

# Алгоритмы управления насосными группами АСУТП

## Общие принципы управления насосами

В системе АСУТП каждой насосной группой управляют как единым агрегатом – оператор может только запустить или остановить всю группу насосов целиком и задать требуемую мощность группы (в пределах 0–100%), но **не** управляет отдельными насосами поштучно. Регулирование производительности осуществляется автоматическим PID-регулятором: оператор устанавливает уставку по контролируемому параметру (например, давление или расход), а регулятор через частотно-регулируемые приводы (ЧРП) изменяет частоту вращения насосов группы для поддержания заданного значения <sup>1</sup> <sup>2</sup>. При работе в ручном режиме оператор напрямую задаёт выходную мощность (частоту/процент нагрузки) насосной группы, минуя автоматический регулятор. Обычно в составе группы несколько насосов (как правило, с одним резервным) и все они оснащены приводами с регулированием частоты <sup>1</sup>, что позволяет плавно изменять суммарную подачу.

## Насосная аккумуляторных баков (НАБ, шкаф К7, насосы К7.1–К7.4)

**Назначение:** НАБ – насосная станция аккумуляторных баков <sup>3</sup>, предназначенная для подпитки тепловой сети из резервуаров-аккумуляторов горячей воды. Эта группа обеспечивает покрытие пиков расхода подпиточной воды и аварийный запас: при открытой схеме теплоснабжения расход подпитки сильно колеблется в течение суток, поэтому два атмосферных бака-аккумулятора сглаживают неравномерность и служат резервом воды <sup>4</sup>. Насосная установка включает 4 насоса (2 насоса большой производительности и 2 – малой) с частотным приводом <sup>5</sup>.

**Режим работы:** Насосы НАБ в нормальных условиях отключены. Они автоматически запускаются в следующих случаях: - **Дефицит расхода из деаэратора:** когда основные подпиточные насосы (ППН) уже выдают максимальную производительность, но этого недостаточно для поддержания требуемого расхода/давления подпитки теплосети (например, при резком росте отбора воды на ГВС), подключается аккумуляторная насосная станция для подкачки из баков <sup>4</sup>. - **Низкий уровень деаэрированной воды:** если уровень воды в баке деаэратора упал и деаэратор временно не может покрыть расход, насосы НАБ включаются, чтобы питать сеть водой из аккумуляторов и предотвратить падение давления.

Запуск НАБ обычно происходит по команде автоматического контроллера, когда достигаются пороговые условия (например, давление подпитки ниже допустимого или уровень деаэратора ниже заданного). После включения группа работает под управлением PID-регулятора, который регулирует частоту вращения насосов НАБ для поддержания заданного параметра – как правило, давления подпитки теплосети на требуемом уровне. При снижении потребности (когда основная система восстановила расход или уровень в деаэраторе нормализован) насосная группа останавливается автоматически. Благодаря наличию насосов разной мощности, система способна экономично реагировать на разные объемы подпитки: сначала могут включаться

насосы меньшей производительности, а при большем дефиците – добавляются более мощные насосы. Все насосы группы управляются через ЧРП синхронно, как единый агрегат, согласно заданию регулятора <sup>5</sup>. Резервные насосы находятся в горячем резерве и при сбое рабочего насоса либо недостатке производительности автоматически берут на себя работу.

## Насосы сырой воды (НСВ, шкаф К5, насосы К5.1–К5.2)

**Назначение:** Группа НСВ (насосы сырой воды) служит для бесперебойной подачи исходной питьевой воды с сетей водоканала в систему водоподготовки котельной <sup>6</sup>. Эти насосы повышают давление воды из городского водопровода до необходимого уровня и подают её на установки химводоподготовки и деаэрации.

**Режим работы:** Насосы сырой воды работают **постоянно** (круглосуточно) во время функционирования котельной, чтобы поддерживать требуемое давление сырой (исходной) воды на входе системы. Обычно работает один насос, а второй находится в резерве. Работа организована по принципу поддержания постоянного давления: на напорном трубопроводе насосов установлен датчик давления, сигнал которого поступает в PID-регулятор. Регулятор управляет частотой привода рабочего насоса, поддерживая давление после насосов НСВ на заданном уровне (например, около 6–8 кг/см<sup>2</sup>, в зависимости от требований водоподготовки) <sup>7</sup>. Если расход сырой воды увеличивается (падение давления в линии), частота вращения повышается; при снижении расхода – уменьшается. При аварии или недостатке производительности первого насоса (например, сухой ход или перегрузка, фиксируемые соответствующими датчиками <sup>8</sup>), управление автоматически останавливает его и запускает второй насос, обеспечивая резервирование. Таким образом, поддерживается стабильное давление подачи исходной воды в деаэратор и на подпитку контуров.

## Насосы рабочей воды (НРВ, шкаф К10.5, насосы К10.5.1–К10.5.2)

**Назначение:** Группа НРВ – это насосы рабочей воды вакуумной деаэрационной установки. Они обеспечивают циркуляцию так называемой “рабочей воды” через водоструйные эжекторы для создания вакуума в деаэраторе <sup>2</sup>. Проще говоря, эти насосы нагнетают воду в эжекторы, которые откачивают газовую смесь из деаэратора, тем самым дегазируя подпиточную воду.

**Режим работы:** Насосы рабочей воды функционируют **постоянно** на протяжении работы вакуумного деаэратора. Обычно в работу включен один насос НРВ, второй – резервный. В нормальном режиме один насос поддерживает необходимый напор рабочей воды на форсунках эжектора (порядка нескольких бар до ~6 кг/см<sup>2</sup> <sup>9</sup>), достаточный для эффективного вакуумирования. PID-регулятор по сигналу датчика давления рабочей воды на входе в эжектор автоматически подстраивает скорость насоса, удерживая вакуум в деаэраторе в пределах нормы. Таким образом достигается стабильная глубина деаэрации. Если рабочий насос отключается или не способен создать нужный вакуум (например, из-за неисправности), происходит автоматический пуск резервного насоса, чтобы непрерывно поддерживать процесс дегазации. От сухого хода насосы защищены – при отсутствии расхода (падении давления на напоре) срабатывают датчики сухого хода и насос отключается во избежание повреждения <sup>10</sup>. В целом, алгоритм работы вакуумной системы полностью автоматизирован: при включении деаэратора насосы НРВ запускаются и работают в автоматическом режиме, а при останове деаэратора – отключаются <sup>2</sup>.

## Подпиточные насосы теплосети (ППН, шкаф К6, насосы К6.1–К6.3)

**Назначение:** ППН – это группа основных насосов подпитки теплосети деаэрированной водой. Они входят в состав оборудования деаэратора и подают удалённую от кислорода воду в систему отопления <sup>11</sup> для компенсации потерь теплоносителя (подпитка тепловой сети) и для заполнения/заряда аккумуляторных баков в периоды избыточной воды. В условиях открытой схемы теплоснабжения через эти насосы проходит весь расход подпиточной воды, требуемой потребителям (максимум до ~560 т/ч по проекту <sup>12</sup>).

**Режим работы:** Насосы ППН работают **постоянно**, один или несколько, в зависимости от текущей потребности в подпитке. Как правило, при нормальных условиях все тепловые потери сети (разбор ГВС и утечки) компенсируются этой группой насосов. Их работа регулируется по заданию оператора: поддерживается либо давление в обратном трубопроводе теплосети, либо непосредственный расход подпитки до заданной величины. На практике обычно контролируется давление сетевой воды: при падении давления на обратке ниже уставки PID-регулятор увеличивает частоту ППН, повышая подачу воды в сеть, пока давление не нормализуется. Когда давление/расход достигают заданного оператором значения, производительность стабилизируется. Таким образом, поддерживается баланс: сеть получает ровно столько воды, сколько отбирают потребители, за счёт автоматической регулировки скорости насосов.

Группа ППН включает несколько единиц (например, 2 рабочих + 1 резервный), что позволяет ступенчато наращивать подачу. При малой нагрузке может работать один насос на низкой частоте, при росте разбора – подключается второй насос (автоматика включает его, когда первый выходит на верхний предел нагрузки, чтобы не работать на избыточной частоте). Насосы оснащены частотниками и управляются совместно. Избыточная в некоторые часы вода не пропадает: при снижении потребления вплоть до нуля контроллер может переводить подпитку на заполнение аккумуляторных баков (через специальный клапан) <sup>11</sup>. В аварийной ситуации, когда ППН не справляются (например, все насосы достигли 100% мощности, а давление всё ещё ниже нормы), как упомянуто выше, вступают в работу насосы НАБ, отдающие дополнительную воду из баков-аккумуляторов. Резервный насос ППН автоматически запускается при отказе одного из рабочих.

## Котловые насосы (циркуляционные насосы котлов, шкаф К4, насосы К4.1–К4.4)

**Назначение:** Котловые насосы обеспечивают принудительную циркуляцию воды через водогрейные котлы. В отопительный период три из четырёх насосов работают параллельно (один находится в резерве) <sup>1</sup>, прокачивая котловую воду через каждый котёл и поддерживая необходимый проток для съёма тепла. Эти насосы критически важны для поддержания теплопередачи от котлов к теплоносителю: при недостаточном потоке котлы перегревались бы, при избыточном – режим нарушался бы, поэтому реализовано автоматическое регулирование их производительности.

**Режим работы:** Во время работы котельной котловые насосы всегда включены (минимум основной комплект из трёх шт.). Их работа регулируется таким образом, чтобы поддерживать требуемый расход через котлы. Контролируемым параметром может служить суммарный расход котловой воды или перепад давления между подающим и обратным коллектором котлового контура. PID-регулятор, получая сигнал от расходомера или датчика перепада, изменяет частоту

приводов насосов, чтобы обеспечить расчетный расход (например, соответствующий текущей нагрузке котлов). Когда несколько котлов работают, суммарный расход делится между параллельными насосами. Автоматика может изменять число включенных насосов: при работе одного-двух котлов может быть задействовано меньше насосов, а при вводе всех котлов – все 3 рабочих насоса. Дополнительно, учитывается температура воды на выходе котлов: если она начинает превышать заданную (при фиксированном тепловыделении горелок), контроллер может увеличить расход насосов, чтобы снять больше тепла и тем самым удерживать температуру. В противоположной ситуации при пониженной нагрузке скорость насосов может сокращаться (но не ниже минимально допустимой, чтобы избежать застойных зон и локального перегрева).

Каждый насос снабжён частотным приводом <sup>13</sup>, позволяющим плавно регулировать его подачу. В нормальном режиме все три рабочих насоса работают согласованно, обычно на одинаковой скорости, обеспечивая равномерную нагрузку. При отказе какого-либо насосного агрегата (например, по электрической причине) происходит его автоматическое отключение и одновременно запускается резервный насос (четвёртый), чтобы сохранить циркуляцию без перерыва <sup>1</sup>. Также возможно чередование насосов для равномерного износа: резервный может периодически автоматически включаться вместо одного из рабочих (например, раз в неделю) – такие функции часто реализуются в контроллерах насосных групп.

## **Насосы подпитки котлового контура (ППНК, шкаф K23, насосы K23.1–K23.2)**

**Назначение:** ППНК – насосная группа для подпитки замкнутого котлового контура. Хотя котловой контур отделён от сетевого (через теплообменники) и в нормальном режиме работает по замкнутому циклу, необходимо восполнять потери воды при периодическом обслуживании, утечках или заполнении системы. Насосы ППНК перекачивают деаэрированную воду из бака деаэратора (или из резервного бака котловой воды) в котловую контур, чтобы поддерживать в нём требуемое давление и объем воды <sup>14</sup>.

**Режим работы:** В штатной работе котлового контура эта группа **находится в отключённом состоянии** (не работает постоянно), поскольку потери в замкнутой системе минимальны. Алгоритм предусматривает автоматический запуск насосов ППНК при падении давления в котловом контуре ниже заданной уставки. Давление контролируется датчиком в обратном трубопроводе котловой воды или в расширительном баке котлового контура. Когда давление опускается (например, из-за утечки или при заполнении котла после ремонта), один из насосов включается и начинает нагнетать деаэрированную воду из резервуара в систему, пока давление не восстановится до нормы. Регуляция может осуществляться простым двухпозиционным законом (включение при снижении до порога, выключение при достижении нужного давления) или через PID, плавно регулирующий скорость насоса для мягкого подъёма давления. Учитывая относительно небольшой расход подпитки котлового контура, часто достаточно одного насоса: второй служит резервом. Насосы оборудованы частотным приводом и управляются общим контроллером шкафа ППНК <sup>15</sup>. При работе в автоматическом режиме контроллер будет отключать насос после достижения заданного давления, чтобы избежать перегрева воды при застойном режиме. В случае крупной утечки, когда одного насоса недостаточно для удержания давления, может автоматически подключаться второй насос (при наличии соответствующей логики). Как только давление приходит в норму, насосы останавливаются. Резервирование работает аналогично другим группам: при неуспешном запуске первого насоса в работу вступает второй.

## Конденсатные питательные насосы (Н КП, насосы №1 и №2)

**Назначение:** Насосы НКП (конденсатные питательные насосы) предназначены для перекачивания обратно в систему конденсата или дренажной воды, собирающейся в деаэрационной установке или в системе отопления <sup>16</sup>. В контексте водогрейной котельной с вакуумным деаэратором эти насосы могут откачивать конденсат (дегазированную воду), скопившийся в баке-аккумуляторе деаэратора или других ёмкостях, и подавать его обратно в тракт водоподготовки. Также они могут использоваться для осушения дренажных емкостей, сбора утечек и возвращения этой воды в цикл, чтобы минимизировать потери подготовленной воды.

**Режим работы:** Группа НКП функционирует **по мере необходимости**, т.е. в автоматическом режиме от уровня/объёма конденсата. В системе устанавливается резервуар-сборник конденсата/дренажей; при достижении в нём верхнего уровня срабатывает датчик, и один из конденсатных насосов запускается для откачки содержимого. Насос перекачивает собранную воду либо в деаэратор, либо в линию сырой воды перед водоподготовкой (в зависимости от схемы). Когда уровень в баке снижается до нижнего допустимого, насос отключается. Управление двумя насосами организовано с резервированием: при отказе основного (например, при перегреве двигателя или срабатывании датчика сухого хода) автоматически стартует второй насос <sup>17</sup>. Также, в штатных условиях насосы могут чередоваться – например, при каждом новом цикле откачки включается другой агрегат, чтобы равномерно распределить наработку. В остальное время, когда конденсат отсутствует или его мало, насосы НКП находятся в выключенном состоянии, готовые к быстрому запуску. Система оснащена защитой от сухого хода <sup>17</sup>: если в резервуаре недостаточно воды и насос начинает работать “всухую”, датчик на напоре фиксирует отсутствие напора, и контроллер останавливает насос для предотвращения повреждений. Таким образом, НКП автоматически поддерживают водный баланс, возвращая ценную деаэрированную воду обратно в цикл и не допуская переполнения конденсатосборников.

## Сетевые насосы (СН, шкаф КЗ, насосы КЗ.1–КЗ.4)

**Назначение:** Сетевые насосы обеспечивают циркуляцию сетевой (тепловой) воды между котельной и потребителями в городе через прямой и обратный магистральные трубопроводы. В период отопительного сезона они прокачивают большой объем теплоносителя, создавая необходимый напор для доставки тепла потребителям. По проекту установлено четыре сетевых насоса, из них несколько рабочих и один резервный (рабочих обычно 3, один в резерве) <sup>18</sup>, модели Delium D300-580 с параметрами  $\sim H=109$  м,  $Q \approx 1896$  м³/ч каждый. Эти насосы работают на магистральные сети: через них проходит весь циркуляционный расход сетевой воды, связанный с отдачей мощности 400 Гкал/ч.

**Режим работы:** Сетевые насосы функционируют **постоянно** в отопительном периоде. Их ключевая задача – поддерживать заданное давление в прямом коллекторе теплоносителя, согласно графику тепловой нагрузки. Автоматический регулятор получает сигнал от датчика давления на подающем трубопроводе (или разности давлений между подающим и обратным трубопроводами) и управляет частотой вращения насосов, чтобы поддерживать давление подачи, соответствующее текущей заданной температуре воды и нагрузке. Например, при увеличении теплопотребления у потребителей (что вызывает падение давления в прямой линии и/или рост расхода) контроллер повысит скорость насосов или добавит в работу дополнительный насос, чтобы удержать давление на требуемом уровне. При снижении разборов, наоборот, скорость вращения сокращается, а лишние насосы могут быть отключены.

Алгоритм каскадного управления обычно следующий: один насос (ведущий) с частотным приводом работает постоянно и регулирует давление в широком диапазоне. Остальные насосы могут подключаться ступенчато. Когда нагрузка возрастает настолько, что ведущий насос достигает близкой к максимальной частоты (например >50 Гц на приводе), контроллер запускает второй насос параллельно. После пуска второго насоса общий расход делится, и частоты приводов могут снизиться, работая более экономично вдвоём. Если этого тоже недостаточно (оба на высоких оборотах), подключается третий насос и т.д. – до обеспечения требуемого напора. При уменьшении нагрузки происходит обратное: когда давление становится выше нужного и ведущий насос ушёл на минимально допустимую частоту, контроллер останавливает один из вспомогательных насосов (после небольшой задержки, чтобы убедиться в устойчивом снижении расхода). Таким образом, число работающих насосов автоматически подстраивается под тепловую нагрузку. В каждой такой группе предусмотрены задержки и гистерезис, чтобы избежать частых пусков/остановов при колебаниях нагрузки.

Все сетевые насосы имеют большую мощность (сотни кВт), поэтому в некоторых проектах только один или два оснащаются частотным приводом, а остальные могут работать от плавного пуска на номинальной скорости. В нашем случае, судя по обозначению (Ч/Ч – частотнорегулируемый) для всех насосов <sup>18</sup>, вероятно каждый из них может работать с изменяемой скоростью, что даёт более гибкое управление. Резервирование выполняется следующим образом: при аварии какого-либо рабочего насоса (например, электродвигатель отключился по защите) его место автоматически занимает резервный насос (четвёртый), получая команду на пуск. Оператор на АРМ получает сигнал тревоги о неисправности, но гидравлический режим сети сохраняется за счёт быстрого ввода резерва. Для равномерного износа сетевые насосы также могут автоматически ротироваться – например, резервный периодически становится рабочим, а один из рабочих уходит в резерв на время. В межотопительный период, когда большинство котлов остановлены, сетевые насосы могут либо работать пониженным составом (например, 1 насос для циркуляции минимального расхода на нужды ГВС), либо отключаться, если теплоноситель в сети не циркулирует. При возобновлении отопления насосы запускаются снова. В любом случае, управление полностью интегрировано в АСУТП: диспетчер может задавать необходимое давление/температуру теплоносителя, а система автоматически регулирует работу насосной группы для выполнения этого задания.

**Источники:** 1 11 2 3 4 5 7 8 10 18 14 15 16 17

---

1 2 4 5 11 12 13 14 18 1. ТЗ АСУ ТП.docx

file:///file-VLnokDNrZjDqch1gUR5wxQ

3 6 7 8 9 10 15 16 17 9. Перечень входных данных.pdf

file:///file-9FC1dmcMXADjFqqF5UUXjR