



ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ALTIVAR PROCESS КОМПАНИИ SCHNEIDER ELECTRIC

СЕРГЕЙ ДОВГИЛЕНКО, К. Т. Н., ДМИТРИЙ БЕЛЯЕВ

На российском рынке приводной техники компания Schneider Electric представлена широким ассортиментом преобразователей частоты: от устройств, позволяющих решать локальные задачи управления электродвигателем, до тех, которые управляют технологическими процессами. В статье рассматриваются преобразователи частоты Altivar Process ATV600, предназначенные для управления технологическим процессом в системах водоснабжения и водоотведения без применения дополнительных программируемых логических контроллеров.

За последние несколько десятилетий промышленный электропривод сильно изменился благодаря внедрению регулируемого электропривода переменного тока. В производственных процессах, где традиционно использовался нерегулируемый привод, стало возможно усовершенствовать технологии. А те, кто ранее применял асинхронный электродвигатель со ступенчатым изменением скорости или регулируемый электропривод постоянного тока, смогли перейти на сравнительно дешевые и надежные в работе приводы на основе асинхронного электродвигателя с глубоким регулированием скорости вращения.

Регулирование скорости вращения электропривода осуществляется с помощью преобразователя частоты (ПЧ) — устройства, позволяющего преобразовать напряжение сети с фиксированной частотой и амплитудой в напряжение регулируемых частоты и амплитуды для питания электродвигателя.

Массовому производству ПЧ и их широкому распространению

способствовало появление новых поколений полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов, а также доступность быстродействующих микропроцессоров. С развитием микропроцессорной техники стали широко использоваться скалярные и векторные законы управления и их гибриды для управления электроприводом переменного тока, что позволило сделать его механические и регулировочные характеристики близкими к характеристикам электропривода постоянного тока с независимым возбуждением. Как следствие, электропривод переменного тока получил возможность работать с различными типами нагрузок при регулировании скорости вращения. В результате по мощности, диапазону регулирования скорости и точности ее поддержания он стал отвечать требованиям промышленности, сельского хозяйства, транспорта, систем водоснабжения и водоотведения, а также медицинской и военной техники.

Дальнейшее развитие ПЧ, на наш взгляд, должно быть направлено

на интеграцию функции регулирования скорости электродвигателя, его защиты и мониторинга с автоматизированной системой управления технологическими процессами (АСУ ТП). Что, в свою очередь, должно привести к уменьшению количества элементов системы управления, упрощению настройки и программирования оборудования и, как следствие, снижению затрат на внедрение. При этом такие системы должны отвечать требованиям повышения надежности работы оборудования, функциональной безопасности и обеспечивать экономию энергопотребления [1, 2].

Первым шагом к объединению системы управления и ПЧ была реализация в преобразователе частоты ПИ- и ПИД-регуляторов для организации внешнего по отношению к контуру скорости контура управления технологическим параметром.

В ассортименте оборудования компании Schneider Electric идея интеграции АСУ ТП с преобразователем частоты наиболее полно отвечает серия Altivar Process. Оче-

видно, что в рамках предложенной концепции для того, чтобы продукт не был информационно перегружен, а наоборот, был прост в настройке и формировании необходимых прикладных функций, компании, производящие приводную технику, должны выпускать несколько типов ПЧ, каждый из которых предназначен только для определенной группы технологических процессов, ориентированных на конкретные задачи. Серия ПЧ Altivar Process включает преобразователи частоты ATV600 и ATV900. ATV600 предназначены для управления механизмами в технологических процессах, где не требуется высокой динамики и широкого диапазона регулирования скорости – например, в системах водоснабжения и водоотведения, в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также в некоторых видах конвейеров. Преобразователи частоты Altivar Process ATV900, напротив, рекомендуется использовать в системах с высокой динамикой, высокой точностью поддержания скорости, большой глубиной регулирования и в системах, где необходимо изменение направления вращения и рекуперация электроэнергии — в частности, в приводах станков, в подъемных механизмах и механизмах перемещения.

Рассмотрим применение ПЧ Altivar Process ATV600 в качестве автоматизированной системы управления (АСУ) насосной стан-

цией, работающей в режиме подачи воды потребителям городской или промышленной водопроводной сети. В таких насосных станциях технологическим параметром управления является напор, стабилизация которого приводит к экономичному режиму работы.

Начнем с примера использования ПЧ Altivar Process ATV 600 на насосной станции с одним основным насосным агрегатом и насосным агрегатом меньшей мощности, служащим для поддержания давления в трубопроводе при низком разборе. В этом случае АСУ насосной станцией будет состоять из следующих компонентов:

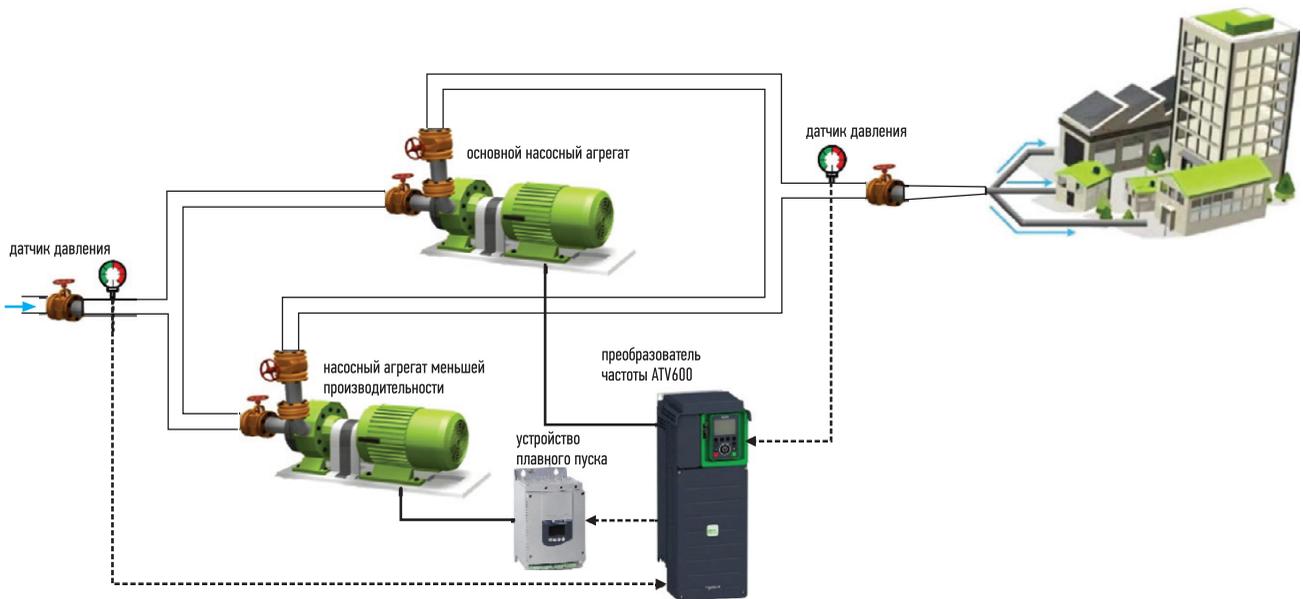
- насосного агрегата с регулируемым электроприводом на основе ПЧ;
- насосного агрегата с нерегулируемым электроприводом с плавным пуском, управляемым ПЧ;
- ПИД-регулятора, реализованного в ПЧ;
- датчика давления на выходе насосной станции, который подключен к аналоговому входу ПЧ, контролирующего требуемое значение давления.

Структура такой насосной станции показана на рис. 1. Задающим устройством может быть как графический терминал ПЧ, так и потенциометр, подключенный к аналоговому входу ПЧ, или сигнал, передаваемый по цифровому коммуникационному интерфейсу с верхнего по отно-

шению к насосной станции уровня управления. Контур регулирования насосной станцией настраивается на физические единицы, в которых измеряется давление: паскалы, бары, метры и т. п.

Количество потребителей воды в городской или промышленной водопроводной сети может меняться в зависимости от времени года, времени суток и особенностей технологического процесса. При этом с уменьшением потребителей расход воды падает, а напор растет, при увеличении — расход растет, а напор падает. В рассматриваемой автоматизированной насосной станции напор поддерживается постоянным за счет регулирования скорости вращения насосного агрегата. В случае снижения количества потребителей скорость уменьшается до тех пор, пока насосная характеристика не пересечет гидравлическую характеристику сети в точке с заданным давлением. При увеличении количества потребителей характеристика сети изменяется и скорость начинает расти. Снижение частоты вращения при регулировании давления по сравнению с дросселированием приводит к значительному снижению энергопотребления [3]. Однако при низких скоростях вращения нарушается однозначная зависимость между напором и подачей насосного агрегата, что характеризуется низким КПД насосного агрегата и повышенным потреблением электроэнергии по сравнению с насосным агрегатом,

РИС. 1. ▽ Структура насосной станции с одним основным насосным агрегатом





рассчитанным на меньший расход и работающим с постоянной частотой. В данной АСУ насосной станцией в режиме низкого расхода ПЧ задействует функцию «насос подкачки» [4], запускающую дополнительный насосный агрегат меньшей производительности с устройством плавного пуска. При низком расходе ПЧ переходит в режим «сон» [4], продолжая контролировать обратную связь по давлению. В этом режиме не производится зарядка звена постоянного тока ПЧ, за счет чего энергопотребление ПЧ снижается до минимума. Таким образом, в режиме «сон» экономия электроэнергии достигается как за счет введения насоса меньшего энергопотребления при снижении расхода, так и уменьшением энергопотребления основного насосного агрегата.

Для нормального функционирования насосной станции АСУ должна обеспечивать работу насосного агрегата на пределе запаса его прочности, а также в диапазоне частот, не допускающих явлений помпажа кавитации и перегрева насосного агрегата. Для этого в ПЧ настраиваются ограничения нижней и верхней скорости вращения.

Также АСУ должна предусматривать защиту оборудования насосной станции и гидравлической системы от режимов работы, при которых возможен их выход из строя: износ и разрушение рабочего колеса, перегрев насосного агрегата, износ корпуса насосного агрегата, разрушение подшипников, разрушение арматуры гидравлической системы и т. д. Основными необходимыми защитами являются: защита от сухого хода, защита работы насоса в режиме с низким расходом и защита от работы при низком давлении на входе.

В рассматриваемой АСУ насосной станцией обнаружить режим сухого хода насосного агрегата позволя-

ет сравнение измеренных значений мощности электропривода и скорости вращения с введенной в память ПЧ пороговой характеристикой «мощность электропривода – скорость вращения». При выявлении «сухого хода» насосный агрегат останавливается.

Для обнаружения низкого давления применяется датчик давления на входе системы, значение которого сравнивается с введенным значением, определенным либо по паспортным данным насосного агрегата, либо экспериментально. В случае выявления низкого давления преобразователь частоты выдает предупреждение и снижает задание давления для того, чтобы уравновесить его на входе и выходе системы.

Защита от низкого расхода в рассматриваемой АСУ насосной станцией реализуется на основе информации о текущем расходе, определяемом бездатчиковым методом. После обнаружения низкого расхода ПЧ выдает предупреждение, а если низкий расход сохраняется больше заданного времени, то диагностируется ошибка и насосный агрегат останавливается.

Чтобы использовать бездатчиковое определение расхода, в ПЧ вносятся характеристики насосного агрегата «расход — напор» или «расход — мощность». Пример введенных характеристик, отображаемых на экране графического терминала преобразователя частоты, показан на рис. 2. В зависимости от актуального значения давления или мощности определяется текущий расход. При работе насосного агрегата эти характеристики масштабируются в соответствии со скоростью вращения. Для более точного определения расхода по измеренному значению давления или мощности вводятся поправочные коэффициенты, определяемые эксперименталь-

но [4]. В рассматриваемом примере насосной станции для бездатчикового определения расхода используется характеристика «расход — напор».

Помимо описанных выше функций защиты для обеспечения безопасной работы насосных агрегатов в ПЧ настраиваются следующие функции:

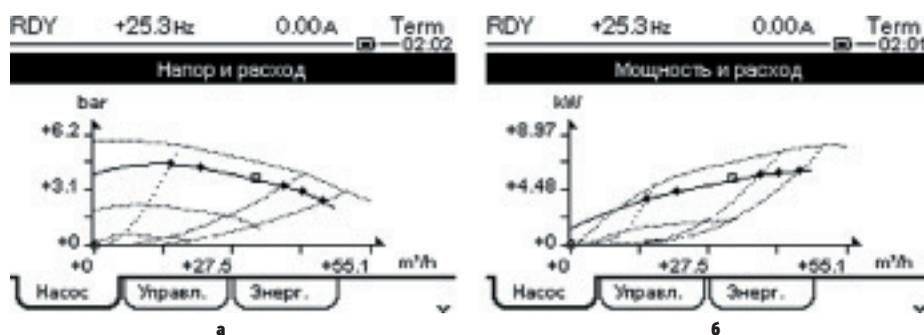
- ограничение расхода;
- контроль верхнего расхода;
- контроль теплового состояния насоса;
- режим контроля давления на выходе;
- заполнение трубы перед пуском насосной станции;
- контроль обратной связи ПИД-регулятора.

Теперь рассмотрим структуру АСУ насосной станцией с группой насосных агрегатов, подключенных параллельно. Такие насосные станции используются в том случае, когда в системе подачи воды расход меняется в широком диапазоне [3]. При работе с группой насосных агрегатов можно организовать их управление так, чтобы регулирование напора осуществлялось либо одновременно несколькими насосными агрегатами, либо только одним ведущим насосным агрегатом при работе других с фиксированной скоростью вращения. В первом случае нагрузка между насосными агрегатами распределяется равномерно и они имеют одинаковый КПД. Во втором случае нерегулируемые насосные агрегаты могут работать либо с номинальной скоростью, либо со скоростью, на которой насосный агрегат имеет максимальный КПД.

В качестве примера АСУ насосной станцией, в которой для регулирования давления в сети используется группа насосных агрегатов, рассмотрим систему, показанную на рис. 3.

Рассматриваемая система состоит из трех одинаковых насосных агрегатов с регулируемым электроприводом на основе преобразователей частоты Altivar Process ATV 600: одного ведущего и двух ведомых. В ведущем ПЧ реализован контур управления напором с ПИД-регулятором, к которому сигнал обратной связи приходит с датчика давления на выходе насосной станции. При этом датчик подключен к аналоговому входу ПЧ. Также в рассматриваемой насосной станции к ПЧ подсоединены датчики давления на входе

РИС. 2. ▼
Отображение на графическом терминале ПЧ введенных характеристик насосного агрегата:
а) «расход—напор»;
б) «расход—мощность»



системы и датчик расхода системы. Задающее устройство может быть реализовано либо посредством графического терминала преобразователя частоты, либо с помощью внешнего по отношению к насосной станции устройства управления, сигнал от которого передается в ПЧ по коммуникационному интерфейсу. Ведущий ПЧ объединен с ведомыми по сети Ethernet IP. Значения сигналов, принимаемых от датчиков давления и расхода, отображаются и используются в системе в физических единицах, в которых измеряются датчиками: для давления — это паскалы, бары, метры и т. п., для расхода — литры в час, кубические метры в час и т. п.

Подключение и отключение ведомого насосного агрегата может осуществляться по следующим признакам [4]:

- по превышению заданного значения скорости вращения насосного агрегата;
- по заданному значению выходного давления;
- по оптимальному значению потребляемой электроэнергии.

Также подключение может происходить по превышению заданного значения скорости вращения насосного агрегата или по заданному значению выходного давления, а отключение — при уменьшении расхода на выходе насосной станции. При этом для получения информации о расходе можно использовать его бездатчиковое определение по заданным характеристикам насосного агрегата.

В данной статье рассматривается вариант управления насосной станцией, при котором отключение и подключение ведомого насосного агрегата происходит по критерию оптимального энергопотребления. Ведущий насосный агрегат, в случае увеличения расхода насосной станции и уменьшения КПД насосного агрегата, подключает ведомый насосный агрегат. При этом скорость подключаемого насосного агрегата растёт, а скорость текущего — снижается до уровня, при котором обеспечивается требуемое давление сети. В результате увеличение расхода приводит к росту КПД насосных агрегатов.

Для организации подключения и отключения ведомых насосных агрегатов по критерию оптимального энергопотребления в ПЧ вводятся характеристики «расход–напор»

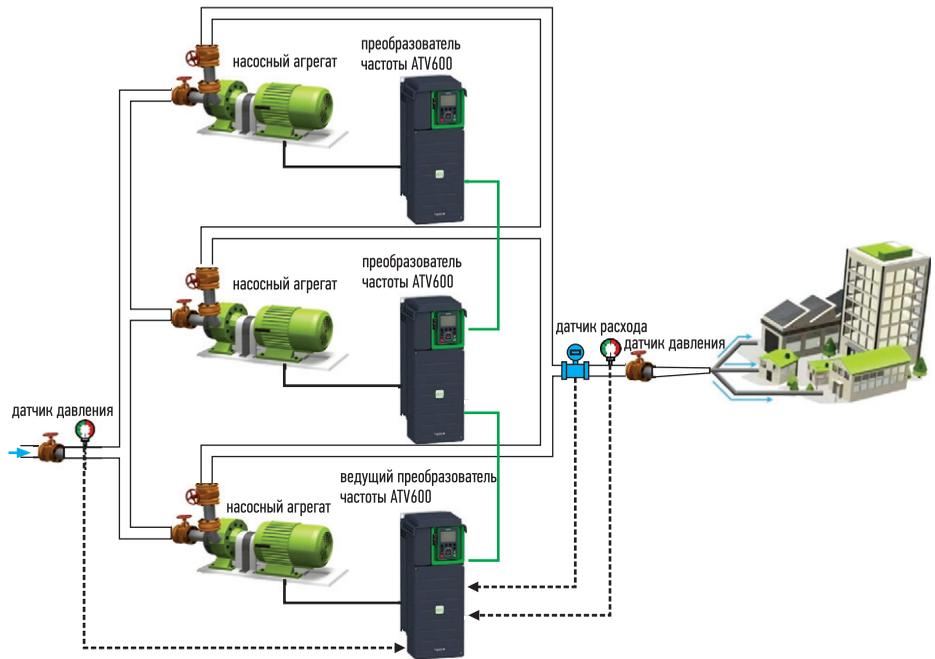


РИС. 3. ▲ Структура насосной станции с группой насосных агрегатов

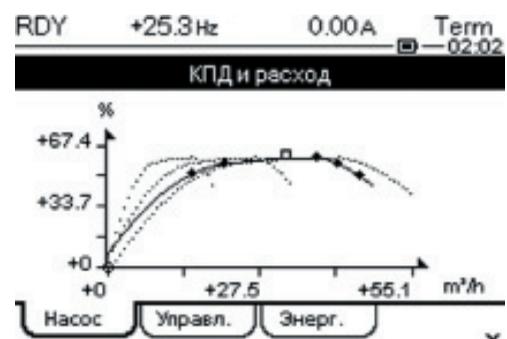
и «расход–мощность» насосного агрегата, а также точка работы с максимальным КПД. По этим характеристикам рассчитываются значения КПД при различных значениях расхода и напора. Пример вычисленных значений КПД, отображаемых на экране графического терминала преобразователя частоты, показан на рис. 4. Значения КПД соответствуют характеристикам насосного агрегата, приведенным на рис. 2. При работе насосного агрегата значения КПД масштабируются в зависимости от текущей скорости вращения. Для точного определения величины КПД по измеряемым значениям давления, расхода и мощности вводятся поправочные коэффициенты, определяемые экспериментально [4].

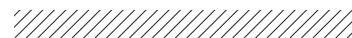
При работе группы насосных агрегатов необходимо обеспечивать надежное функционирование насосной станции, что достигается определением рабочей области каждого насосного агрегата, в которой обеспечивается его надежное и устойчивое функционирование при оптимальном КПД. В приведенной насосной станции с группой насосов ограничения и защиты каждого насосного агрегата могут быть настроены так же, как и в рассмотренной ранее насосной станции с одним основным и одним дополнительным насосными агрегатами.

При выборе подключаемого ведомого насосного агрегата можно сделать так, чтобы время работы каждого насосного агрегата было одинаковым. Чтобы время работы ведущего насосного агрегата не превышало время работы других, а также для того, чтобы ведущий насосный агрегат можно было остановить для проведения регламентных или ремонтных работ и при этом насосная станция продолжала бы работать, можно передать роль ведущего ПЧ любому из ведомых [4].

Рассматриваемая АСУ насосной станцией может как быть автономной, так и входить в состав более сложной системы управления технологическим процессом водоснабжения [5]. Для связи с системой управления верхнего уровня

РИС. 4. ▼ Отображение на графическом терминале ПЧ графика КПД насосного агрегата





в преобразователях частоты Altivar Process можно использовать встроенные коммуникационные интерфейсы Modbus RTU и Modbus TCP/Ethernet IP или дополнительно встраиваемые интерфейсы ProfiNet, CANopen, Profibus DP V1 и DeviceNet. При этом АСУ насосной станцией получает от системы управления верхнего уровня задание регулируемого параметра и передает обратно его текущее значение, значение дополнительных параметров (в нашем случае — значение расхода насосной станции и давления на входе и на выходе станции), потребляемую мощность и расход электроэнергии, измеряемые преобразователями частоты Altivar Process, а также текущее состояние насосной станции.

Чтобы обеспечить промышленную безопасность технологических процессов, преобразователи частоты серии Altivar Process имеют встроенную функцию безопасного отключения крутящего момента Safe Torque Off (STO) [2]. Функция STO позволяет по внешнему сигналу снять питание с электродвигателя, а также предотвратить его несанкциониро-

ванный запуск. При этом скорость реакции на внешний сигнал значительно выше, чем у снятия питания с электродвигателя или ПЧ с помощью механического контактора. Функция STO в ПЧ Altivar Process обеспечивается с уровнем надежности SIL3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрены примеры АСУ насосной станцией, работающих в режиме подачи воды потребителям городской или промышленной водопроводной сети. Основным элементом системы является преобразователь частоты Altivar Process ATV600, в котором заложены функции управления группой насосных агрегатов с организацией замкнутого контура управления по давлению или расходу.

Показано, что предложенная система управления позволяет снизить энергопотребление насосной станции не только за счет регулирования расхода или давления посредством изменения скорости вращения рабочего колеса, но и благодаря снижению энергопотребления при низком расходе и введению управ-

ления группой насосных агрегатов, которые работают в зоне оптимального КПД.

В предложенных системах используются встроенные в ПЧ различные функции защиты электродвигателя, насосного агрегата и гидравлической системы, что позволяет повысить надежность работы всего оборудования насосной станции, осуществить мониторинг энергопотребления и исключить установку дополнительных шкафов управления и индикации. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ.
2. ГОСТ Р МЭК 61800-5-2-2015 «Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью. Часть 5-2. Требования функциональной безопасности».
3. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок / М.: Машиностроение, 2013.
4. Altivar Process. Преобразователи частоты ATV630, ATV650, ATV660, ATV680. Руководство по программированию. 05.2017.
5. Зуев К. И. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2016.