

# Регулируемый привод в насосных установках

**Применение в жилищно-коммунальном хозяйстве регулируемых электроприводов, в том числе станций управления группой насосных агрегатов, позволяет значительно сократить эксплуатационные расходы, и в частности расходы на электроэнергию.**

**Дмитрий Петров**

demien80@mail.ru

**Назначение насосных станций**

Основными потребителями электроэнергии в нашей стране являются производственные предприятия и объекты ЖКХ. Большая часть электроэнергии потребляется электроприводами насосов и вентиляторов. Стоимость электроэнергии в общей сумме эксплуатационных расходов на водопроводно-канализационных предприятиях в случае использования поверхностных вод составляет 40–50%. При использовании подземных вод этот показатель увеличивается до 70–80%. Как показывает статистика, в процессе перекачки чистых и сточных вод нерационально расходуется 5–15% энергии. В отдельных случаях этот показатель возрастает до 20–50%.

Насосным агрегатом называется насос с электроприводом и передаточным механизмом (муфтой, редуктором, шкивом). В совокупности с оборудованием, обеспечивающим его работу в требуемом режиме, он образует насосную установку. Сооружение, в состав которого входят одна или несколько насосных установок и вспомогательные системы, обеспечивающие работоспособность объекта в целом, называется насосной станцией.

Насосные водопроводные станции в зависимости от места, занимаемого в общей системе водоснабжения, подразделяют на станции 1-го, 2-го, 3-го и последующих подъемов и канализационные. Их назначение показано в таблице.

**Таблица**

Объект	Задача
Насосная станция 1-го подъема	Управление глубинными насосами, расположенными в скважинах. Поддержание заданного уровня воды в накопительном резервуаре. Применяются в составе водоподъемных технологических сооружений совместно со станциями управления насосами 2-го и 3-го подъемов.
Насосная станция 2-го подъема	Создание давления в водопроводной сети, с забором воды из аккумулирующей емкости. Давление создается из расчета обеспечения застройки малой и средней этажности. Поддержание постоянного значения давления согласно суточному или недельному графику.
Насосная станция 3-го подъема (и последующих подъемов)	Создание и поддержание необходимого давления в трубопроводе с забором воды из станции 2-го подъема для зданий средней и высокой этажности. Поддержание постоянного значения давления или согласно суточному или недельному графику.
Канализационная насосная станция	В очистных сооружениях для перекачки дренажных вод, осушения подвалов жилых, производственных и прочих сооружений, котлованов и прочих емкостей во время строительных, спасательных и тому подобных работ.

**Особенности эксплуатации насосных станций**

**Автономность работы.** Автономная насосная станция не требует для обеспечения своей работы постоянного присутствия обслуживающего персонала. Его роль сводится к периодическим проверкам и профилактическим мероприятиям, призванным выявить и предупредить возможные неисправности в работе станции до момента их появления. Автоматическое управление насосными агрегатами также обеспечивает уменьшение числа аварийных ситуаций, вызванных влиянием человеческого фактора (например, невнимательностью или утомлением оператора).

**Контроль и управление.** Многие насосные станции расположены на достаточном удалении от населенных пунктов и, соответственно, от диспетчерского поста. Поэтому остается необходимость непрерывного контроля их состояния, а также выходного параметра работы станции (выходного давления в трубопроводе или уровня воды в резервуаре). Кроме того, станция должна иметь возможность приема и выполнения команд оператора.

**Защита насоса от работы в аварийных режимах.** В условиях недостаточного входного давления насос входит в режим кавитации. Это вызывает резкое уменьшение ресурса и далее — разрушение поверхности рабочего колеса и корпуса насоса. При выходе рабочей точки насоса за пределы рабочей области может возникнуть явление, называемое помпажем. В этом случае вся система работает неустойчиво, периодически меняется нагрузка на насосном агрегате, возникают механические вибрации и удары.

**Надежность работы.** Насосная станция должна оставаться работоспособной даже при выходе из строя отдельных ее блоков. Для этого применяется резервирование и дублирование элементов станции. Структура станции организована таким образом, чтобы позволить соединять блоки станции в различных комбинациях и исключать неработоспособные блоки из работы.

**Возможность ручного управления.** Станция обязана сохранять работоспособность в ручном

режиме при полном выходе из строя автоматики. Оператор должен иметь возможность ручного управления насосными агрегатами с кнопочного поста станции даже при полной неисправности системы управления.

### Оптимизация работы станции

Для объектов ЖКХ расход и давление жидкости изменяются непрерывно в течение суток, максимальный расход наблюдается в утренние и вечерние часы, минимальный — в ночные часы. Примерный суточный график водопотребления небольшого населенного пункта представлен на рис. 1.

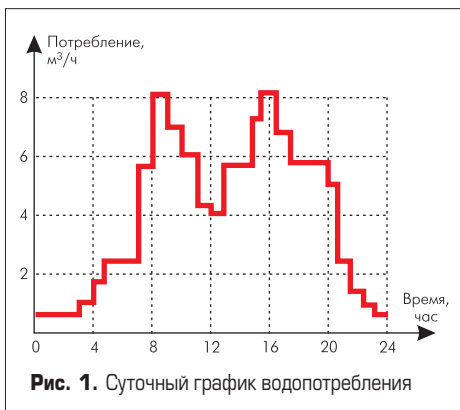


Рис. 1. Суточный график водопотребления

Далеко не всегда можно подобрать насосный агрегат, который сможет обеспечить требуемый расход жидкости при заданном давлении. Проще всего подобрать насос, который с запасом может выполнить поставленную задачу, а получившиеся «излишки» куда-нибудь сбросить. Самый простой способ — закольцевать выход насоса с его входом и установить перепускной вентиль, который будет регулировать поток обратной воды. Потребление электроэнергии электродвигателем в этом случае совершенно не зависит от производительности насоса.

Возможна периодическая работа насосного агрегата при управлении в старт-стопном режиме на демпфирующее устройство, обеспечивающее поддержание требуемого технологического параметра. Оно будет компенсировать

броски и провалы потока жидкости при пуске и остановке насоса. Классическим примером подобного регулирования является работа водонапорной башни. В связи с тем, что время работы электродвигателя существенно больше времени его пуска, можно считать, что КПД насоса близко к максимальному значению.

При работе насосной установки на аккумуляторную емкость регулирование режима работы осуществляется включением насосного агрегата при снижении уровня воды до заданного нижнего значения и отключением при достижении заданного верхнего значения. Если насосная установка состоит из нескольких агрегатов, режим ее работы отличается тем, что задается по несколько верхних и нижних уровней, при достижении которых изменяется число работающих агрегатов. С увеличением водопотребления частота включения-отключения агрегатов будет увеличиваться, так как объем жидкости в резервуаре расходуется быстрее.

Без использования аккумуляторной емкости с ростом водопотребления подачу приходится увеличивать. При уменьшении водопотребления подача воды и давление должны быть уменьшены. Приведение в соответствие водопотребления и подачи осуществлялось до настоящего времени изменением числа работающих насосных агрегатов или изменением степени открытия задвижек (затворов) на напорных линиях насосов и насосных установок.

Число включений-отключений насосных агрегатов при этом может достигать 40–50 в сутки. Для агрегатов большой мощности такое количество включений недопустимо, поэтому в насосных установках мощностью выше 150 кВт вместо этого применялось дросселирование потока воды задвижкой (устройством, которое за счет своего механического перемещения изменяет поперечное сечение трубопровода). При закрытии задвижки эффективное поперечное сечение трубопровода уменьшается. Вследствие этого подача воды уменьшается, а напор, развиваемый насосом, возрастает (рис. 2).

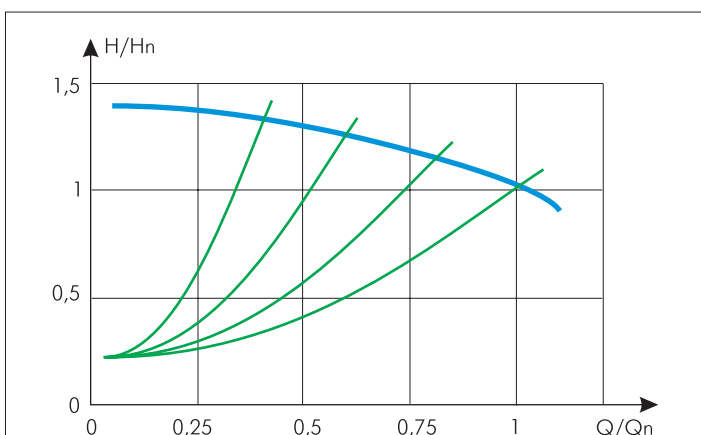


Рис. 2. Регулирование режима работы насоса дросселированием (вертикальная ось графика: напор насоса —  $H$ , горизонтальная ось: подача насоса —  $Q$ ; синяя линия — характеристика насоса, зеленые — характеристики трубопровода для разных положений задвижки)

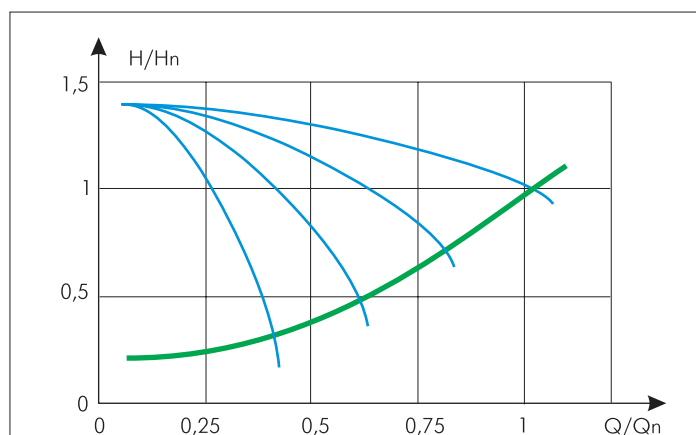


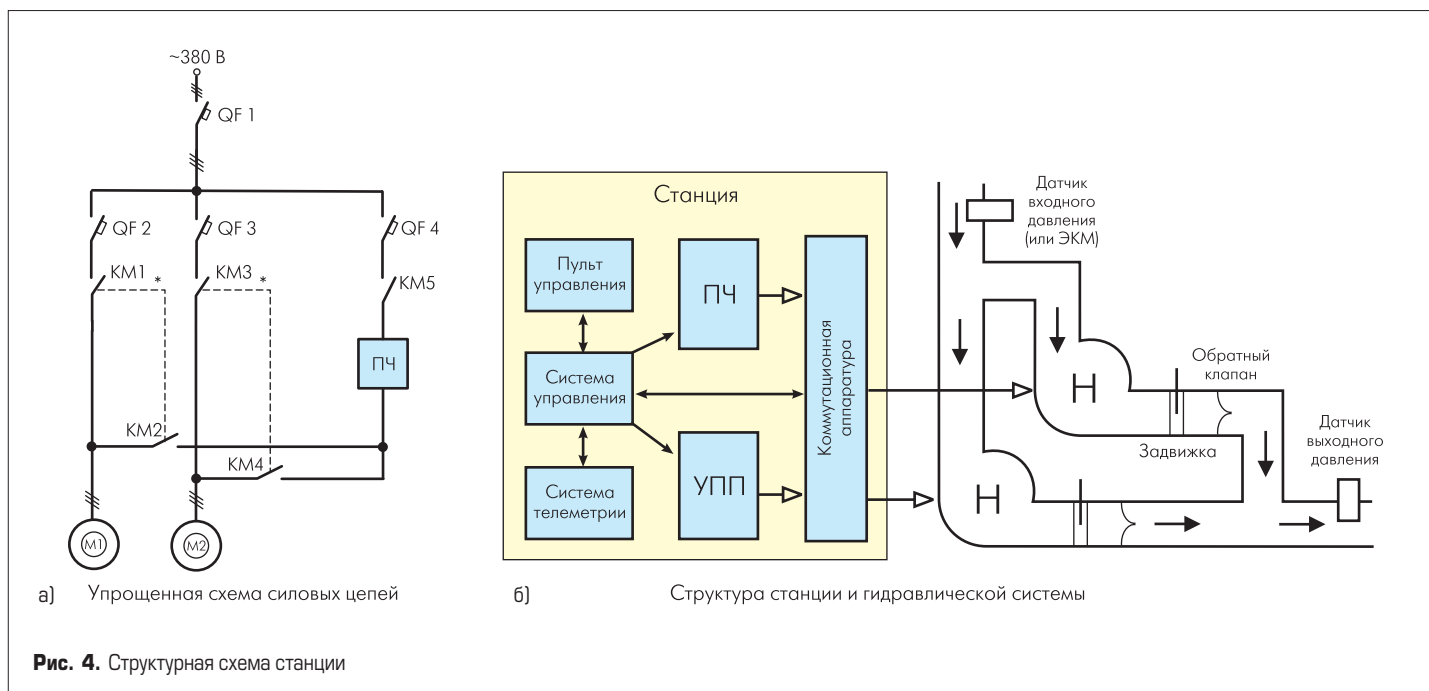
Рис. 3. Регулирование режима работы насоса изменением частоты вращения (вертикальная ось графика: напор насоса —  $H$ , горизонтальная ось: подача насоса —  $Q$ ; синие линии — характеристики насоса при разной частоте вращения, зеленая — характеристика трубопровода)

Мощность, потребляемая электродвигателем насоса, для этого способа регулирования также остается постоянной. Ее излишек расходуется на повышение давления в трубопроводе выше расчетного значения, что приводит к преждевременному износу трубопроводных систем и запорных устройств (клапаны, краны). Кроме того, это является причиной повышенного расхода воды у потребителей и утечек воды через стыки и щели.

Имеется еще одна серьезная проблема, возникающая при включении-отключении насосных агрегатов — гидроудар. Гидроудар — это ударное механическое воздействие движущейся с высокой скоростью границы раздела жидкость — воздух. Оно оказывает влияние на все части напорного трубопровода, создающие гидравлическое сопротивление (сужения, изгибы и разветвления трубопровода, задвижки и т. п.). Кроме того, в трубопроводе имеются дефекты — трещины, поры, расслоения, непровары швов, разрастающиеся при циклических, коррозионных, эрозионных воздействиях, от деформационного старения. При отключении насосного агрегата статический напор воды закрывает обратный клапан, и скорость движения столба жидкости резко падает до нуля. Кинетическая энергия несжимаемой воды вызывает резкий скачок давления в напорном трубопроводе и вызывает порывы ветхих участков труб и мест их соединений — соединительных муфт, фланцев.

### Применение регулируемого электропривода

В последние годы для управления насосными агрегатами стало удобно применять регулируемый асинхронный электропривод. Его применение позволяет производить плавный разгон и остановку мощных насосных агрегатов, исключая появление гидроударов в трубопроводе при запуске в работу нового двигателя. Кроме того, он позволяет плавно регулировать производительность насоса и, следовательно, значение выходного напора насосной установки (рис. 3).



Для плавного запуска и останова двигателя, а также для плавного регулирования скорости вращения (и производительности) насосного агрегата используется преобразователь частоты (ПЧ).

Плавное регулирование производительности используется, как правило, только для одного из имеющихся в составе установки насосных агрегатов. При недостатке диапазона регулирования (например, мощность регулируемого двигателя увеличивается до максимальной, но это так и не приводит к нужному увеличению давления) происходит изменение числа включенных в работу насосных агрегатов (включается дополнительный насосный агрегат, а мощность регулируемого — начинает вновь плавно увеличиваться). Таким образом, насосная станция имеет большой диапазон регулирования, но плавное регулирование скорости в каждый момент времени используется только для одного из насосных агрегатов.

Возможно также использование в составе насосной станции устройства плавного пуска (УПП), которое обеспечивает только плавный разгон и останов двигателя насоса, без регулирования его скорости во время работы. Необходимо заметить, что плавный пуск насосного агрегата значительно снижает броски тока в сети, уменьшает износ элементов электродвигателя, но не позволяет предотвратить гидроудар. Это связано с тем, что постоянная времени гидравлической системы значительно больше времени разгона двигателя насоса.

Для станций управления группой насосных агрегатов с автоматическим каскадным включением насосных агрегатов мощностью более 45 кВт ПЧ и УПП используются совместно: УПП используется для последовательного включения и отключения дополнительных насосных агрегатов, а ПЧ — для плавного регулирования частоты вращения одного из насосных агрегатов.

Совместно с системой управления и коммутационной аппаратурой ПЧ и УПП обра-

зуют станцию управления насосными агрегатами.

Применение регулируемого асинхронного электропривода для управления насосными агрегатами может обеспечить:

- плавный пуск электродвигателя, отсутствие механических нагрузок на двигатель и бросков тока в сети;
- отсутствие гидравлических ударов;
- эффективное использование потребляемой насосным агрегатом мощности во всем диапазоне регулирования;
- обеспечение коэффициента мощности двигателя насоса на значениях, близких к 1,0;
- снижение уровня шума при пуске и работе;
- обеспечение автономной и безопасной работы, интеграция в АСУ ТП.

#### Состав станции

Упрощенная электрическая схема силовых цепей показана на рис. 4а. Штриховой линией со звездочкой обозначена взаимная механическая блокировка контактных аппаратов, запрещающая одновременное подключение двигателя к сети и к ПЧ. Взаимодействие блоков станции и гидравлической системы показано на рис. 4б.

Необходимыми элементами станции являются одна или несколько насосных установок с дополнительным оборудованием, таким как задвижки (основной функцией которых является вовсе не регулирование давления в трубопроводе, а обеспечение условий нормального пуска насоса). К дополнительному оборудованию также относят обратные клапаны или вентили, предотвращающие обратное перемещение жидкости сквозь насос при его отключении.

Преобразователь частоты служит для плавного разгона и торможения насосного агрегата, а также для регулирования скорости его вращения во время работы.

Устройство плавного пуска является необходимым для пуска двигателей большой мощности (начиная примерно с 50–70 кВт).

В большинстве случаев УПП применяются также для плавного снижения частоты двигателя при его торможении. Однако при остановке насоса переходные процессы в трубопроводе носят гораздо менее разрушительный характер. Иногда используется и плавное торможение насосных агрегатов.

Система управления реализует большинство защитных и сервисных функций, производит управление коммутационной аппаратурой и обеспечивает согласованную работу всех блоков насосной станции.

Система телеметрии обеспечивает передачу на пульт диспетчера параметров состояния станции, сигналов возникновения аварийной ситуации и прием команд управления с пульта диспетчера. В качестве информационного канала могут использоваться различные сети передачи данных — от телефонной сети до радиоканала и каналов связи местных операторов сети GSM.

Датчики выходного параметра (датчик давления в трубопроводе или датчики уровня жидкости в резервуаре) обеспечивают систему управления входной информацией, на основании которой принимается решение об изменении выходного воздействия.

Коммутационная аппаратура по командам пользователя с кнопочного поста управления или по командам системы управления производит сборку заданного варианта силовой схемы. Это позволяет использовать один ПЧ или УПП для управления несколькими двигателями, например при смене рабочего двигателя или для последовательного запуска двигателей.

Пульт управления позволяет оператору производить управление автоматикой и просматривать состояние станции. В его состав входит кнопочный пост, который обеспечивает управление насосными агрегатами в ручном режиме, без участия системы управления (на случай аварийных ситуаций или неисправности системы управления).

### Функции насосных станций

**Поддержание давления в трубопроводе.** По сигналу от датчика давления, установленного в напорном трубопроводе, система управления автоматически изменяет частоту вращения рабочего колеса насоса, оперативно реагируя на изменение расхода жидкости и обеспечивая поддержание заданного давления с высокой точностью. Системой управления также производится подключение дополнительного насосного агрегата при недостаточной производительности основного.

**Поддержание уровня жидкости в аккумулярующем резервуаре.** По сигналам от датчиков уровня, расположенных в резервуаре, система управления изменяет приток или отток жидкости таким образом, чтобы уровень жидкости находился в заданном диапазоне.

**Управление задвижкой.** Система управления производит управление задвижкой для обеспечения необходимых условий запуска насосного агрегата. Запуск происходит на закрытую задвижку, после чего она открывается. Закрытие задвижки происходит после остановки насоса. Некоторые станции позволяют также регулировать выходное давление в трубопроводе изменением положения задвижки. Этот способ оказывается единственно возможным при выходе из строя преобразователя частоты.

**Определение и исключение неисправных блоков.** Если попытка запуска насосного агрегата с использованием ПЧ или УПП оказалась безуспешной, станция предпримет следующую попытку по истечении заданного времени. При исчерпании попыток перезапуска ПЧ или УПП будет сделана попытка запуска насоса напрямую от сети. Если и этот вариант не приведет к успешному запуску, насосному агрегату будет присвоен атрибут «аварийный», и он будет исключен из дальнейшей работы станции. Вместо него будет запущен следующий насосный агрегат. Подобным способом производится определение неисправности ПЧ или УПП и исключение их из работы станции. Аварийный останов станции произойдет только при полном отсутствии исправных насосных агрегатов. Подобный алгоритм обеспечивает высокую «живучесть» насосных станций, устойчивость к выходу из строя составных блоков станции.

**Автоматический ввод резервного электропитания (АВР).** Питание станции производится от нескольких (обычно двух) независимых вводов напряжения питания. Непрерывно производится контроль напряжения обоих вводов. При пропадании напряжения на основном вводе система управления переводит станцию на питание от резервного ввода. При появлении на основном вводе напряжения и сохранении его в течение заданного времени станция возвращается при необходимости на питание от основного ввода.

**Электронная защита двигателя.** Электронная защита позволяет защитить электродвигатель насоса от повышения и провала напряжения питания, перекоса фаз питающего напряжения, короткого замыка-

ния обмоток двигателя, перегрузки по мощности и холостого хода двигателя. Интегральная тепловая защита двигателя является аналогом теплового реле и позволяет программно рассчитать перегрев двигателя на основе непрерывного измерения тока обмоток и заранее остановить его, предотвратив выход двигателя из строя.

**Защита от недостаточного давления на входе** является необходимой для надежной работы насосных агрегатов. Позволяет избежать входа насоса в опасный режим — кавитацию, вызывающий быстрый износ насоса и выход его из строя. Защита обеспечивается электромеханическим устройством — электроконтактным манометром (ЭКМ) или аналоговым датчиком давления, установленным на входе насосного агрегата.

**Автоматическое чередование двигателей** производится для равномерной выработки ресурса всех имеющихся в составе станции двигателей. При различной мощности двигателей обычно есть возможность устанавливать более сложный алгоритм переключения двигателей, чем простое чередование.

**Работа по расписанию (график давления).** Так называют автоматическое изменение уставки поддерживаемого параметра в зависимости от дня недели и времени суток. Используя данные об изменении суточного расхода воды (рис. 1), насосная станция может реагировать на это изменение с опережением.

**Сбор дополнительной информации.** Дискретные входы аварии обеспечивают защиту станции от внешних непредвиденных ситуаций. К этим входам могут подключаться датчики охранной и пожарной сигнализации, датчики затопления машинного зала и др. Информация о срабатывании датчиков передается по системе телеметрии на пульт диспетчера.

### Экономия и окупаемость

Прямая экономия, возникающая при внедрении специализированных насосных станций:

- экономия электроэнергии за счет оптимизации энергопотребления электропривода при изменении значения регулируемого параметра.

Косвенная экономия:

- снижение утечек воды в системе горячего и холодного водоснабжения, связанных с избыточным давлением (увеличение давления в трубопроводе на 1 кг/см<sup>2</sup> обеспечивает увеличение утечек на 2–7%);
- снижение расходов воды потребителями, вызванных увеличением давления воды в трубопроводе;
- снижение расходов, направленных на аварийный, профилактический и капитальный ремонт водопроводных сетей и оборудования (как электродвигателей и насосов, так и запорной арматуры, пускозащитной аппаратуры).

Обычно для водопроводных насосных станций с учетом снижения расхода чистой воды и уменьшения сброса стоков в систему водоотведения срок окупаемости автоматизированной насосной станции составляет

1–2 года. Для канализационных насосных станций, где отсутствует экономия воды, срок окупаемости составляет 3–4 года.

### Сравнение станции и преобразователя частоты

В настоящее время ряд производителей преобразовательной техники выпускает преобразователи частоты с многомоторным управлением двигателями (ММС — Multi Motor Control) — дополнительной платой расширения, обеспечивающей возможности управления одним или несколькими дополнительными двигателями.

Зачастую поставщики преобразователей частоты, не зная специфики отечественного ЖКХ, выдают желаемое за действительное и предлагают такие преобразователи частоты в качестве дешевой альтернативы специализированным станциям управления группой насосных агрегатов.

Рассмотрим, может ли подобный преобразователь частоты заменить специализированную станцию управления насосными агрегатами.

Назначение функции многомоторного управления состоит в управлении (подключении или отключении) дополнительных двигателей, управляющих насосными агрегатами, для поддержания заданного технологического параметра. Непосредственно поддержание заданного параметра выполняется преобразователем частоты. Принципиальное отличие от станций управления насосными агрегатами заключается в том, как осуществляется управление остальными двигателями. Управление ими происходит путем изменения логического уровня на соответствующем дискретном выходе платы расширения преобразователя.

Преобразователь с функцией ММС можно запрограммировать, указав частоты включения и отключения дополнительных двигателей, время задержки на включение и отключение, а также схему чередования двигателей. Обычно обеспечивается несколько вариантов чередования двигателей:

- отсутствие чередования;
- чередование только дополнительных двигателей;
- чередование всех двигателей.

Применение подобных преобразователей частоты с функцией управления группой двигателей имеет ряд преимуществ и недостатков. К преимуществам можно отнести то, что опциональная плата, реализующая функцию ММС, встраивается или уже встроена в преобразователь. Если стоящую перед потребителем задачу управления группой двигателей можно подстроить под стандартный алгоритм работы ММС и под стандартные требования к преобразователю, то применение подобного преобразователя является экономически более выгодным. Однако часто такое оборудование все же приходится адаптировать под конкретную задачу.

Недостатки использования ПЧ с функцией ММС для управления группой насосных агрегатов следующие:

- Специализированная станция управления предполагает наличие в своем составе всей пускозащитной аппаратуры. Преобразователь с ММС обеспечивает только управляющие сигналы, а все остальное, включая оборудование и коммутацию схемы, придется выполнить потребителю.
- При управлении от преобразователя частоты с функцией ММС гарантируется защита только основного двигателя. Защита дополнительных двигателей от выхода питающего напряжения за безопасные рамки не производится.
- Степень защиты преобразователей частоты часто не соответствует условиям окружающей среды, типичным для применения на объектах ЖКХ (запыленность помещений, повышенная влажность и температура). Это, вероятнее всего, приведет к обязательной установке преобразователя в специальный шкаф. Специализированные станции обеспечивают работу в указанных условиях и выполнены в шкафах с необходимой степенью защищенности.
- Выход из строя преобразователя частоты означает невозможность продолжения работы станции. В специализированных станциях система управления и преобразователь разделены и не зависят друг от друга. При выходе из строя преобразователя система управления сохраняет свою работоспособность и своевременно

сигнализирует об аварии. Работа станции в большинстве случаев при этом может быть продолжена (путем исключения преобразователя из процесса регулирования) и станция может быть переведена на ручное управление.

- Специализированная станция реализует более широкий спектр защитных и сервисных функций, недоступных отдельному преобразователю частоты. Например, автоматический ввод резерва обеспечивает бесперебойную работу станции управления при пропадании основного питания, система телеметрии позволяет передавать сведения о работе станции на удаленный терминал, дополнительные защитные функции (такие, как контроль входного давления и управление задвижкой) обеспечивают более надежную работу всей системы в целом.
- Наконец, специализированные станции управления выпускаются в заводских условиях и проходят полный цикл проверки и отладки. При сборке и отладке подобной станции заказчиком в единственном экземпляре затраты на ее производство могут даже превысить стоимость готовой станции.

#### Перспективы развития

На сегодняшний день станции управления насосными агрегатами позволяют в полной мере решать возложенные на них задачи.

В будущем, с дальнейшим развитием силовой и микропроцессорной элементной базы, будут улучшаться такие эксплуатационные характеристики, как:

- надежность и безотказность работы;
- КПД;
- массогабаритные показатели;
- стоимость.

Кроме того, увеличение вычислительной мощности системы управления может позволить решить такие недоступные на сегодняшний день задачи, как использование гидравлической модели трубопровода. Это позволит поддерживать заданное давление в нужной точке трубопровода без размещения в ней датчика давления, а также производить расчет давления в любой точке трубопровода.

#### Литература

1. Лезнев Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. М.: ИК «Ягорба»-Биоинформсервис, 1998.
2. Возможности использования современного регулируемого электропривода в системах водоснабжения. [www.privod.ru](http://www.privod.ru)
3. Дмитриенко Ю. А. Регулируемый электропривод насосных агрегатов. Кишинев: Штиинца, 1985.
4. Преобразователь частоты с многомоторной функцией управления. [www.privod.ru](http://www.privod.ru)