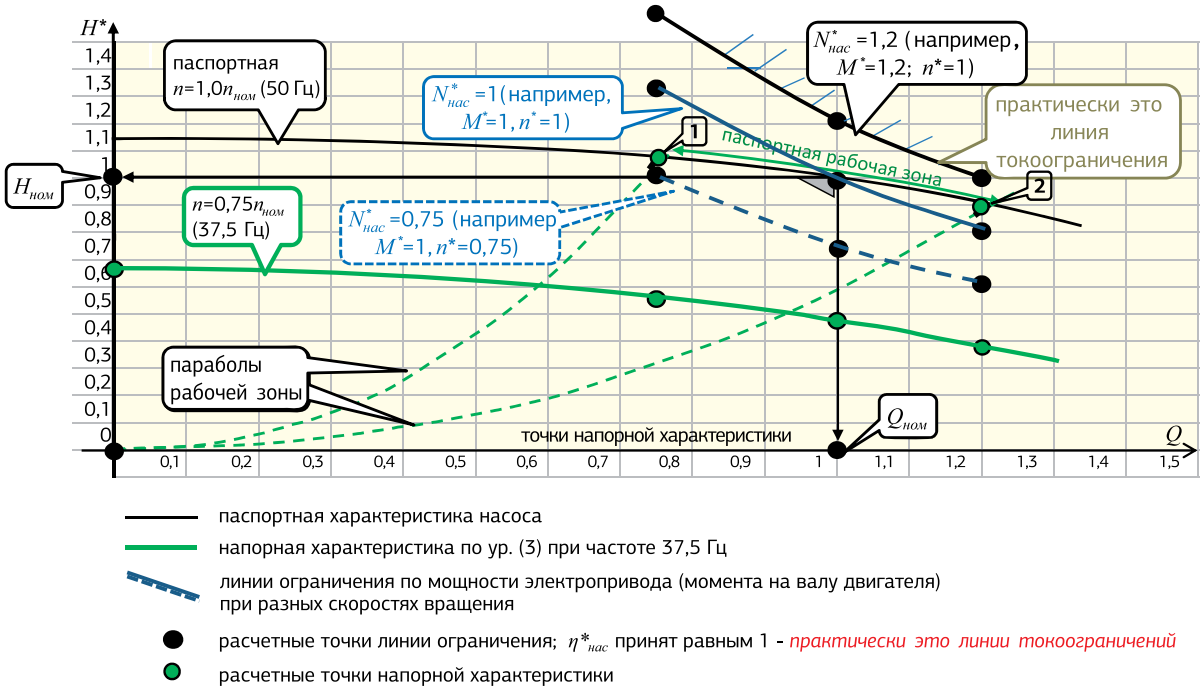

Рисунок 3
Ограничение по мощности, влияние токоограничения (все в относительных единицах).

мощности при $N^*_{нас}=1$ проходит ниже паспортной напорной характеристики). Другими словами, если токоограничение ПЧ установлено на уровне, соответствующем номинальной мощности насоса (токоограничение вступит раньше, чем возможная перегрузка). Перегрузка насоса допустима, если двигатель выбран с запасом (кривая постоянства мощности при $N^*_{нас}=1,2$ на рисунке 3).

При частотах вращения $n^*<<1$ кривая ограничения по мощности проходит значительно выше соответствующей напорной характеристики (кривые на рисунке 3 при $n^*=0,75$) – перегрузка насоса здесь не достижима. Таким образом, если токоограничение ПЧ установлено на уровне, соответствующем номинальной мощности насоса, то оно вступит в работу только при частотах вращения, близких к номиналу.

Заметим, что функция токоограничения есть в ПЧ практически всегда, независимо от критерия. При вступлении в работу токоограничения обычно в системе происходит снижение частоты. В результате увеличивается отклонение давления и происходит подключение дополнительного насоса.

Литература:

1. А.В. Гордейчик, А.В. Попов, А.П. Усачев. Алгоритмы группового управления насосными агрегатами. // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. №2.
2. А.П. Усачев. Управление параллельной работой центробежных насосов. // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. №2.
3. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б.С. Лезнов. М.: Энергоатомиздат, 2006.

НОВОСТИ

В Кировграде новая станция водоподготовки обеспечит весь город чистой питьевой водой (Свердловская область)

В Кировграде построена и введена в эксплуатацию новая станция водоподготовки, современное технологическое оборудование которой не только обеспечит жителей города качественной питьевой водой, но и создаст муниципалитету условия для строительства как минимум еще 10 тысяч квадратных метров жилфонда. Старт работе инфраструктурного объекта дал министр энергетики и ЖКХ Свердловской области Николай Смирнов.

Водоснабжение Кировграда осуществляется из двух источников – Ежовского месторождения подземных вод и озера Шигирского. Действовавшие здесь до сих пор очистные сооружения давно исчерпали свой физический и технологический ресурс и со своей главной задачей практически уже не справлялись. В совокупности с неудовлетворительным состоянием разводящих трубопроводов все это приводило не только к сверхнормативному расходу подаваемой в город питьевой воды, но и серьезно отражалось на ее качестве.

Масштабная модернизация системы, направленная на увеличение забора воды из подземного источника и ее подготовку до нормативных параметров, началась в 2017 году и осуществлялась в рамках сразу двух инвестиционных проектов. В комплексе со станцией водоподготовки мощностью 13,3 тысячи кубометров в сутки здесь построили две насосные станции мощностью 555 кубометров в час, четыре резервуара для чистой воды объемом по 150 кубометров и проложили два новых водовода от скважин Северо-Ежовского и Южно-Ежовского участков подземных вод.

Все работы осуществлялись за счет областного и местного бюджетов. Финансирование из региональной казны по ним составило почти 303 миллиона рублей, из бюджета города – более 35 миллионов.

В настоящее время в Кировграде завершается строительство еще одной насосной станции мощностью 11,4 тысячи кубометров и двух резервуаров чистой воды объемом 12 тысяч кубометров.

Источник: Правительство Свердловской области.