Содержание

1 Введение **3**

2 Алгоритмы работы АСУТП водогрейной котельной **5**

2.1 Режимы работы и переходы между ними 5

2.2 Логика управления и регулирования 7

3 Алгоритмы работы АСУ здания теплообменников **17**

3.1 Режимы работы и взаимодействие с котельной 17

3.2 Управление и регулирование потоков теплоносителя 18

3.3 Блокировки и аварийные ситуации 20

3.4 Сигнализация и операторский контроль 21

4 Алгоритмы работы АСУТП здания аккумулирующей насосной **24**

4.1 Режимы работы и критерии переключения 24

4.2 Управление насосами и клапанами при зарядке/разрядке 26

4.3 Блокировки и защитные меры в насосной аккумулирующих баков 28

4.4 Сигнализация и интерфейс оператора 31

5 Алгоритмы работы АСУ ГРП-1 ..... **33**

5.1 Режимы работы газорегуляторного пункта 33

5.2 Управление давлением и потоком газа 34

5.3 Блокировки и аварийные ситуации ГРП-1 36

6 Алгоритмы работы АСУ ГРП-2 ..... **39**

6.1 Режимы и взаимодействие ГРП-1/ГРП-2 39

6.2 Операторский интерфейс для ГРП-2 40

7 Алгоритмы работы АСУ ЭТО **42**

8 Возможности развития и расширения алгоритмов **43**

Перечень сокращений **46**

Перечень терминов **47**

1 Введение

Данный документ представляет собой пояснительную записку с описанием алгоритмов работы автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) водогрейной котельной Ивановской ТЭЦ-2. В состав системы входят шесть взаимосвязанных подсистем, каждая из которых отвечает за определенную часть технологического процесса котельной. Эти подсистемы включают:

- **АСУТП водогрейной котельной** – управление восемью водогрейными котлами (типа Eurotherm-58, мощностью по 50 Гкал/ч каждый) и вспомогательным оборудованием котельного контура. В ее составе также системы подготовки воды (умягчение, деаэрация, дозирование реагентов) и сеть теплопотребления (сетевые насосы, теплоотдача через теплообменники).
- **АСУ здания теплообменников** – поддерживает работу промежуточных теплообменников, разделяющих котловой и тепловой (сетевой) контуры. Обеспечивает циркуляцию и распределение теплоносителя между котлами и тепловой сетью.
- **АСУТП здания аккумулирующей насосной** – управление насосной станцией аккумулирующих баков подпитки теплосети. Отвечает за режимы накопления тепла в аккумуляторных баках и отдачи тепла из них в сеть, включая насосы заполнения/разряда и соответствующую арматуру.
- **АСУ ГРП-1** – автоматизация газорегуляторного пункта №1, обеспечивающего подачу природного газа к котлам. Контролирует давление газа на входе и выходе регуляторов, работу запорной арматуры и систем газовой безопасности.
- **АСУ ГРП-2** – автоматизация газорегуляторного пункта №2 (аналогично ГРП-1), включающая резервный канал газоснабжения котельной. Обе системы ГРП отвечают за поддержание требуемого давления газа, отключение подачи при авариях и вентиляцию зданий ГРП.
- **АСУ ЭТО** – система управления электротехническим оборудованием: комплектные трансформаторные подстанции 6/0,4 кВ, распределительные устройства (РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ) для питания котельной, здания теплообменников и насосной, а также электроприводы основных агрегатов. Эта подсистема реализует функции электроснабжения, резервирования питания, управления силовыми шкафами и сбора параметров электрической части (ток, напряжение, состояние выключателей, температуры трансформаторов и пр.).

АСУТП реализована на базе программируемых логических контроллеров серии **ТРЭИ** с применением программного обеспечения НПФ "Круг". Верхний уровень системы – человеко-машинный интерфейс (SCADA) **КРУГ-2000**, обеспечивающий единое управление и мониторинг всех подсистем. Такой комплекс программно-технических средств позволяет строить распределенную систему управления с интеграцией данных от всех контроллеров на единый АРМ оператора. Обмен данными между контроллерами и SCADA осуществляется по стандартным промышленным протоколам (Modbus RTU/TCP, Ethernet и др.), что обеспечивает надежность и совместимость компонентов.

Алгоритмы работы каждой подсистемы разработаны в соответствии с требованиями надежности, безопасности и эффективности. Они учитывают как штатные режимы работы оборудования, так и переходные и аварийные ситуации. В логике управления предусмотрены все необходимые **логики включения и отключения оборудования**, **автоматическое регулирование технологических параметров**, **блокировки и защиты** для предотвращения аварий, а также **сигнализация** для информирования оператора о состоянии системы. Операторский интерфейс позволяет взаимодействовать с системой: вводить уставки, переключать режимы, запускать и останавливать агрегаты, а также квитировать аварийные и предупреждающие сигналы.

Ниже приводится детальное описание алгоритмов работы по каждой из шести подсистем. Описание соответствует структуре пояснительной записки по ГОСТ 34.201–2020 и отражает логическую последовательность работы системы. Для каждой подсистемы определены режимы работы, условия перехода между ними, логика управления и регулирования, предусмотренные блокировки и защитные действия, а также взаимодействие с оператором. Такой структурированный подход обеспечивает ясность изложения и соответствие нормативным требованиям.

Важно отметить, что разработанные алгоритмы обладают возможностью дальнейшего развития и масштабирования. Заложенные в проект решения обеспечивают соответствие системы современным требованиям и **способность к дальнейшему развитию и модернизации** – например, при расширении котельной, добавлении нового оборудования или изменении технологических параметров алгоритмы могут быть адаптированы без потери целостности системы.

2 Алгоритмы работы АСУТП водогрейной котельной

Описание подсистемы: АСУТП водогрейной котельной охватывает управление всеми основными процессами в котельной. В ее ведении находятся 8 водогрейных котлов, каждый из которых оборудован горелкой на природном газе с принудительной подачей воздуха, а также вспомогательные системы обеспечения: система подготовки и подачи питательной воды (насосы сырой воды, система умягчения, деаэрации и дозирования химреагентов), система циркуляции котловой воды через котлы и промежуточные теплообменники, сетевые насосы для подачи горячей воды в теплосеть, и общекотельное оборудование (вентиляция котельного зала, дренажные и канализационные насосы, отопление здания и пр.). Подсистема АСУТП ВК является центральной в иерархии управления – она взаимодействует с остальными (ГРП, насосная, ЭТО, теплообменники) для координации работы.

2.1 Режимы работы и переходы между ними

Для водогрейной котельной определены следующие основные **режимы работы**:

- **Штатный режим:** Нормальная работа котлов для покрытия тепловой нагрузки. В этом режиме поддерживаются заданные параметры теплоносителя (температура подачи в сеть, давление и расход) при оптимальном числе работающих котлов. Регулирование происходит автоматически по уставкам, заданным оператором (например, температура сетевой воды).
- **Режим пуска/останова котла:** Переходный режим для индивидуального котла, включаемого в работу или выводимого из нее. Включает последовательность операций розжига горелки при пуске и контролируемого останова (остывания) при выводе котла.
- **Режим минимальной нагрузки:** Ситуация, когда теплопотребление низкое и работает минимально необходимое число котлов на пониженной мощности. Лишние котлы переведены в резерв (горячий резерв или выключены) для экономии топлива.
- **Аварийный режим:** возникает при срабатывании защит котла или общекотельных защит. В аварийном режиме соответствующее оборудование (котел или вся котельная) переходит в безопасное состояние: горелки отключаются, газовые клапаны закрываются, насосы переходят в заранее определенный режим (например, отключаются или продолжают охлаждать оборудование), срабатывает сигнализация. Аварийный режим может быть локальным (для отдельного котла) либо общим (для всей котельной, например при отключении электропитания или аварии на теплосети).

Условия перехода между режимами:

- Переход из штатного режима в режим пуска осуществляется по команде оператора на включение очередного котла (при росте нагрузки или вводе нового котла). Перед переходом контроллер проверяет готовность оборудования (все межблочные блокировки сняты, параметры в норме, разрешение на розжиг получено от ГРП и т.д.).
- Переход из режима пуска в штатный происходит после успешного розжига и выхода котла на заданную нагрузку. Когда котел набрал минимально устойчивую мощность и все параметры (давление, температура) в норме, он считается введенным в работу.
- Режим останова инициируется оператором (плановый вывод котла) либо автоматически при снижении нагрузки ниже допустимой для работы нескольких агрегатов. Также останов может быть вызван срабатыванием предаварийных сигналов (например, предупредительный сигнал по перегреву). Переход в режим останова включает последовательное снижение нагрузки котла и отключение горелки, после чего котел переводится в резерв.
- Переход в аварийный режим происходит мгновенно при достижении аварийных условий: пропадание пламени горелки, недопустимый рост давления или температуры, отказ питающих насосов и др. Условия срабатывания защит подробно описаны в разделе блокировок (см. раздел 1.3). Из аварийного режима возврат в штатный осуществляется только после устранения причин аварии и ручного сброса (квитирования) аварийной ситуации оператором на АРМ.

Кроме указанных, предусмотрены вспомогательные режимы:

- **Резервный (горячий резерв):** котел находится в готовности к быстрому пуску, горелка потушена, но котловая вода поддерживается горячей циркуляцией от других котлов или электроподогревом, чтобы сократить время пуска.
- **Режим опробования/тестирования:** используется при техническом обслуживании – вручную тестируются исполнительные механизмы (клапаны, насосы, горелка) в локальном режиме. Этот режим доступен только при выводе котла из работы и переводе его в режим ремонта, с соответствующими блокировками на запуск в автоматическом режиме.

2.2 Логика управления и регулирования

В штатном режиме АСУТП котельной автоматически управляет всем оборудованием для поддержания требуемых параметров теплоносителя и безопасной эксплуатации котлов. Ниже описаны основные алгоритмы управления:

Управление горелками котлов (розжиг и горение): Каждый котел оснащен автоматизированной горелкой. Алгоритм розжига реализован по заданной последовательности:

1. **Пуск вентиляция топки:** перед подачей газа контроллер включает дутьевой вентилятор (приточный вентилятор горелки) и обеспечивает проветривание топки котла в течение заданного времени для удаления возможного скопления газа. Контролируется датчик разрежения или давления воздуха – если давление воздуха недостаточно, розжиг блокируется.
2. **Подача запальной горелки:** после успешной продувки подается сигнал на открытие электромагнитного клапана пилотной (запальной) горелки. Одновременно включается устройство розжига (искровой запальник). Контроллер следит за наличием пламени запальника через датчик пламени (фотодатчик). Если **в течение допустимого времени (например, 5 сек) запальный факел не обнаружен**, алгоритм прерывается: запальный газ отключается, выдается тревога "Не удалось зажечь запальник", и повторный розжиг возможен только после паузы и команды оператора.
3. **Розжиг основного факела:** при подтверждении устойчивого пламени запальной горелки контроллер подает команду на **последовательное открытие газовых клапанов основной горелки**. Сначала открывается первый клапан (при этом второй закрыт), затем – второй. После открытия каждого клапана проверяется соответствующий конечный выключатель положения ("клапан открыт"). Если любой из клапанов не достиг требуемого положения – выдается авария "Не открылся газовый клапан" и подача газа прекращается.
4. **Контроль пламени и переход на рабочий режим:** после подачи газа основная горелка разгорается от запальника. Датчик пламени основного факела должен подтвердить горение в течение нескольких секунд. Если пламя не возникло или погасло сразу после розжига, срабатывает защита "Потухание факела" – немедленно закрываются газовые клапаны, горелка отключается. При устойчивом горении система переводит котел в режим растопки: мощность горелки выводится на минимальную устойчивую нагрузку.
5. **Регулирование мощности:** Каждый котёл оснащена регулятором подачи газа, а горелки воздуха. АСУТП получает сигнал температуры воды на выходе котла и сравнивает с

заданной уставкой. Для поддержания температуры реализован ПИД-регулятор, воздействующий на расход газа (т.е. на подачу топлива) и при необходимости на количество воздуха, чтобы поддерживать правильное соотношение. Таким образом, **автоматическое регулирование температуры котловой воды** осуществляется путем изменения тепловой мощности котла. Если температура выходит за допустимые пределы, формируются предупреждающие сигналы, а при превышении аварийного порога – срабатывает защита (см. раздел 1.3).

Управление насосами и контурами циркуляции: В котельной несколько групп насосного оборудования:

- **Сырьевая вода и питательная вода:** Насосы сырой воды (НСВ) подают исходную воду из резервуара или водопровода в систему подготовки (умягчения/деаэрации). Их работа регулируется по уровню бака-аккумулятора сырой воды или давлению на выходе. Обычно один насос работает, другой в резерве. **Алгоритм включения насоса НСВ:** при снижении уровня в баке деаэратора или падении давления на входе системы умягчения ниже уставки – пуск рабочего насоса; при отказе или недостижении давления – автоматический ввод резервного насоса. Остановка насоса происходит при достижении заданного уровня/давления и по команде, с выдержкой времени для предотвращения частых пусков.
- **Циркуляционные насосы котлового контура:** Если конструкцией предусмотрены отдельные насосы для прокачки воды через котлы и теплообменники (например, для поддержания протока через неработающие котлы или для контуров деаэрации), то их включение происходит при пуске соответствующих котлов или систем. Например, насосы деаэратора включаются при работе вакуум-деаэрации и поддерживают циркуляцию воды через деаэраторный бак и эжекторы.
- **Сетевые насосы (насосы тепловой сети):** Отвечают за прокачку нагретой воды через теплообменники в городскую теплосеть. В нашем случае теплоноситель котлов сначала проходит через промежуточные теплообменники, передавая тепло сетевой воде. Сетевые насосы обеспечивают циркуляцию воды в тепловой сети (подача/обратка). **Автоматическое управление сетевыми насосами** строится по поддержанию давления в подающем трубопроводе теплосети:
    - Задан **давления теплоносителя на выходе котельной** (например, чтобы поддерживать давление в зависимости от графика температуры/давления). Установлено два-три рабочих сетевых насоса и один резервный.
    - ПИД-регулятор давления сравнивает давление в подающем коллекторе с уставкой. В случае, если давление падает (рост разбора тепла), АСУТП автоматически

увеличивает производительность: либо повышает частоту вращения насосов (при наличии частотных приводов), либо включает дополнительный насос (ступенчатое регулирование). Включение резервного насоса происходит при достижении определенного порога (например, когда расход приближается к максимальной производительности работающих насосов или давление не держится).

  - Аналогично, при снижении потребления тепла давление начинает расти – система либо снижает частоту, либо отключает избыточный насос, переводя его в резерв. Все переключения выполняются с задержками и проверками, чтобы избежать частых дерганий и гидроударов.
  - При включении каждого сетевого насоса проверяются межблокировки: открытие напорной задвижки, готовность электродвигателя (нет аварии по электродвигателю, напряжение в норме), заполненность системы водой (контроль минимального уровня в расширителе/деаэраторе).

- **Насосы системы подпитки/умягчения:** В котельной, помимо сырой воды, есть контур подпитки котловой воды – после теплообменников может требоваться подпитка сетевой воды из аккумуляторов или химводоочистки. Эти насосы автоматически поддерживают **заданный уровень воды в деаэраторе** или **давление подпитки теплосети**. Алгоритм: при падении уровня в деаэраторе ниже нормы – включается насос подпитки котлового контура, подающий умягченную воду; при восстановлении уровня – насос отключается. Если работают аккумулирующие баки, подпитка может осуществляться из них (см. раздел 3).

Регулирование температуры и распределение нагрузки между котлами: АСУТП котельной осуществляет координированное управление группой котлов:

- Задан **график температуры теплоносителя** в зависимости от температуры наружного воздуха или расписания (характерно для теплосетей: чем холоднее на улице, тем выше температура подачи). SCADA передает актуальную уставку температуры сетевой воды.
- Каждый котел имеет свой локальный контур регулирования температуры, как описано выше, поддерживая температуру на выходе своего котлового контура. Однако температура сетевой воды после теплообменников может отличаться (в зависимости от нагрузки на каждый котел).
- **Ведущий регулятор нагрузки:** В системе реализован ведущий регулятор по температуре сетевой воды на выходе котельной. Он сравнивает фактическую температуру смеси всех потоков с заданием и вырабатывает команду на изменение общей тепловой нагрузки котельной. Эта команда распределяется между котлами: либо пропорционально их

мощности, либо по заданному приоритету. Практически это выражается в изменении уставок отдельных котлов или подаче команды увеличить/уменьшить нагрузку на определенных котлах.

- **Секвенсор котлов:** Алгоритм включает и отключает котлы в зависимости от тепловой нагрузки. Например, при росте нагрузки свыше 85% мощности работающих котлов – система готовит к пуску следующий котел (прогрев, розжиг) и вводит его, чтобы распределить нагрузку. При падении нагрузки ниже 50% суммарной мощности – один из котлов может быть выведен в резерв (остановлен) чтобы оставшиеся работали в оптимальном диапазоне КПД. Выбор котла для пуска/останова может быть цикличным (чтобы равномерно использовать оборудование) либо на основе приоритета (например, самые эффективные котлы задействуются первыми).
- **Перенос нагрузки на аккумуляторы:** В системе предусмотрены аккумулирующие баки тепла (см. раздел 3), алгоритм котельной учитывает их: при провалах нагрузки (ночью) излишек тепла направляется на заряд аккумуляторов (котлы не уменьшают нагрузку слишком резко, часть тепла уходит в баки), а при пиковых нагрузках – напротив, из аккумуляторов тепло поступает в сеть, позволяя не включать лишний котел на краткий период. В разделе 3 описано, как управление аккумуляторами связано с алгоритмами котельной.

Управление вспомогательным оборудованием:

- **Система деаэрации:** Включает эжекторную (вакуумную) деаэрационную установку для удаления кислорода из питательной воды. Также контролируется уровень воды в деаэраторе: уровень регулируется впускным клапаном питательной воды (от насоса сырой воды/умягченной воды) с помощью ПИД-регулятора. Если уровень слишком низкий – возможен аварийный останов котлов (чтобы предотвратить попадание воздуха), если высокий – сигнализация перелива и срабатывает дренажный клапан.
- **Химический дозатор реагентов:** Для подпиточной воды предусмотрена система дозирования реагентов (например, фосфатирование или деоксидант). Управление дозированием обычно пропорционально расходу подпитки: есть расходомер воды и дозировочный насос с регулированием производительности. Контроллер рассчитывает требуемую подачу реагента (мг/л) и устанавливает скорость насоса-дозатора. При отключении подпитки насос дозатора останавливается. Предусмотрена сигнализация нехватки реагента (датчик уровня в баке реагента) и аварийного состояния насоса.
- **Умягчение воды (натрий-катионовые фильтры):** Работа фильтров может быть полуавтоматической. АСУТП контролирует давление перед/после фильтров, перепад

давления (сигнал "засорение фильтра"), а также циклы регенерации. Алгоритм регенерации может инициироваться оператором или автоматически по времени/объему воды: при этом контроллер открывает/закрывает последовательно клапаны промывки, солевого раствора, и т.д. – в соответствии с программой регенерации. На время регенерации фильтр выводится из работы (включается запасной параллельный, если есть). Состояние фильтров (в работе/регенерация/авария) отображается на АРМ. При неправильной работе (например, несработал клапан в цикле) – тревога оператору.

- **Вспомогательные системы котельной:** АСУТП также управляет:
  - **Системой отопления здания котельной:** поддержание заданной температуры воздуха в помещении котельной.

Таким образом, в штатном режиме АСУТП водогрейной котельной автоматически поддерживает все основные параметры: температуру, давление, уровень, состав воды, и обеспечивает надежное горение. **Роль оператора** в штатной работе сведена к мониторингу и корректировке уставок. Оператор может задавать температурные графики, принудительно вводить или выводить котлы из работы (при необходимости), а также переключать режимы регулирования (например, ручной режим управления горелкой при наладке).

- **1.3 Блокировки, защиты и действия при авариях**

Для безопасной работы котельной реализован обширный перечень блокировок и защит. Блокировки **предотвращают опасные действия** если не выполнены условия, а защиты **автоматически останавливают оборудование** при возникновении аварийной ситуации. Ниже перечислены основные из них:

Межблокировки пуска котлов:

- **Блокировка розжига при отсутствии тяги/притока воздуха:** Проверяется датчик давления воздуха перед горелкой. Если дутьевой вентилятор не создает нужного потока (датчик давления воздуха не достиг минимального значения), то подача газа блокируется.
- **Контроль положения газовых клапанов:** Перед розжигом оба газовых запорных клапана должны быть закрыты. Есть концевые выключатели "клапан закрыт". Если хотя бы один показывает незакрытое состояние, розжиг не начнется во избежание утечки газа.
- **Запрет пуска при отсутствии разрешения ГРП:** АСУ ГРП выдает сигнал-разрешение на подачу газа (например, "давление газа в норме, можно включать котлы"). Если давление газа на входе котельной ниже минимального или авария на газовом хоз-ве, то котлам запрещен розжиг.
- **Запрет работы котла при неработающем сетевом насосе:** Чтобы не перегревать стоячую воду, если нет откачки тепла, контроллер проверяет, что хотя бы один сетевой

насос и соответствующий теплообменник в работе. Если циркуляции через котел нет – блокировка горелки.

Защиты котла (аварийные отключения):

- **Потухание факела (потеря пламени):** Если горелка погасла в процессе работы (сигнал с датчика пламени исчез), то немедленно срабатывает защита: газовые клапаны закрываются, подача газа прекращена. Одновременно запускается аварийная вентиляция топки (дутьевой вентилятор) для удаления газа, и выдается сигнал "Авария горелки – погасание факела". Повторный автоматический розжиг, как правило, не выполняется – требуется вмешательство оператора (квитирование и повторный запуск вручную после выяснения причин).
- **Аварийное превышение давления воды:** Датчики давления котловой воды контролируют давление на выходе из котла. Если давление превысило максимально допустимое значение, срабатывает авария: закрывается клапан на питательной линии (если есть), горелка отключается (чтобы не увеличивать давление), может сработать предохранительный клапан (механически сбросить давление). Сигнализация "Аварийное давление котла". Котел останавливается до снижения давления и ручного сброса аварии.
- **Аварийное снижение давления (разрыв трубы):** Если давление котловой воды резко упало (что может свидетельствовать о разрыве трубопровода или утечке), то также отключается горелка и насосы данного контура во избежание сухого хода. Срабатывает сигнал "Падение давления котла – авария".
- **Перегрев котловой воды:** Контроль температуры на выходе котла. Если температура превышает аварийный предел (например, на 5-10°C выше нормы), то горелка отключается немедленно ("Авария – перегрев котла"), включает сигнализация. Предусмотрено технологическое охлаждение: возможно, продолжается циркуляция воды через котел (насосы не отключаются сразу) и открывается перепускной клапан на сброс тепла (например, на охлаждающий контур или на теплообменник) до снижения температуры.
- **Отказ питания контроллера или систем безопасности:** В котле предусмотрена система аварийного останова при обесточивании. Например, газовые клапаны нормально закрыты и при пропадании питания они закрываются под действием пружин. Контроллер фиксирует потерю питания (через модуль бесперебойного питания/сигнал "неисправность системы") после восстановления и выдает сообщение о том, что котел остановлен аварийно из-за сбоя питания. Аналогично, при отказе самого ПЛК (например, перезагрузке) сработают внешние независимые блокировки, отключающие горелку.

Защиты вспомогательных систем:

- **Защита сетевых насосов от перегрева/сухого хода:** Каждый сетевой насос оборудован датчиком температуры подшипников или обмоток двигателя, а также реле минимального давления на всасывании. При перегреве двигателя насос отключается, сигнал "Авария насоса №...". При исчезновении потока (давления) на входе – насос тоже отключается (чтобы не работать всухую), и выдается сигнал. В обоих случаях, если насос был основной, система попытается включить резервный насос автоматически.
- **Защита электрооборудования:** (перечислены подробнее в разделе ЭТО, но основные эффекты для котельной) – отключение питания насосов или вентиляторов при коротком замыкании, перегрузке; при этом контроллер получит сигнал от электрозащиты "отключено по аварии". Реакция – как правило, останов связанного процесса и сигнализация.
- **Аварийный уровень в деаэраторе:** Если уровень воды в баке деаэратора упал до аварийно низкого (например, насос подпитки не справился или отключился), есть риск попадания пара в насосы и котлы. Тогда срабатывает защита: подается сигнал на останов котлов (горелки гасят) и закрытие подпиточного клапана, с одновременным аварийным отключением турбонасосов котловой воды (если применимо). Оператору – сигнал "Аварийный низкий уровень деаэратора, котлы остановлены".
- **Засорение фильтров/оборудования:** Например, "засорение сетчатого фильтра" перед насосом – не прямая авария, но предупреждение (повышенный перепад давления). Если перепад достиг критического, можно запрограммировать защитное отключение насоса чтобы не работать на кавитации. Обычно же это сигнализация для оператора о необходимости обслуживания, без немедленного останова.
- **Отказ системы управления:** Мониторится "живой сигнал" от контроллера (например, аппаратный сторожевой таймер). В случае зависания программы – оборудование переводится в безопасное состояние автономно: горелки отключаются посредством независимых цепей, насосы по возможности продолжают работать (или тоже отключаются, в зависимости от настроек, чтобы показать очевидную остановку). После восстановления работы контроллера требуется ручной перезапуск.

Действия при авариях: При срабатывании любой защиты контроллер выполняет следующие действия:

- Немедленно переводит оборудование в безопасное состояние (останавливает горелки, закрывает газовые клапаны, останавливает соответствующие насосы или включает резервные, закрывает/открывает нужные клапаны для изоляции аварийного участка).
- Фиксирует событие в системе регистрации аварий (с отметкой времени в архиве).

- Выдает звуковой и световой сигнал тревоги на рабочем месте оператора (с указанием, какой именно датчик или защита сработали).
- Блокирует повторный пуск оборудования до выяснения и устранения причин (функция блокировок удерживает аварийное состояние). Оператор должен квитировать (подтвердить прием) аварийный сигнал, после чего звуковая сигнализация отключается, но индикация сохраняется до полного устранения.
- Если авария локальная (например, один котел), то остальная часть котельной продолжает работу, возможно с уменьшенной нагрузкой. При общекотельной аварии (например, отключение питания) – останавливается все, и после восстановления требуется пуски по стандартным процедурам.

В некоторых случаях алгоритмы предусматривают **автоматическое противоаварийное действие**:

- При отключении рабочего сетевого насоса – автоматический пуск резервного (для поддержания циркуляции).
- При аварии горелки одного котла – если нагрузка позволяет, другой котел автоматически получает команду увеличить нагрузку (чтобы компенсировать выпадение мощности) или запускается резервный котел (при длительной аварии, по команде оператора обычно).
- При пожаре или утечке газа – см. ГРП, но общекотельная часть может отключить все котлы и вентиляцию включить на вытяжку.
- **1.4 Сигнализация и взаимодействие с оператором**

АСУТП водогрейной котельной оснащена развитой системой сигнализации, позволяющей оператору своевременно получать информацию о состоянии всех узлов:

- **Световая сигнализация на мнемосхеме/экране:** На экране АРМ отображается схема котельной с динамическими индикаторами. Нормальные состояния отображаются зеленым (работа) или белым (резерв/выключено), предупреждения – желтым, аварии – красным. Например, работающий котел подсвечен зеленым, отключенный – серым, а при аварии на нем мигает красным.
- **Звуковая сигнализация:** При возникновении любой аварийной ситуации звуковой сигнал (сирена) оповещает персонал. Оператор должен нажать "Квитирование" на панели АРМ, после чего звук отключается, однако световая индикация аварии будет гореть до устранения проблемы.
- **Сообщения и журналы:** SCADA КРУГ-2000 ведет журнал событий и аварий. Каждое срабатывание датчика или изменение состояния регистрируется с меткой времени. Оператор может просмотреть списки тревог (неподтвержденных, подтвержденных) и

архив значений параметров. Например, при аварийном останове котла в журнал запишется: время, "Аварийный останов котла №..., причина: пламя погасло".

- **Квитирование и сбросы:** После устранения неисправности (например, перезапуск вентилятора, повышение уровня воды) оператор на АРМ нажимает "Сброс аварии" для конкретного агрегата, что снимает блокировку и позволяет снова запускать оборудование. Однако сброс возможен только если причина действительно исчезла (контроллер вновь проверяет все датчики).

Взаимодействие при управлении:

- Оператор имеет возможность **ручного управления** основным оборудованием через АРМ. Обычно на экране предусмотрены кнопки "Пуск" и "Стоп" для каждого насоса, котла, вентилятора, а также органы задания уставок (например, установить температуру 130°C). При этом система проверяет разрешающие условия: если оператор пытается включить котел, но есть блокировка, команда не выполнится, а на экране появится сообщение, почему (например, "Блокировка: нет разрешения ГРП").
- **Выбор режимов:** Некоторые механизмы могут работать в режимах "Автоматический/Ручной". Например, насосы могут иметь автоматическое включение по уровню, либо оператор может принудительно включить насос в ручном режиме (для проверки или при отказе автоматики). Переключение режима доступно на экране, при ручном режиме обычно отображается предупреждение, чтобы оператор вернул в авто после завершения.
- **Ввод уставок и коэффициентов:** Через интерфейс SCADA оператор устанавливает важные параметры: график температуры теплоносителя, аварийные пороги (в пределах допустимого диапазона), значение давление подпитки и т.п. Все эти значения хранятся в контроллере, и при изменении сразу влияют на алгоритмы. Для предотвращения ошибочных действий могут быть предусмотрены проверки "двойного ввода" (подтверждение) для особо важных настроек.
- **Отображение данных:** Операторский экран котельной показывает текущие значения всех ключевых параметров: температуры воды на выходе каждого котла, суммарный расход в сеть, давление подачи и обратки, положение клапанов, токи двигателей и т.д. Графические тренды позволяют видеть изменение параметров во времени (например, тренд давления в деаэраторе, чтобы отследить тенденцию).
- **Обмен информацией между подсистемами:** Оператор с АРМ верхнего уровня фактически управляет всеми подсистемами из единого интерфейса. Например, команда на открытие газового клапана ГРП или пуск насоса аккумулирующей насосной – все

подается через ту же SCADA. В то же время подсистемы могут обмениваться сигналами напрямую: так, АСУТП котельной получает сигнал "Давление газа низкое" от АСУ ГРП, и на экране котельной выдается предупреждение "Недостаточное давление газа – уменьшение нагрузки". Эти межсистемные сигналы также доступны оператору.

- **Доступ к настройкам и обслуживанию:** Инженерный персонал через SCADA (с соответствующими правами доступа) либо напрямую на контроллере может просматривать и редактировать определенные настройки алгоритмов: например, время проветривания топки, задержки переключения насосов, коэффициенты PID. Все изменения фиксируются и защищены паролями, чтобы исключить несанкционированную правку.

В целом, интерфейс оператора спроектирован так, чтобы в реальном времени отражать логику работы: при наступлении какого-либо условия автоматически всплывают подсказки или инструкции. Например, если котел остановлен по аварии, на экране может отображаться причина и шаги для повторного пуска (проверить вентилятор, давление газа, затем нажать "Сброс" и "Пуск"). Это значительно облегчает работу персонала и повышает безопасность эксплуатации.

3 Алгоритмы работы АСУ здания теплообменников

Описание подсистемы: Подсистема автоматизации здания теплообменников отвечает за управление группой промежуточных теплообменников, которые разделяют котловой контур и контур теплосети. Физически теплообменники расположены отдельно от котельной (в специальном тепловом пункте). Каждый теплообменник передает тепло от котловой воды (первичный контур) к сетевой воде (вторичный контур). Система автоматизации теплообменников включает в себя: моторизированную запорную арматуру на трубопроводах (затворы, клапаны), датчики температуры и давления на входе и выходе теплообменников, возможно перемешивающие насосы или обходные линии, а также вентиляцию помещения теплообменников. Основная задача алгоритмов – обеспечить эффективную передачу тепла, регулировать температуру и расход в сетевом контуре и защитить оборудование (теплообменники) от нештатных ситуаций (например, превышение давления).

3.1 Режимы работы и взаимодействие с котельной

Для системы теплообменников можно выделить:

- **Нормальный режим теплообмена:** работает определенное количество теплообменников, циркуляция через них постоянна. Температура сетевой воды на выходе из теплообменников достигает требуемого графика за счет регулирования потоков. Все клапаны находятся в позициях согласно текущей нагрузке.
- **Обходной (байпасный) режим:** при резком снижении отбора тепла или при отключении всех котлов возможна ситуация, когда сетевой контур переключается на байпас (минуя теплообменники) – например, для предотвращения переохлаждения сети или для прямого соединения подачи с обраткой во время отключения котлов. Этот режим также может использоваться при аварийном отключении теплообменников.
- **Режим частичной работы/ремонта:** отдельные теплообменники могут выводиться из работы (например, для очистки) – тогда их входные/выходные задвижки закрыты, а оставшиеся теплообменники несут нагрузку. Система автоматизации должна перенаправить потоки, избежать "застоя" воды в отключенном аппарате (спустить давление) и компенсировать уменьшенную площадь теплообмена.
- **Аварийный режим:** при аварийных ситуациях (разрыв трубки теплообменника, резкое падение давления на каком-либо участке, пожар или затопление помещения) – подсистема

либо изолирует поврежденный аппарат, либо отключает циркуляцию через здание теплообменников полностью, в зависимости от характера аварии.

Система теплообменников тесно связана с работой котлов и сетевых насосов:

- В нормальном режиме, когда котлы работают, первичный контур (котловая вода) прокачивается через теплообменники при помощи циркуляционных насосов котлового контура. Вторичный контур (сетевая вода) прокачивается сетевыми насосами через теплообменники. Температура на выходе вторичного контура регулируется за счет изменения теплопередачи.
- Если теплопередача чрезмерна (сетевая вода нагревается выше требуемого графика), подсистема может переключить часть потока сетевой воды **в обход теплообменников** через смесительный клапан (трехходовой клапан на линии байпаса) – смешивая остывшую обратную воду с перегретой подачей, тем самым уменьшая температуру подачи. Такой режим используется при низкой нагрузке, чтобы избежать частого выключения котлов.
- В случае отключения всех котлов (например, ночью котельная остановлена, а теплосеть получает тепло от аккумуляторов или другого источника) – теплообменники фактически не работают. Тогда алгоритм закрывает все клапаны первичного контура (чтобы не циркулировать холодную котловую воду впустую) и может открыть байпас между подачей и обраткой сети внутри теплопункта, чтобы обеспечить циркуляцию по малому контуру и равномерность температуры в сети.
- При возврате котлов в работу, система плавно переключает режим: закрывает байпасный клапан, открывает подачу через теплообменники, следя чтобы не было гидроудара и резкого перепада температур.

3.2 Управление и регулирование потоков теплоносителя

Управление запорной арматурой: В здании теплообменников установлены крупноразмерные дисковые затворы или шаровые краны на трубопроводах:

- На входе и выходе каждого теплообменника (первичный и вторичный контур) – для возможности отключить отдельный аппарат.
- На общей байпасной линии сетевой воды (параллельно всем теплообменникам) – трехходовой регулирующий клапан или комбинация клапанов, позволяющая направлять поток либо через теплообменники, либо мимо.
- На линиях обвода котлового контура – чтобы изолировать неработающие котлы.

Алгоритм управления этими клапанами:

- В нормальной работе **все работающие теплообменники открыты**: их входные/выходные затворы открыты полностью. Байпасный клапан закрыт или приоткрыт минимально (для балансировки).
- Если требуется **отключить теплообменник** №N, оператор задает команду на вывод из работы. Алгоритм: плавно закрываются его выходной затвор, при этом контроллер следит, чтобы не нарушить общую циркуляцию (остальные линии компенсируют). После закрытия – выдается сигнал "Теплообменник N отключен".
- **Предотвращение перегрева/переохлаждения сети:** Основной регулировочный орган здесь – **2 трехходовых клапана на сетевом байпасе**. Они поддерживает температуру сетевой воды на выходе теплообменников. Контроллер получает сигнал температуры на выходе в теплосеть и сравнивает с заданной (от котельной АСУТП). Если температура выше заданной, это значит, что вода слишком горячая (например, упало потребление, а котлы еще не снизили мощность) – тогда **клапаны приоткрывают байпас**, смешивая более холодную обратную воду, тем самым понижая температуру подачи. Если температура ниже заданной (недогрев), клапаны закрывают байпас, направляя максимум потока через теплообменники для нагрева.
- **Синхронизация с работой насосов:** Когда сетевые насосы изменяют производительность, давление и потоки в теплообменниках меняются. АСУ теплообменников оперативно подстраивает клапаны. Например, если дополнительный насос включился (увеличился поток через теплообменники), температура может просесть – контроллер запросит у котельной поднять котловую температуру или закроет чуть байпас, пока котлы нагреют. Таким образом, подсистемы обмениваются информацией: датчики температуры и давления передаются между контроллерами для согласованного регулирования.

Защита оборудования и особые алгоритмы:

- **Антиударная логика клапанов:** Большие задвижки открываются и закрываются с определенной скоростью, чтобы избежать гидроударов. Контроллер задает время хода (например, 30 секунд на полный ход). Если требуется экстренное закрытие (при аварии), то закрытие может ускоряться, но всё равно ступенчато: закрыть на 90% быстро, а последние 10% медленно.
- **Противопотоковая защита:** Недопустимо смешивание контуров. Поэтому если вдруг в теплообменнике появится утечка (прорыв трубок, смешение сред), контроллер получит сигнал аномального давления (например, давление вторичного контура стало выше

первичного, чего не должно быть при норме). Тогда алгоритм: немедленно изолировать этот теплообменник – закрыть его клапаны, чтобы минимизировать попадание сетевой воды в котловую или наоборот. Выдается авария "Разрыв теплообменника N – изолирован".

- **Противопожарная блокировка:** Если в помещении теплообменников обнаружен дым/пожар (датчики температуры, дыма) – автоматически закрываются входные и выходные клапаны на теплообменниках (чтобы огонь не повредил дальше или чтобы остановить циркуляцию в зоне пожара) и останавливаются насосы, связанные с этим контуром. Эта мера предотвращает питание огня кислородом через вентиляцию и ограничивает ущерб. Одновременно сигнализация на пульт.

3.3 Блокировки и аварийные ситуации

Блокировки в подсистеме теплообменников в основном связаны с корректной последовательностью действий:

- **Блокировка открытия байпаса при закрытых теплообменниках:** Нельзя закрыть все теплообменники и одновременно закрыть байпас – иначе поток в сети остановится и насосы будут работать "на закрытую задвижку". Поэтому алгоритм гарантирует: хотя бы один путь (через теплообменник или через байпас) всегда открыт. Если оператор ошибочно попытается закрыть всё – последняя команда не выполнится и выдастся предупреждение.
- **Блокировка отключения всех теплообменников сразу:** Если требуется останов всей системы (например, авария) – сначала останавливаются насосы, и только потом закрываются клапаны. То есть, блокируется закрытие последних клапанов пока работает насос, дабы не рвать поток.
- **Межблокировка насосов и клапанов:** Насосы сетевые не включатся, если все линии в теплопункте закрыты. И наоборот, клапаны не закроются полностью, пока работает насос (кроме аварии). В случае ремонта: перед отключением последнего теплообменника оператор должен остановить соответствующий насос (или система сделает это автоматически).
- **Авария электропитания:** При пропадании питания PLC или приводов клапанов – все клапаны остаются в текущем положении (если нет аварийных источников питания). На такой случай механически должны стоять предохранительные клапаны или ручное резервирование, но с точки зрения автоматики: контроллер при восстановлении отмечает,

что был сбой, проверяет положения клапанов (через конечные выключатели) и состояние системы, прежде чем возобновить автоматическое регулирование. Оператору – сигнал "Сбой связи с теплопунктом" в момент потери, и по возвращении – сигнал "Связь восстановлена, проверить состояние клапанов".

Дополнительно:

- В случае **аварии на котловом контуре** (например, котельная остановлена внезапно) – теплообменники автоматически переходят на байпас, предотвращая охлаждение сетевой воды. То есть если перестал поступать горячий теплоноситель, контроллер закрывает клапаны первичного контура (чтобы не охлаждать сетевую воду холодным стоячим теплоносителем) и открывает байпас, сохраняя циркуляцию в сети.
- В случае **аварии на сетевом контуре** (скажем, гидроудар, разрыв магистрали после теплопункта, что выражается в резком падении давления на выходе) – контроллер зафиксирует падение давления. Он может закрыть частично выходные клапаны, чтобы локализовать проблему и защитить оставшееся оборудование от кавитации. Конечно, разрыв в городе сама автоматика котельной не устранит, но на период до вмешательства аварийных бригад, система будет поддерживать минимальную циркуляцию в оставшейся части сети и предотвращать осушение теплообменников.

3.4 Сигнализация и операторский контроль

На АРМ оператора для теплообменников выведены все необходимые индикации:

- **Отображение схемы теплопункта:** графическое изображение теплообменников, трубопроводов, клапанов. Оператор видит состояние каждой задвижки (открыта/закрыта/в процессе), температуры вход/выход каждого аппарата, давление в контуре до и после, положение байпасного клапана (% открытия).
- **Сигналы тревоги:** при любых отклонениях загораются соответствующие индикаторы:
    - "Повышение давления в контуре теплообменников" – предупреждение, возможна разгрузка.
    - "Превышение температуры сетевой воды" – сигнал может дублировать сигнал котельной (если котлы перегрели).
    - "Разрыв теплообменника №N" – авария, сопровождаемая звуком, требующая немедленного внимания.
    - "Затопление приямка теплообменников" – авария окружающей среды (воды), также сигнализируется.

- **Контроль вентиляции:** датчики температуры и влажности в помещении отображаются, состояние вентиляторов (вкл/выкл) тоже. При срабатывании вентиляции по температуре – на схеме отображается "Вентиляция: ВКЛ (автоматически по t)". Если вентиляция отключилась (авария вентилятора) – "Неисправность вентилятора, температура растет".
- **Действия оператора:** В обычной работе подсистема работает автономно, оператор только наблюдает. Но доступны команды:
    - Отключить/подключить конкретный теплообменник (например, кнопка "Вывести из работы ТО-3").
    - Перевести регулирование температуры сети на ручное управление байпасом (например, задать фиксированное положение клапана вручную – используется редко, только при отказе датчиков).
    - Настроить уставки: максимальный перепад давления, минимальную дельту-Т, время закрытия клапанов и т.д.
    - Аварийная изоляция: в случае пожар или другого ЧП оператор может нажатием кнопки "Аварийное отключение теплопункта" закрыть все входы/выходы (если автоматика не сделала, или для проверки).
- **Квитирование аварий:** аналогично, любое аварийное событие подсистемы требует подтверждения. Например, при разрыве теплообменника сигнализация будет звучать до квитирования. Но блокировки останутся до тех пор, пока инженер не убедится в устранении (например, закрытый теплообменник не будет снова открыт автоматически – сначала ремонт).
- **Журналы и архивы:** Все действия (срабатывание клапана, достижение конечных положений, изменение режимов) логгируются. При разборе инцидентов оператор может посмотреть, например: в 10:35 датчик давления п.11а превысил верхний предел, в 10:35:05 открытие байпаса 20%->40%, в 10:35:10 температура нормализовалась.

Связь с основной котельной системой позволяет оператору видеть целостно: на одном экране может комбинироваться информация – например, рядом с каждым котлом может показываться, через какие теплообменники он работает, или на схеме теплосети видны точки присоединения котельной.

Таким образом, АСУ здания теплообменников действует как “промежуточный” уровень контроля между котлами и тепловой сетью, автоматически обеспечивая баланс потоков и температур. Оператор обычно не вмешивается в ее работу, кроме случаев необходимости отключения оборудования или реагирования на аварии. Все алгоритмы разработаны так, чтобы

максимально плавно осуществлять переключения, и обеспечивать надежность теплоснабжения потребителей даже при нештатных ситуациях.

4 Алгоритмы работы АСУТП здания аккумулирующей насосной

Описание подсистемы: Данная подсистема управляет аккумулирующей насосной станцией, обслуживающей аккумуляторные баки тепловой энергии. Аккумуляторные баки – это большие резервуары с горячей водой, предназначенные для накопления избытков тепла и отдачи его в сеть в периоды пикового потребления. Насосная станция обеспечивает перекачку воды между тепловой сетью и баками: *заряд аккумуляторов* (закачка горячей сетевой воды в баки) и *разряд аккумуляторов* (возврат горячей воды из баков в сеть). В составе оборудования: насосы заполнения баков, насосы отбора из баков, регулирующая арматура (клапаны на линиях в баки и из баков), датчики уровня и температуры в баках, а также трубопроводная обвязка с клапанами, соединенная с теплосетью.

Цель алгоритмов – оптимизировать использование тепловых аккумуляторов: сглаживать суточные пики нагрузки, повышать эффективность котельной. Система может автоматически переключаться между режимами накопления и отдачи тепла по заданному расписанию или критериям (например, время суток, текущая нагрузка, температура наружного воздуха).

4.1 Режимы работы и критерии переключения

Основные режимы работы аккумулирующей насосной:

- **Режим заряда (накопление тепла):** Баки аккумулируют тепло. Насосы перекачивают горячую воду из подающего трубопровода теплосети в аккумуляторные баки. При этом баки постепенно заполняются горячей водой (в верхней части бака высокая температура), вытесняя более холодную воду снизу обратно в обратную линию сети (либо в нижние зоны бака). Заряд обычно проводится при низком потреблении тепла (ночь) или при избыточной генерации (например, все котлы в работе, а потребление упало).
- **Режим разряда (отдача тепла):** Накопленное тепло возвращается в сеть. Насосы подают горячую воду из аккумуляторов в подающий трубопровод теплосети, повышая температуру и/или поддерживая нагрузку без включения дополнительных котлов. Баки охлаждаются и уровень горячей воды снижается. Этот режим активен при пиковой нагрузке (утром, вечером) или аварийном отключении части котлов – компенсируя недостаток мощности.
- **Режим поддержания/резерв (буферный):** Ни заряд, ни разряд активно не происходит. Система может быть в состоянии готовности – баки частично заряжены, насосы

остановлены. В этом режиме задача – сохранить накопленное тепло (минимизировать теплопотери) и быть готовым быстро включиться по команде.

- **Аварийный режим:** Если происходит авария (например, разрыв трубопровода к баку, перелив бака, авария насоса), то операции останавливаются, соответствующие клапаны закрываются. Аварийный режим аккумуляторов также может активироваться в случае, когда требуется экстренно сбросить тепло (например, при аварийном останове всех насосов теплосети – тепло может перенаправляться в баки, чтобы не перегревать котлы).

Условия переключения между режимами:

- В штатной эксплуатации переход **Заряд -> Разряд** и обратно часто определяется **суточным графиком**, заданным диспетчером. Например, с 22:00 до 6:00 – заряд (ночью), с 6:00 до 10:00 – разряд (утренний пик), потом возможно снова заряд днем, и разряд вечером и т.д. АСУТП может быть настроена по времени.
- Дополнительно, автоматические критерии:
    - **По температуре наружного воздуха и нагрузке:** если текущая тепловая нагрузка (расход и дельта-Т) ниже среднего дневного – система может войти в заряд (избыток тепла накапливается). Если нагрузка превышает определенный порог (почти все котлы задействованы, температура сетевой воды начинает проседать) – включается разряд (баки отдают тепло, поддерживая температуру).
    - **По состоянию котлов:** если некоторые котлы неисправны или не могут обеспечить требуемую мощность, то заранее может быть подготовлен режим разряда аккумуляторов, чтобы покрыть дефицит.
    - **Ручное управление:** оператор может вручную перевести систему в заряд или разряд, исходя из операционной необходимости.
- Переход **Буфер -> Заряд/Разряд** инициируется когда накопленное в баках тепло либо требуется использовать, либо есть возможность пополнить. Например, после полного заряда баки переходят в буферный режим (ждут разряда), а когда наступает время – переходит в разряд.
- После достижения целей (например, баки полностью заряжены или разряжены до минимально допустимого уровня) система возвращается в буферный режим.
- Аварийный режим приостанавливает любую операцию. Возврат из аварийного режима в буферный (ожидание) возможен только после устранения причины и сброса аварии.

4.2 Управление насосами и клапанами при зарядке/разрядке

Заряд аккумуляторов (закачка горячей воды в баки):

- При переходе в режим заряда АСУТП выдает команду **"Заряд начать"**:
    1. **Подготовка контуров:** Открывается клапан на линии подачи из сети в аккумуляторные баки (входной клапан бака) и клапан на обратной линии из бака в обратку сети. Это создает циркуляционный контур через бак. Скорость открытия регулируется, чтобы не вызвать резкого перепада давления.
    2. **Запуск насоса заполнения:** Включается насос заполнения (насос на линии, ведущей от сети к баку). Обычно предусмотрено несколько насосов или один регулируемый, в зависимости от размеров. Насос разгоняется до нужной производительности постепенно.
    3. **Регулирование потока при зарядке:** Цель – зарядить баки до определенного уровня и температуры, не нарушив работу сети. Контроллер поддерживает **расход заряда** на уровне, заданном уставкой (либо фиксированный расход, либо процент от потока сети). Слишком большой отбор из сети на заряд может вызвать падение температуры подачи к потребителям, поэтому алгоритм ограничивает заряд, если температура сети начинает падать ниже графика. Регулирование может выполняться за счет частотного привода насоса или с помощью регулирующего клапана на линии в бак: контроллер сравнивает текущую температуру сети с минимально допустимой и корректирует открытие клапана/скорость насоса.
    4. **Контроль уровня и температуры в баках:** В процессе зарядки измеряется уровень воды в каждом баке (верхний уровень горячей воды поднимается). Также температурные датчики по высоте бака фиксируют температурный профиль. Заряд продолжается до достижения верхнего уровня (например, 90% объема бака) или до достижения максимально допустимой температуры воды в баке. Если любой из этих параметров достиг предела, заряд останавливается: насос отключается, клапаны закрываются (плавно).
    5. **Завершение заряда:** При останове заряда возможен переход в поддержание: например, оставить бак под давлением сети. Часть оборудования остается открытым, чтобы бак был включен в циркуляцию (если предусмотрено), либо баки изолируются. Обычно для сохранения тепла бак после заряда изолируют: закрывают входной и выходной клапан, чтобы горячая вода не циркулировала обратно и не остужалась.

Разряд аккумуляторов (отбор тепла из баков в сеть):

- При необходимости разряда (отдать накопленное тепло) выполняется алгоритм **"Разряд начать"**:
    1. **Подготовка контура разряда:** Открывается клапан на выходе горячей воды из аккумулятора в подающий трубопровод сети, а также клапан на входе холодной обратной воды из сети в низ бака. Таким образом, организуется путь: вода из бака -> в подачу сети, а из обратки сети -> в бак (вытесняя горячую).
    2. **Запуск насоса отбора:** Включаются насосы, качающие воду из бака в сеть. Эти насосы берут горячую воду из верхней части бака и подают ее в магистраль. Насосы ускоряются постепенно, смешивая воду аккуратно, чтобы избежать температурного шока в сетевой воде.
    3. **Регулирование разряда:** Контроллер следит за **температурой сетевой воды на выходе котельной**. Если она ниже требуемой, разряд ускоряется (насосы дают больший поток горячей воды из бака в систему). Если температура достигает уставки, поток из баков дозируется так, чтобы поддерживать температуру на нужном уровне. В идеале, разряд компенсирует недостающую тепловую мощность: например, вместо включения дополнительного котла, насосы аккумулятора подмешивают горячую воду, удерживая температуру.
    4. **Контроль уровня в баке:** В процессе разряда уровень горячей воды в баке падает. Алгоритм не допускает опустошения бака ниже минимального уровня (например, 10% остатка), чтобы не захватить воздух и не нарушить давление. Когда уровень приближается к минимальному, контроллер заранее снижает расход разряда, а по достижении минимума – останавливает разряд (насосы останавливаются).
    5. **Окончание разряда:** По завершении, баки либо остаются подключенными (частично заполнены холодной водой, готовой к следующему заряду), либо изолируются клапанами. Часто после полного разряда баки наполняются холодной сетевой водой (т.е. они не пустые, а заполнены холодной – это нужно для предотвращения коррозии и гидроударов при следующем заряде).

Балансировка и одновременная работа:

- Если установлено несколько аккумуляторных баков, система может заряжать/разряжать их последовательно или параллельно. Алгоритмы могут, например, сначала полностью зарядить бак №1, затем начать заряд бака №2, и т.д., чтобы один бак сохранялся максимально горячим. При разряде – наоборот, сначала разряжается самый горячий бак.

- Возможно и параллельное включение (если насосная рассчитана) – тогда расход делится между баками. Контроллер следит, чтобы уровни поднимались/опускались равномерно. Это сложнее, обычно выбирают поочередное управление для стабильности.
- **Одновременный заряд и разряд** не практикуется (и физически бессмысленно) – алгоритм не позволит включить противоположные потоки одновременно. Если, например, оператор по ошибке попытается запустить заряд когда идет разряд – система либо отклонит команду, либо перейдет в другой режим только после остановки текущего. Такой конфликт предотвращается блокировками (см. 3.3).

Взаимодействие с котельной и теплосетью:

- При зарядке: фактически баки отнимают часть тепла, снижая нагрузку на теплосеть. В это время котельная может работать стабильнее, либо некоторые котлы выгружаются. АСУТП котельной получает сигнал о том, что идет заряд, и может снизить горелки, чтобы не перегревать лишнее.
- При разрядке: баки добавляют тепло, поэтому котлы могут быть частично разгружены или не запускаться дополнительные. Котельная АСУ получает информацию о разряде – например, видит, что температура в сети поддерживается не только котлами. Могут действовать взаимные блокировки: не запускать лишний котел, пока есть тепло в баках.
- С теплосетью: Пользователи могут не замечать процесса заряда/разряда, если он правильно дозирован. Однако, если, скажем, внезапно включить разряд большим потоком, потребители могут увидеть скачок температуры. Поэтому алгоритмы стараются менять подачу плавно. Также ведется учет тепла: контроллер может интегрировать тепловой поток в/из баков (Гкал) для отчетности.

4.3 Блокировки и защитные меры в насосной аккумулирующих баков

Блокировки переключения режимов:

- **Запрет одновременного заряда и разряда:** Как отмечалось, не допускается ситуация, когда одни насосы пытаются качать в баки, а другие из баков. Программно режимы взаимоисключающие. Если одна команда активна, противоположные команды игнорируются. Например, до полного окончания заряда (останова насосов и закрытия клапанов) команда "Разряд" не исполнится.
- **Блокировка по температуре воды:** При начале заряда проверяется температура воды, поступающей в баки. Если она ниже определенного значения (например, баки уже почти

остывшие и теплотрасса тоже холодная), нельзя резко подавать слишком горячую воду – возможна большая термическая нагрузка на стенки бака. Тогда алгоритм может сначала выполнить подогрев: пропустить немного горячей воды через байпасную линию, чтобы прогреть трубы, и только потом открыть полностью клапан в бак. Аналогично, при разряде – не подать слишком холодную воду в горячую сеть. Если по каким-то причинам вода в баках остыла, а сеть горячая – разряд блокируется (чтобы не испортить температуру сети).

- **Контроль давления:** Перед включением насосов открываются соответствующие клапаны, и измеряется давление в линии. Если давления не выровнены (например, бак находится под давлением ниже чем сеть, или наоборот), система может уравновешивать давление: через специальные балансировочные линии или малые клапаны. Только после равновесия дается разрешение на пуск насоса. Это предотвращает гидроудары.
- **Блокировка минимального уровня:** Насос разряда не включится, если уровень горячей воды в баке слишком мал (иначе насос всосет воздух). Аналогично, насос заряда не включится, если бак уже полон (уровень близок к максимуму), чтобы не перелить.
- **Блокировка насоса при закрытых клапанах:** Очевидно, блокируется пуск насоса если соответствующая линия не открыта. Контроллер проверяет состояние конечных выключателей клапанов: если, например, клапан выхода бака не открыт, а дана команда на насос разряда – пуск не произойдет, выдастся предупреждение "Невозможно включить насос: выходной клапан закрыт".

Защиты и аварийные ситуации:

- **Перелив бака:** Если по сбою не остановился насос заряда и уровень превысил максимум – срабатывает датчик верхнего аварийного уровня. Немедленно: насосы заряда отключаются, все клапаны на входе в бак закрываются. Лишняя вода может уйти через аварийный перелив (механически), а контроллер выдаст тревогу "Перелив бака №...". После аварии оператор должен откачать лишнее (через дренажный насос) прежде чем снова пользоваться баком.
- **Падение уровня (разряд более допустимого):** Если уровень достиг минимального и продолжает падать (вода уходит, угроза завоздушивания), – защита: останов насосов разряда, закрытие выходного клапана (чтобы не засосать воздух), сигнал "Авария разряда – бак опустошен".
- **Кавитация насоса / отсутствие потока:** Контролируется давление на входе насосов. Если при работе насоса зарядного падает давление (например, бак под вакуумом, не успевает поступать вода) – защита: останов насоса, сигнал "Недостаток воды на входе

насоса (кавитация)". Возможно, автоматически откроется компенсирующий клапан (соединяющий бак с атмосферой или другой контур) для восстановления давления.

- **Перегрев насоса:** Насосы работают с горячей водой, имеют датчики температуры подшипников и обмоток. Стандартные электрозашиты (от ЭТО подсистемы) отключат насос при перегреве или перегрузке. АСУТП насосной получит сигнал об аварийном отключении насоса. Алгоритм: если есть резервный насос – он запускается автоматически, чтобы продолжить процесс. Если резерва нет – режим прерывается и выдается авария.
- **Разрыв трубопровода/утечка:** Если на линии к баку случится разрыв (например, резкое падение давления и уровня одновременно), контроллер это увидит: давление на выходе насоса упало, а насос идет на максимальную скорость без набора давления. Тогда срабатывает защита "Разрыв линии заряда/разряда" – останов насоса, закрытие всех клапанов, изоляция бака. Одновременно возможно сигнализируется на АСУТП котельной о потере воды.
- **Авария бака (разгерметизация):** Падение давления внутри бака или внезапное изменение температуры может указывать на повреждение бака. Датчики давления внутри бака (если есть) или внезапное совпадение сигналов (уровень упал, но воды в приямке много – утечка) – дают команду изолировать бак. Все клапаны данного бака закрываются. Насосы, связанные с ним, останавливаются. Выдается сигнал "Авария аккумуляторного бака №..., утечка". Система может продолжить работу с оставшимися баками, если они есть, но уменьшит общую емкость.

Режимы аварийного сброса тепла:

- В критической ситуации (например, отключение потребителей, а котлы еще продолжают вырабатывать тепло, или при полном отключении электричества на сетевые насосы) – аккумулирующие баки могут сыграть роль аварийного поглотителя тепла. Предусмотрено, что если тепловая сеть не принимает воду (насосы сети остановились), а котлы еще горячие, то **аварийно открываются клапаны на баки** и гравитационно горячая вода из котлового контура сбрасывается в баки, предотвращая перегрев котлов. Этот алгоритм работает на уровне межсистемной защиты: сигнал "Авария сети – сброс в баки" от котельной приводит к открытию клапанов в аккумуляторы (даже без включения насосов, по разности давлений вода сама уйдет). Конечно, это в том случае, если баки готовы (имеют объем).
- Обратный случай – аварийный разряд: если вдруг все котлы выключились (например, авария газоснабжения), а потребителям еще нужно тепло, и есть заряженные баки, то

автоматически включается разряд без команды оператора (если разрешено в настройках): насосы начнут подавать тепло из баков, чтобы дать время персоналу запустить резервные котлы или устранить проблему.

4.4 Сигнализация и интерфейс оператора

Оператору на АРМ доступен отдельный экран "Аккумулирующие баки", где отображается:

- **Уровни и температуры:** Графическое отображение каждого бака с столбиком уровня (% заполнения) и температурой в верхней части (температура горячей воды). Можно цветом показывать степень заряда (например, красный – горячая вода, синий – холодная снизу).
- **Состояние насосов:** индикаторы "Насос заряда 1 (работает/остановлен/авария)", то же для насоса разряда, резервных. Здесь же кнопки ручного пуска/остановки при необходимости.
- **Положения клапанов:** пиктограммы клапанов на линиях, с указанием открыто/закрыто. Если в процессе – мигают.
- **Текущий режим:** текстовое поле, где написано текущее состояние системы: "Буферный режим (ожидание)", "Заряд: бак1 -> 75% (идет)", "Разряд: бак1 + бак2 (мощность 20 МВт)" и т.п. Это помогает оператору понять, что происходит.
- **Уставки и настройки:** поля для изменения критериев: можно установить время начала/окончания зарядов, приоритет использования баков, ограничения по температуре и пр. Эти настройки защищены паролем для инженерного состава либо доступны диспетчеру по регламенту.
- **Диаграммы потоков:** возможно отображение мгновенного теплового потока в/из баков (в Гкал/ч), давления в разных точках (на входе насоса, на выходе, в баке).
- **Сигнализация:**
  - Предупредительные: "Бак1 близок к полному заряду (85%)", "Бак2 остался 15% объема" – эти сигналы заранее предупреждают оператора.
  - Аварийные: "Авария насоса заряда", "Перелив бака1", "Разрыв трубы на линии бака2" – с соответствующей звуковой сигнализацией.
- **Квитирование:** аналогично, все аварии требуют подтверждения. Например, при переливе сирена звучит, пока оператор не квитирует. Но повторный заряд не будет возможен, пока уровень не придет в норму.
- **Команды оператора:**

- Принудительный старт/стоп заряда или разряда (если требуется вне расписания начать или прекратить). При даче команды "Стоп заряд" система перейдет в буферный режим, плавно останавливая насосы и закрывая клапаны.
- Переключение между автоматическим (по графику) и ручным управлением режимом. Обычно работает авто по расписанию, но оператор может временно взять управление на себя.
- Указание приоритета: например, если два бака, можно выбрать "Разряжать сначала бак2" – это своего рода настройка.
- Аварийный сброс/останова: кнопка "Стоп аккумуляторы" – немедленная изоляция всех баков, остановка насосов (на случай неправильной работы алгоритма или при пожаре в насосной и т.д.).

Интеграция с остальной системой:

- Оператор видит на сводном экране котельной общий вклад аккумуляторов: например, текущая суммарная мощность, отдаваемая аккумуляторами, отображается рядом с мощностью котлов. Также, когда баки в работе, на схеме теплосети отображается стрелка потока в баки или из баков.
- В журнале событий фиксируется начало/конец зарядов и разрядов, сколько тепла накоплено/отдано (с расчетом).

Таким образом, подсистема аккумулирующих баков значительно повышает гибкость теплоснабжения. Оператору достаточно задать стратегию (время и условия), а автоматика сама выполнит переключения, обеспечивая плавность и безопасность. Все критические моменты контролируются датчиками, а в случае отклонений система своевременно оповещает персонал и принимает необходимые аварийные меры.

5 Алгоритмы работы АСУ ГРП-1

Описание подсистемы: АСУ газорегуляторного пункта №1 (ГРП-1) управляет технологическим оборудованием, обеспечивающим подготовку и подачу природного газа к котельной. ГРП-1 включает: входной запорный клапан на газопроводе, фильтры газа, регуляторы давления (обычно два последовательных или параллельных регулятора для снижения высокого давления до рабочего), предохранительно-сбросные клапаны, предохранительно-запорные клапаны (ПЗК) на случай аварий, газоанализаторы (метан) в помещении, систему вентиляции, обогрев (подогрев газа или обогрев помещения) и контрольно-измерительные приборы (датчики давления, температуры).

Основная функция алгоритмов ГРП – поддерживать стабильное **выходное давление газа** для котлов при изменении расхода, и обеспечить **безопасность**: фильтрация примесей, отключение подачи при авариях, удаление газа вентиляцией при утечках.

5.1 Режимы работы газорегуляторного пункта

- **Рабочий (штатный) режим:** обычная подача газа. Входной клапан открыт, газ проходит через фильтры и регуляторы давления. Регуляторы автоматически поддерживают заданное **давление на выходе ГРП** (например, 0.3 МПа) при колебаниях входного давления (например, 1.2-1.6 МПа из городской сети) и расхода (при изменении количества работающих котлов).
- **Резервный/байпасный режим:** в ГРП есть две параллельных линий регулирования (два регулятора – основной и резервный, или два по 50% мощности). В норме работает один, второй – в горячем резерве. Резервный режим означает переключение на вторую линию (например, при обслуживании основного регулятора или если его пропускной способности не хватает). Автоматика при необходимости открывает байпасный регулятор и может закрыть основной на обслуживание.
- **Аварийный режим:** при авариях газоподача прекращается. Это может быть вызвано: выходное давление превысило установленный предел (отказ регулятора – тогда срабатывает задвижка, отсекающая газ), резкое падение давления (авария на входе или прорыв на выходе – задвижка тоже может сработать, отсекая, чтобы не было неконтролируемого выброса) или пожар (температурный датчик – термозапорный клапан). В аварийном режиме все запорные устройства переходят в закрытое состояние, вентиляция включается на максимальную производительность, выдается сигнал тревоги

на котельную (котлы знают, что газ отключен, и должны погаснуть если отключен ГРП-2).

- **Режим продувки/пуска ГРП:** после монтажа или ремонта ГРП необходимо продувать газопроводы воздухом или инертным газом, затем медленно наполнить газом. Автоматика имеет специальный режим "пуск ГРП" – открывает исполнительные механизмы пошагово, контролирует вытеснение воздуха, проверяет по газоанализатору, что всё нормально, и допускает розжиг котлов. Этот режим полуавтоматический и происходит под контролем персонала.

5.2 Управление давлением и потоком газа

Регулирование давления:

- Основной регулятор давления (РД) поддерживает заданное выходное давление. АСУ ГРП считывает значение давления **до регулятора** (входное) и **после** (выходное). Если выходное давление в пределах нормы (например, 0.3±0.02 МПа), контроллер не вмешивается.
- При увеличении расхода газа (включаются новые котлы) происходит падение выходного давления – регулятор приоткрывается сильнее, поддерживая давление. Если он не справляется (например, достиг максимального открытия, а давление все равно падает), АСУ фиксирует ситуацию "недостаточное давление на выходе ГРП". Это может означать либо проблема на входе (городская сеть не дает нужного давления), либо расход превысил расчетный. Оператору – предупреждение, котельной – сигнал, что нельзя дальше увеличивать нагрузку (блокируется пуск новых котлов).
- При уменьшении расхода (котлы отключаются) давление растет, регулятор прикрывается. Если он перекрылся полностью, но давление все равно растет (например, нагрев газа или утечка через регулятор) – сработает предохранительный сбросной клапан (ПСК) стравливает газ наружу. АСУ контролирует датчик давления **после регулятора**.

Управление запорными клапанами:

- Входной запорный клапан (электромагнитный или моторный) обычно **открыт** в нормальной работе. АСУ его закрывает в случаях: при аварии (газоанализатор или пожар), при необходимости обслуживания (оператор может дать команду закрыть вход ГРП для работ).

- Выходной запорный клапан – аналогично, для изоляции. Может автоматически закрываться при аварии в котельной (например, обрыв трубопровода после ГРП – датчик давления на выходе упал резко, система может закрыть выход).
- **Фильтры газа:** АСУ постоянно мониторит их. Если перепад превысил норму (фильтр засорен), сигнал "Засорение фильтра №..." появляется. Это предупреждение: нужно планировать чистку.
- **Вентиляция помещения ГРП:** Постоянная вентиляция обычно предусмотрена, т.к. любое малейшее просачивание газа нужно удалять. Управление: при норме работает на минимальной скорости или периодически. Если сработал газоанализатор (метан > 10% НКПР, скажем) – включается аварийная вентиляция: вентиляторы на максимальную мощность, для быстрого проветривания. АСУ ГРП получает от газоанализатора 1-го порога сигнал "Содержание метана превышает порог 1" – включает вентиляторы, выдает предупреждение оператору. Если достигается 2-й порог (20% НКПР) – это уже высокая концентрация, близкая к взрывоопасной, немедленно: **закрытие входного газового клапана** (отсекаем источник газа), вентиляция продолжается, сигнал "Авария газа – высокая концентрация". Также котельной посылается сигнал на останов котлов (чтобы не было горящих факелов, которые могут поджечь газ).

Автономность и ручное управление:

- ГРП обычно спроектированы так, чтобы **безопасность не зависела от электроники**: ПЗК, ПСК, термоклапаны – все срабатывают автономно по механике. АСУ же **мониторит** эти события и обеспечивает второстепенные функции (вентиляция, сигналы, последовательность закрытия/открытия).
- Ручное управление: Оператор через систему может:
  - Дистанционно открыть/закрыть электрозадвижку на входе.
  - Изменить уставку выходного давления.
  - Принудительно включить вентиляцию.
  - Блокировать газоанализаторы (на время техобслуживания, чтобы не сработала автоматика).
  - Переключить линии: открыть резервный регулятор, закрыть основной – для обслуживания.
- Эти действия обычно требуют подтверждения и соблюдения процедуры. АСУ может запросить: "Подтвердите закрытие подачи газа? Да/Нет".

5.3 Блокировки и аварийные ситуации ГРП-1

Блокировки:

- **Продувка перед пуском:** При первоначальном заполнении ГРП газом (после ремонта) должны быть открыты свечные линии (на улицу) чтобы выгнать воздух. АСУ может требовать: "Откройте свечу, подтвердите продувку". Без подтверждения продувки пуск блокируется.
- **Блокировка котельной при аварии ГРП:** Как только закрывается задвижка и газ отсечен, АСУ ГРП посылает сигнал в АСУТП котельной "Аварийное отключение газа". Логика котельной блокирует попытки розжига котлов и инициирует аварийный останов работающих. Таким образом, никакой котел не попробует гореть без газа.
- **Контроль газа на выходе:** Если все котлы остановлены, и оператор хочет закрыть выходной вентиль, это можно. Но если котлы работали, а он закрыл, получился бы риск – лучше сначала остановить котлы. АСУ ГРП получая сигнал "закрыть выход" сначала посылает запрос котельной "остановите горелки", дождется подтверждения, и затем закроет. Это межсистемная блокировка для безопасности.

Аварийные ситуации и ответы:

- **Превышение выходного давления (регулятор не держит):** АСУ зафиксирует событие, подаст общую аварию. Оператор должен обратить внимание – возможно, снизить уставку котлов или проверить регулятор.
- **Падение выходного давления (вход пропал или потребление огромно):** АСУ выдаст сигнал "Давление газа ниже минимально допустимого". Если давление упало до уровня отключения горелок (каждый котел имеет низкое давление газа блокировку) – котлы самостоятельно погаснут, это приведет к останову котельной. ГРП тут просто сигнализирует.
- **Обнаружение утечки газа:** Газоанализаторы:
    - **Порог 1 (например 10% НКПР):** Предупреждение, вентиляция усилена. Оператору: "Концентрация CH4 повышена, проверьте ГРП". Персоналу нужно выйти с газосигнализаторами ручными, проверить. Автоматика пока не отключает газ.
    - **Порог 2 (20% НКПР):** Авария. Немедленно: Закрыть входную задвижку, обесточить помещение (исключить искры), сигнал пожарной тревоги, оповещение диспетчера. Вентиляторы – отключены. В любом случае, котлы без газа погаснут.

Система требует ручного вмешательства – перезапуск только после проветривания и проверки.

- **Пожар в ГРП:** АСУ: фиксирует "Пожар, газ отключен". Пожарная сигнализация тоже должна сработать, возможно, автоматическая CO2 система тушения зальет помещение инертным газом. АСУ после пожара не возобновит работу без проверки. Все остается заблокированным (требуется флажок "Пожар снят" вручную).
- **Отказ питания/PLC в ГРП:** Если контроллер ГРП обесточен, безопасность все равно обеспечена механикой – задвижка останется открытой, но газоанализатор, вентиляция, индикация перестают работать. В таком случае, на верхнем уровне (котельная SCADA) появится сигнал "Связь с ГРП-1 потеряна". Оператор должен усилить контроль. Резервные автономные системы могут быть: газоанализатор может иметь свой аварийный выход на ПЗК (отключить газ независимо от PLC). До восстановления связи котельная может работать, но в случае чего автоматика ГРП не сообщит о проблеме – риск. Поэтому, возможно, прописать: при потере связи с ГРП более X минут, остановить котлы в целях предосторожности. Но это зависит от политики. Как минимум, оператору дается указание проверить ГРП немедленно.
- **4.4 Интерфейс и взаимодействие оператора для ГРП-1**

  SCADA интерфейс для ГРП-1 представлен отдельной мнемосхемой:
- Показывается схема газопровода: Вход -> фильтры -> регулятор(ы) -> выход -> котельная.
- Рядом цифровые значения: давление на входе (Рвх), давление на выходе (Рвых), давление после регулятора (Ррег), температура газа.
- Состояния клапанов: "Входная задвижка: Открыта/Закрыта", "Регулятор основной: Открыт на X%", "Регулятор резервный: Открыт на X%".
- Состояние вентиляции: "Вентилятор1: Работает/Останов".
- Газоанализатор: отображается как индикатор "Метан: 1 порог", "Метан: 2 порог" и меняется цвет/текст при превышении порогов.
- **Журналы:** Оператор может увидеть последние сработки: "В 12:00:50 Давление выходное 0.36 МПа (выше нормы), 12:00:55 ПЗК сработал, выходное давление 0 МПа".
- **Команды:**
  - Закрыть/открыть входную задвижку (с подтверждением).
  - Включить/выключить вентиляцию вручную.
  - Разрешить/запретить автоматическое отключение при газоанализаторе (например, на время техработ).

- Переключить регуляторы (команда "Основной -> Резервный", которая по алгоритму откроет резервный регулятор до уставки, потом закроет основной).
- Настроить выходное давление: например, "+/-" кнопки или ввод значения.

- **Сигнализация на общем пульте:**
  - "Авария ГРП-1 – Газ отключен".
  - "Предупреждение ГРП-1 – повышенное давление" (желтая).
  - "Загазованность в ГРП-1" (красная при 2 пороге, желтая при 1 пороге).
  - "Засорение фильтра ГРП-1".
  - "Режим питания ГРП от резервного регулятора" (информирует, что основной отключен, резервный работает).
- Оператор должен квитировать аварии. После устранения причин, например, газоанализатор пришел в норму – но газ все еще отключен – оператор и технический персонал проводят проверку, потом оператор дает команду открыть газ.
- **Взаимодействие с котельной:** Некоторые параметры ГРП могут отображаться и на экране котельной: давление газа перед горелками – это важный параметр для котлов. Там показывается "Газ: Давление = ... МПа (норма/низкое)". Если ГРП аварийно отключился, на котельной экране сразу крупно "Отключение подачи газа! Все горелки остановлены." Так что оператор котельной мгновенно понимает, что проблема в ГРП.
- **Сбросы и повторный пуск:** Когда все исправлено, оператор по согласованию с газовой службой перезапускает ГРП. Это может быть полуавтоматично:
  - команда "Пуск ГРП" – откроется медленно входной клапан, пока давление не стабилизируется, затем котельным возможно дается разрешение. Автоматика следит за газоанализатором – вдруг при пуске утечка.
  - Только после успешного пуска (давление на выходе стабильно, концентрация метана 0) – снимается блокировка котлов (сигнал "Газ подан, можно разжигать котлы").

В итоге, АСУ ГРП-1 обеспечивает круглосуточный контроль безопасной подачи газа. Оператор обычно не вмешивается, кроме как наблюдает давление и периодически проверяет сигналы фильтров. В случае любого отклонения система либо сама принимает меры, либо четко указывает оператору проблему, требующую действий (например, почистить фильтр, проветрить помещение, и т.д.).

6 Алгоритмы работы АСУ ГРП-2

Описание подсистемы: АСУ ГРП-2 отвечает за управление вторым газорегуляторным пунктом котельной. ГРП-2, служит дополнительным источником газа. По составу оборудования и функциям ГРП-2 аналогичен ГРП-1: имеется входной узел, фильтры, регуляторы давления, предохранительные клапаны, запорная арматура, датчики и система безопасности (газоанализаторы, вентиляция).

Алгоритмы ГРП-2 во многом повторяют описанные для ГРП-1, поэтому здесь будет сделан акцент на взаимодействии двух газорегуляторных пунктов и особенности резервирования.

6.1 Режимы и взаимодействие ГРП-1/ГРП-2

- **Один ГРП в работе, второй в резерве:** Обычно в нормальных условиях один газопункт обеспечивает необходимый газ для всех котлов. Второй при этом находится в режиме ожидания: его входной клапан закрыт или частично открыт, регулятор держит давление, но основного потока не идет. Можно считать, что он "параллельно подключен", но отсечен. АСУ ГРП-2 следит за параметрами, но не активно регулирует (разве что поддерживает готовность).
- **Одновременная работа (при высоком расходе):** Если потребление газа приближается к лимиту одного ГРП, система может **автоматически подключить второй ГРП**. Например, у каждого ГРП свой расходомер; если расход через ГРП-1 ~80% от его макс, АСУ дает команду открыть линию ГРП-2. Регулятор ГРП-2 начинает подмешивать газ. Цель – распределить расход. Оба регулятора тогда работают параллельно, деля нагрузку примерно поровну, поддерживая одинаковое выходное давление (они настроены на одно и то же). Для этого АСУ должна синхронизировать их: например, чуть снизить уставку на ГРП-1 и поднять на ГРП-2, чтобы он взял часть потока.
- **Автоматическое резервирование при отказе:**
    - Если ГРП-1 аварийно отключился, то **ГРП-2 должен незамедлительно обеспечить газоснабжение**. Алгоритм: как только АСУ котельной получает сигнал "ГРП-1 авария, давление газа на выходе падает", она проверяет состояние ГРП-2. Если ГРП-2 готов (входное давление есть, всё в норме), то дает команду поднять расход. Затем газ поступает через ГРП-2. Котлы могут даже не погаснуть,

если переключение достаточно быстрое. Это сложный случай, но идеал – *безаварийное переключение на резервный ГРП.*

- АСУ должна скоординировать: как только ГРП-1 дал аварийный сигнал, она сразу выдала команду на открытие ГРП-2. Также логично закрыть соединение с ГРП-1, чтобы не выпускать газ куда не надо.

- **Ручное переключение:** Оператор может решать, с какого ГРП кормить котельную. Например, при ТО ГРП-1, перевести всё на ГРП-2. Тогда по процедуре:

1. Убедиться, что оба параллельно не создадут разные давления. Лучше синхронизировать – сделать уставки равными.
2. Открыть выход ГРП-2 (плавно), одновременно, если надо, начать закрывать выход ГРП-1.
3. Следить, чтоб давление оставалось в норме.
4. Полностью закрыть ГРП-1 вход. АСУ может частично автоматизировать: команда "Переключить на ГРП-2" – она сделает вышеописанные шаги (поднимет давление на ГРП-2 до ровни ГРП-1, откроет клапан, закроет другой).

- **Одновременная работа для балансировки источников газа:** ГРП-1 и ГРП-2 питаются от разных внешних газовых магистралей. АСУ может допускать постоянную работу обоих, например, 50/50. Тогда оба РД держат одинаковое давление, расход делится. С точки зрения алгоритма, это просто оба работают как один – никаких особых действий, кроме мониторинга, не нужно.

6.2 Операторский интерфейс для ГРП-2

- Показываются все те же параметры, но с отличием названий: "Давление вход ГРП-2", "Давление выход ГРП-2". Если выходы объединены, то "давление выход" по сути общее, но возможно дублируется.
- Состояние клапанов ГРП-2: входная задвижка 2, регулятор 2, и т.д.
- Сигналы: "Авария ГРП-2 – газ отключен", "Загазованность в ГРП-2", "Засорение фильтра ГРП-2".
- Команды: аналогично, открыть/закрыть, переключить на резерв (в данном случае, может, ГРП-2).
- Особая команда: "Синхронизировать ГРП-1 и ГРП-2" – которая равняет их выходные давления. Оператор может нажать перед тем, как знать что оба будут работать, чтобы избежать расхождений.

- **Квитирование и блокировки:**
    - Если ГРП-2 закрылся из-за аварии, он остается так до ручного снятия.
    - Котельная будет блокирована, если оба источника аварийны, иначе – продолжит.

В работе оператор может:

- Смотреть, насколько загружен каждый ГРП (возможно, по расходу). Если видит, что один на пределе, может заранее подключить второй.
- Проводить периодические переключения, чтобы оба эксплуатировались (чтобы оборудование не застаивалось).

В целом, АСУ ГРП-2 дополняет АСУ ГРП-1, обеспечивая **безотказность газоснабжения**. Алгоритмы двух ГРП координируются для надежной и безопасной работы. Пользовательский интерфейс предоставляет полную информацию и контроль, но критические переключения обычно происходят автоматически, чтобы исключить задержку человеческого фактора при аварии.

7 Алгоритмы работы АСУ ЭТО

В разработке

8 Возможности развития и расширения алгоритмов

Алгоритмы управления, реализованные в системе АСУТП водогрейной котельной Ивановской ТЭЦ-2, изначально спроектированы с учетом перспектив расширения и модернизации. Это соответствует требованиям технического задания – создавать систему, **способную к дальнейшему развитию и модернизации**. Ниже перечислены основные заложенные возможности для будущего расширения:

- **Модульная структура ПО:** Программное обеспечение ПЛК организовано по функциональным модулям, привязанным к отдельным узлам оборудования (котел, насос, теплообменник, ГРП и т.д.). Добавление нового оборудования установка девятого котла или дополнительного насоса) сводится к копированию и настройке соответствующего программного модуля. Общесистемные шины данных (например, шина обмена параметрами между котлами и насосами) имеют резервные ячейки для новых модулей. Такой подход гарантирует минимальное вмешательство в существующий код при расширении.
- **Резерв ресурсов контроллеров:** Выбраны контроллеры серии ТРЭИ с достаточным запасом по производительности и памяти. План адресации входов/выходов предусматривает резервные каналы для подключения дополнительных датчиков или исполнительных механизмов в будущем. Например, в шкафу управления зарезервированы свободные каналы модулей ввода-вывода, а коммуникационные порты могут быть задействованы для новых подсистем (дополнительный модуль частотного преобразователя или нового ГРП).
- **Масштабируемость SCADA:** База данных SCADA КРУГ-2000 изначально включает структуру тегов с возможностью расширения. Экранные формы имеют закладки для "перспективного оборудования". Например, если впоследствии будет установлен третий газорегуляторный пункт или дополнительные аккумуляторные баки, то их отображение можно добавить без переработки всей системы – достаточно скопировать существующие мнемосхемы и скорректировать привязку сигналов. Система отчетности и архивирования настроена универсально по группам оборудования; новые группы (котлы, насосы) будут автоматически включены при расширении.
- **Адаптивность к изменениям параметров:** Алгоритмы регулирования реализованы с использованием настраиваемых параметров (уставок, коэффициентов ПИД, временных задержек) хранимых в постоянной памяти контроллера или в базе SCADA. Это означает, что при изменении технологических требований (например, новый температурный

график теплосети, другие границы аварийных сигналов) можно оперативно изменить настройки через интерфейс без перепрограммирования. Кроме того, предусмотрена возможность переключения алгоритмов регулирования – например, внедрение более продвинутого закона управления (каскадное регулирование или прогнозирующее) вместо стандартного ПИД, что может быть добавлено в будущих версиях ПО.

- **Интеграция нового оборудования:** Система готова к подключению дополнительных устройств через стандартные интерфейсы. Контроллеры ТРЭИ и SCADA поддерживают Modbus, OPC UA и другие протоколы, что облегчит интеграцию, например, с системой учета газа, с датчиками вибрации нового поколения на насосах или с облачной платформой мониторинга. Структура адресации сигналов предусматривает уникальные префиксы для новых устройств, чтобы избежать конфликтов. В документации описаны правила наименования сигналов, которым будут следовать будущие разработчики, что обеспечит преемственность.
- **Резервирование на уровне алгоритмов:** Алгоритмы уже содержат элементы, которые могут быть активированы при наращивании системы. Например, логика работы с третьим циркуляционным насосом заложена (но сейчас один из каналов ввода-вывода пустой, ожидающий установки насоса). В коде могут быть "закомментированы" или отключены фрагменты, относящиеся к неустановленным датчикам – их достаточно активировать при фактическом монтаже оборудования. Это сокращает время на внедрение новых функций.
- **Документация и стандартизация:** Вся разработанная документация (схемы, комментарии в программах) оформлена в соответствии с ГОСТ. Это облегчает передачу системы новым разработчикам для модернизации. Предусмотрено, что при изменениях будут вестись журналы модификаций программ (версий ПО контроллеров) и обновляться описание алгоритмов. Таким образом, спустя годы сохраняется прозрачность работы системы.
- **Учёт роста нагрузки:** Если в будущем котельная расширится, алгоритмы группового управления котлами и насосами имеют настройки масштабирования. Ведущий регулятор нагрузки может быть перенастроен на новые диапазоны расхода. Добавление мощностей (как дополнительных котлов) предусматривается в алгоритме: он просто получит больше "ступеней" для выбора количества работающих агрегатов.
- **Информационная безопасность при расширении:** Система имеет заложенные средства защиты и разделения доступа. Добавление новых рабочих мест оператора или инженерного доступа не нарушит кибербезопасность, так как используются типовые узлы

(серверы, шлюзы) с обновляемым ПО. Архитектура сети позволяет подключить новые узлы в сегмент с минимальной перенастройкой маршрутизации.

Таким образом, АСУТП водогрейной котельной обладает гибкостью для будущих изменений. Заложенный резерв по функциям, продуманная модульность и соответствие стандартам разработки обеспечивают, что расширение функционала (будь то увеличение количества оборудования или совершенствование алгоритмов управления) будет выполняться без кардинальной переработки системы. Это продлевает жизненный цикл АСУТП и соответствует стратегическим требованиям надежности и модернизируемости объекта. Система готова адаптироваться к новым задачам, сохраняя при этом логическую последовательность работы и безопасность технологического процесса.

Перечень сокращений

Сокращение	Расшифровка
АС	Автоматизированная система
АСУ ТП	Автоматизированная система управления технологическим процессом

Перечень терминов

Термин	Расшифровка

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум.	№ документа	Входящий № сопроводительного докум. и дата	Подп.	Дата
	измененных	заменен-ных	новых	аннулированных					

Подп. и дата

Инв № дубл.

Взамен инв. №

Подп. и дата

Инв № подп.