

3 Основные технические решения

3.1 Назначение системы

Автоматизированная система управления водогрейной котельной (АСУ ТП/ВК) предназначена для комплексного **автоматического и дистанционного управления** технологическим оборудованием котельной. Она обеспечивает безопасное и эффективное ведение технологического процесса, включая поддержание заданных параметров выработки тепла, и круглосуточный мониторинг работы всех узлов. Система должна быть **надежной, безопасной и эффективной**, отвечать современным требованиям автоматизации и обладать возможностями для дальнейшего развития и модернизации ¹. В соответствии с техническим заданием, «система должна обеспечивать автоматическое и дистанционное управление...» всеми основными агрегатами и инженерными системами котельной, а также выполнять функции контроля, регулирования, противоаварийной защиты и блокировок для обеспечения безаварийной работы оборудования.

3.2 Общая характеристика и структура системы

АСУ ТП/ВК имеет многоуровневую архитектуру, включающую верхний (диспетчерский) уровень и средний уровень локальных систем управления. На **верхнем уровне** сосредоточены средства человеко-машинного интерфейса и центр обработки данных: сервер системы оперативного диспетчерского управления (SCADA) на базе программного комплекса КРУГ-2000 и рабочие станции операторов. На **среднем уровне** находятся контроллеры и шкафы программно-технического комплекса (ПТК), расположенные непосредственно в технологических зонах – в основном здании котельной и на отдельных объектах (ГРП, насосные и пр.). Такое построение обеспечивает иерархическую структуру управления, в которой локальные подсистемы выполняют автоматическое управление своим участком технологического процесса, а верхний уровень осуществляет координацию, мониторинг и операторское управление. Все локальные контроллеры и верхний уровень связаны единым информационным пространством через промышленную сеть Ethernet.

В состав АСУ ТП водогрейной котельной входят шесть основных локальных подсистем (систем автоматического управления, САУ) для отдельных узлов котельной. Каждая подсистема имеет автономный шкаф управления (ПТК) с программируемым логическим контроллером, модулями ввода/вывода и средствами связи. Локальные шкафы установлены непосредственно в помещениях соответствующих узлов и подключены к общей локальной вычислительной сети (ЛВС) АСУ ТП. Обмен данными между уровнями и подсистемами осуществляется по стандартным промышленным протоколам (Ethernet, Modbus, Profibus и др.), что обеспечивает совместимость с оборудованием и внешними системами ². АСУ ТП/ВК интегрирована с существующей ЛВС Ивановской ТЭЦ-2: связь организована через управляемые коммутаторы с резервированием каналов и межсетевыми экранами, а передача данных во внешние информационные системы ТЭЦ-2 производится по открытому протоколу OPC ³. Предусмотрено соблюдение требований информационной безопасности при обмене данными ⁴. Таким образом, верхний уровень системы получает полную информацию от всех контроллеров среднего уровня и внешних источников, обеспечивая единое оперативное управление котельной.

3.3 Характеристика отдельных подсистем

3.3.1 АСУ ТП ВК (в основном здании котельной). Эта подсистема осуществляет автоматизацию непосредственно **котельного технологического процесса** в главном здании. АСУ ТП ВК управляет работой водогрейных котлов и вспомогательного оборудования котельной, включая системы топливоподачи и горения, насосы и арматуру контуров теплоносителя, водоподготовку и деаэрацию, теплообменное оборудование и вентиляцию. В состав данной САУ входят восемь водогрейных котлов (тип Eurotherm-58, по 50 Гкал/ч каждый) и связанные с ними промежуточные теплообменники, разделяющие котловой и сетевой контуры ⁵. Подсистема обеспечивает поддержание заданной температуры и давления воды в котловом и сетевом контурах, автоматическое регулирование горения (управление горелками) и нагрузки котлов, а также выполнение защит и блокировок (например, отключение подачи топлива при авариях, отключение горелок при достижении предельных параметров).

АСУ ТП ВК включает центральный **шкаф ПТК** в машзале котельной, оснащенный резервированным PLC и необходимыми модулями ввода-вывода для сбора сигналов со всех датчиков котлов и вспомогательных систем. К шкафу подключены приборы контрольно-измерительной аппаратуры: датчики температуры, давления, уровней, кислородные датчики дымовых газов, сигнализаторы пламени горелок, а также исполнительные механизмы – приводы регулирующих и запорных клапанов, насосные агрегаты, дутьевые вентиляторы и др. Система обеспечивает **автономное локальное управление** котлами и вспомогательными механизмами; при этом все данные передаются на верхний уровень в режиме реального времени для отображения на АРМ оператора. Оператор с верхнего уровня имеет возможность дистанционно управлять основным оборудованием: запуском/остановом котлов и насосов, изменением уставок регуляторов температуры и давления и т.п. Подсистема АСУ ТП ВК тесно интегрирована с остальными САУ котельной через общую сеть и обеспечивает координированную работу котельного оборудования в составе единой системы.

3.3.2 АСУ ГРП-1 (газорегуляторный пункт №1). Подсистема автоматизации **ГРП-1** предназначена для контроля и регулирования параметров газа на входе котельной. В здании ГРП-1 установлен новый шкаф ПТК с микропроцессорным контроллером для сбора данных с газового оборудования и управления запорно-регулирующей арматурой ⁶ ⁷. К шкафу ГРП-1 подключены существующие приборы измерения расхода и давления газа, перенесенные с прежнего оборудования, а также новые датчики давления, температуры газа и сигнализаторы загазованности. **АСУ ГРП-1** осуществляет непрерывный контроль **основных параметров газа** – давление на входе/выходе, расход – с индикацией этих параметров как по месту (на панели локального шкафа), так и на экране оператора АСУ ТП ⁷. Подсистема выполняет автоматическое поддержание заданного давления газа на выходе ГРП путем управления регуляторами давления. Реализованы функции противоаварийной защиты: при превышении допустимого давления газа система автоматически выдает команду на закрытие предохранительных газовых клапанов (здвижек) на входной и выходной линии ⁸. Также контролируется состояние газовой среды в помещении: газоанализаторы отслеживают загазованность, и при достижении пороговых концентраций метана система формирует сигнал тревоги на АРМ оператора и автоматически включает аварийную вентиляцию ГРП-1 ⁹.

АСУ ГРП-1 оснащена всем необходимым оборудованием для надежной работы: шкаф ПТК с резервным питанием, модули дискретного ввода для сигнализации положения клапанов, модули аналогового ввода для датчиков давления и температуры, а также модули выхода для управления электрическими приводами клапанов. Шкаф размещен в помещении ГРП-1 (взрывозащищенного исполнения). Для локального обслуживания на дверце шкафа предусмотрены средства индикации и необходимые органы управления (например,

переключатели режимов местное/дистанционное управление). В штатном режиме подсистема функционирует автоматически, поддерживая требуемое давление газа. Все данные ГРП-1 (давления, состояние клапанов, состояние газоанализаторов и вентиляции и т.д.) передаются в реальном времени на сервер верхнего уровня, что позволяет оператору котельной дистанционно контролировать и при необходимости управлять оборудованием ГРП-1.

3.3.3 АСУ ГРП-2 (газорегуляторный пункт №2). Эта подсистема аналогична по функциям ГРП-1 и обслуживает второй газорегуляторный пункт котельной. **АСУ ГРП-2** имеет собственный шкаф ПТК, установленный в здании ГРП-2, и осуществляет автоматическое регулирование давления природного газа на второй линии подачи. Проектом предусмотрена установка нового шкафа контроллера в ГРП-2 и дополнительного газового оборудования: аппаратуры КИП, включающей датчики давления, температурные датчики, а также счетчик (расходомер) газа на перемычке между ГРП-1 и ГРП-2 ¹⁰. Подсистема ГРП-2, как и ГРП-1, выполняет **поддержание выходного давления газа** на заданном уровне посредством управления регуляторами давления и отсекающими. В ГРП-2 также внедрены новые шкафы питания и управления исполнительными механизмами типа РТЗО-88В для запорной и регулирующей арматуры ¹¹. Система контролирует все ключевые параметры: входное и выходное давление, расход газа через ГРП-2, состояние клапанов. При превышении безопасного уровня давления автоматически срабатывает отсечка газа – заслонки и задвижки на трубопроводах закрываются так же, как в ГРП-1 ¹². Подсистема фиксирует факты срабатывания предохранительных устройств и передает сигнал аварии на верхний уровень.

В ГРП-2 установлены газоанализаторы, обеспечивающие контроль загазованности помещения. При достижении первого или второго порогового уровня концентрации метана формируется сигнал тревоги, передаваемый оператору котельной, а при превышении второго порога система инициирует включение аварийной вентиляции (вентиляторы ГРП-2) для проветривания помещения ¹³. Все данные и управляющие функции АСУ ГРП-2 интегрированы с центральной SCADA котельной: оператор видит параметры газа и состояние оборудования ГРП-2 на экране и может дистанционно открыть/закрыть необходимые клапаны. Локально же ГРП-2 может работать автоматически без постоянного участия оператора, гарантируя подачу газа к котлам с требуемыми параметрами давления и с предохранительными мерами на случай нештатных ситуаций.

3.3.4 АСУ здания теплообменников. Данная подсистема отвечает за автоматизацию процессов в **здании промежуточных теплообменников**, которое служит для передачи тепла от котлового контура к сетевому. В этом здании размещены группы теплообменников, разделяющих контуры, а также, возможно, сетевые насосы и вспомогательное оборудование теплосети. АСУ здания теплообменников осуществляет поддержание параметров сетевой воды на выходе котельной: автоматическое регулирование температуры и расхода сетевого теплоносителя через промежуточные теплообменники в соответствии с графиком теплопотребления. Для этого подсистема управляет регулирующими клапанами на байпасах и линиях циркуляции между котловым и сетевым контурами, обеспечивая стабилизацию температуры сетевой воды. Также контролируется давление в сетевом контуре и работа насосного оборудования.

Локальный шкаф управления устанавливается в здании теплообменников и собирает сигналы от датчиков температуры и давления на входе и выходе теплообменников, от приборов контроля уровня и давления в расширительных баках, и т.д. На основе этих данных контроллер реализует алгоритмы регулирования: например, при росте температуры сетевой воды сверх заданной – открывает клапаны смешения или изменяет производительность насосов, обеспечивая необходимое охлаждение/подмес. Подсистема также следит за работой сетевых насосов (если они расположены в этом здании) – контролирует их включение/отключение, состояние

электродвигателей, переключение рабочих/резервных агрегатов. Все события (включения насосов, срабатывание защит по перегреву, понижение давления и др.) фиксируются и отображаются на верхнем уровне. АСУ теплообменников взаимодействует с АСУ ТП ВК, так как изменения режима котлов требуют согласованного изменения режимов теплообменников и сетевых насосов. Подсистема, таким образом, поддерживает баланс тепловой мощности между котловым и сетевым контурами, обеспечивая надежное снабжение теплом потребителей. Данные со шкафа теплообменников поступают в SCADA, и операторы могут контролировать температурные графики, дистанционно менять уставки и получать сигналы о нештатных ситуациях (например, перегрев теплообменника, превышение давления и пр.).

3.3.5 АСУ ТП НАБ (насосная аккумулирующих баков). Эта подсистема реализует автоматизацию узла **насосной станции аккумулирующих баков** горячей воды, предназначенных для аккумулирования тепловой энергии и подпитки теплосети. В здании насосной расположены большие аккумулирующие баки-аккумуляторы (баки горячей воды) и насосы подпитки сетевой воды. АСУ ТП НАБ управляет работой этих насосов и контролирует уровень воды в баках. Цель подсистемы – обеспечить автоматическое поддержание заданного уровня (или объема) воды в аккумулирующих баках и необходимого давления подпитки в тепловой сети.

Основные функции АСУ НАБ включают: автоматическое включение и отключение насосных агрегатов в зависимости от уровня воды в баках и потребности теплосети, переключение насосов между рабочим и резервным в случае отказа или по графику равномерного наработки, а также защиту насосов от работы «всухую» и от перегрузки. Контроллер, установленный в шкафу ПТК насосной, получает сигналы от датчиков уровня в баках, датчиков давления на нагнетании насосов, датчиков температуры (если баки термостатируются) и от состояния электродвигателей насосов (например, ток, состояние пускателей). В зависимости от уровня воды система включает или отключает насосы подпитки, поддерживая уровень в заданных пределах. При достижении минимально-допустимого уровня подается сигнал тревоги оператору и возможно аварийное отключение насосов для предотвращения сухого хода. При достижении максимального уровня бака система также выдает предупреждение и отключает насосы, чтобы предотвратить перелив.

АСУ НАБ обеспечивает также равномерную работу оборудования: реализован алгоритм периодического чередования рабочего и резервного насосов, чтобы все агрегаты имели равномерную наработку. Предусмотрены блокировки, исключающие одновременное отключение всех насосов (чтобы не прерывать подпитку сети) и недопустимые режимы (например, одновременная работа более определенного числа насосов, превышающая пропускную способность трубопроводов). Все эти механизмы повышают надежность теплоснабжения. Шкаф управления насосной оборудован частотно-регулируемыми приводами (частотными преобразователями) для плавного пуска/остановки и регулирования производительности насосов, что обеспечивает экономичную работу и поддержание давления без гидравлических ударов. Данная подсистема связана с верхним уровнем: операторы видят уровень воды в баках, состояние каждого насоса (работа/останов, авария, режим работы) и могут дистанционно запускать или останавливать насосы, изменять уставки уровня и давления. Таким образом, АСУ ТП НАБ поддерживает устойчивую работу аккумулирующей емкости и непрерывную подпитку теплосети согласно режиму потребления.

3.3.6 АСУ ЭТО (электротехническая часть котельной). Подсистема АСУ ЭТО предназначена для мониторинга и частичного управления **электротехническим оборудованием** котельной. Она охватывает систему электроснабжения как основного здания котельной, так и связанных объектов. В частности, в состав этой подсистемы входит контроль двух комплектных трансформаторных подстанций (КТП) 6/0,4 кВ, питающих котельную, распределительных

устройств (КРУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ) основного корпуса, а также трансформаторов и распределительных устройств, питающих здание теплообменников и насосную аккумулирующих баков ¹⁴. АСУ ЭТО интегрируется с системой релейной защиты и автоматики (РЗА) энергоснабжения котельной – это обеспечивает передачу сигналов аварийных отключений, срабатывания защит и состояния высоковольтного оборудования на верхний уровень для индикации оперативному персоналу.

Подсистема ЭТО собирает телеметрию с ключевых элементов электроснабжения: измеряет токи и напряжения на секциях шин 6 кВ и 0,4 кВ, состояние вводных и секционных выключателей, состояние резервного источника питания (например, дизель-генератора, если предусмотрен), и т.д. Для этого используются встроенные коммуникационные возможности микропроцессорных терминалов РЗА и цифровых измерительных приборов, подключенных к контроллеру АСУ ЭТО по протоколам промышленной связи (Modbus, IEC 60870-5-104 или другим стандартам). **АСУ ЭТО** обеспечивает **диспетчеризацию электрооборудования** – без непосредственного вмешательства в работу быстродействующей релейной защиты, но с возможностью дистанционного управления некоторыми аппаратами в штатных режимах. Например, оператор с АРМа может осуществлять дистанционное включение/отключение насосных электродвигателей через аппараты управления, если это предусмотрено системой, или подавать команды на секционные выключатели при переключениях схемы электроснабжения (после соответствующей блокировки разрешения). Основная же задача подсистемы – информирование: оперативный персонал получает полную картину состояния энергосистемы котельной на экране. При аварийном отключении питающего трансформатора или любом срабатывании защиты на секциях системы, соответствующий сигнал немедленно отобразится в SCADA, сопровождаемый аварийным сообщением. Также АСУ ЭТО фиксирует все события электрочасти в архиве для последующего анализа (например, хронология срабатывания защит).

Для реализации этих функций АСУ ЭТО располагает шкафом ПТК (в электрощитовой котельной), который соединен с устройствами РЗА и контроллерами низковольтных комплектных устройств по цифровым интерфейсам. В состав шкафа входят коммуникационный контроллер, устройства сбора дискретных сигналов (например, положения выключателей), а также шлюзы протоколов, обеспечивающие обмен данными между различными системами (силовое оборудование, РЗА и АСУТП). Предусмотрена синхронизация времени всех событий с системой единого времени предприятия, чтобы события электроавтоматики регистрировались с требуемой точностью по времени. Подсистема ЭТО предоставляет информацию на **рабочие места** дежурного электрика и инженера РЗА (АРМ РЗА и АРМ ЭТО) для детального анализа и настройки защит. Таким образом, АСУ ЭТО интегрирует электротехническую часть в общую систему управления котельной, позволяя в едином интерфейсе контролировать как технологические, так и электрические процессы.

3.4 Состав верхнего уровня системы

Верхний (диспетчерский) уровень АСУ ТП котельной представляет собой комплекс серверного и сетевого оборудования, а также рабочих мест операционного и инженерного персонала. Он обеспечивает централизованный сбор и хранение данных, человеко-машинный интерфейс для операторов, синхронизацию времени и обмен информацией с внешними системами. Состав верхнего уровня включает в себя следующие основные компоненты:

- **Сервер SCADA** – промышленный сервер на базе программного комплекса «КРУГ-2000», выполняющий функции опроса контроллеров, обработки технологических данных, ведения архивов и обеспечения работы человеко-машинного интерфейса. Сервер отвечает за хранение длительных архивов параметров (не менее 3 лет) и событий/тревог

¹⁵, а также за выполнение глобальных вычислительных задач (общие алгоритмы, оптимизация режимов и пр.). Программное обеспечение SCADA обеспечивает отображение мнемосхем, трендов, формирование отчетов и т.д. для операторских станций. Сервер установлен в оборудованном серверном шкафу в помещении диспетчерской или серверной котельной, оснащен резервированным питанием (UPS) и средствами резервного копирования данных.

- **Инженерный сервер единого времени** – устройство синхронизации часов системы. Используется специализированный сервер точного времени (например, производства *P-Tex*) для поддержки **системы единого времени (СЕВ)** предприятия ¹⁶. Он принимает сигналы точного времени (например, GPS/ГЛОНАСС) и распределяет синхронизированные метки времени всем компонентам системы по протоколу NTP или другим стандартам. Благодаря этому достигается высокая точность привязки времени при регистрации технологических параметров и событий (погрешность синхронизации не более $\pm 0,5$ с ¹⁷). Все контроллеры среднего уровня и рабочие станции синхронизируются от сервера СЕВ, что особенно важно для сопоставления событий технологической и электротехнической подсистем.
- **Рабочие станции операторов** – четырех (4 шт.) автоматизированных рабочих места (АРМ) оперативного персонала котельной. Эти станции представляют собой промышленные персональные компьютеры с двумя мониторами на каждом, на которых отображаются мнемосхемы котельной, графики параметров, таблицы сигналов и сообщения аварийной сигнализации. Через АРМ операторы осуществляют дистанционное управление всеми подсистемами: управление котлами, насосами, регулирование, подтверждение и квитирование аварийных сигналов и пр. Каждое АРМ подключено к серверу SCADA по локальной сети и получает от него всю информацию для отображения, а также отправляет команды оператора на сервер для передачи в контроллеры. Для повышения надежности предусмотрено несколько рабочих станций – например, четыре оператора* могут одновременно следить за разными участками (котлы, насосная, ГРП и т.д.), либо часть АРМ служит резервными на случай выхода из строя одного из ПК. Рабочие станции размещены в помещении операторной (щитовой) котельной.
- **Специализированные рабочие места** – помимо операторских, предусмотрены дополнительные АРМы для обслуживающего персонала: **АРМ РЗА** (релейной защиты и автоматики) и **АРМ ЭТО** (электротехнического отдела). АРМ РЗА предназначен для инженера-релейщика и позволяет контролировать состояние устройств РЗА и электрооборудования (через подсистему АСУ ЭТО), просматривать осциллограммы аварийных событий, изменять настройки уставок защит (при наличии соответствующих прав доступа) и вести журнал срабатываний защит. АРМ ЭТО предназначен для инженеров электротехнической службы – на нем отображаются электрические параметры (напряжения, токи, состояния выключателей), что позволяет анализировать режимы электроснабжения котельной. Оба этих рабочих места также интегрированы в общую SCADA-систему, но могут иметь специализированное программное обеспечение (например, ПО от производителя РЗА) или отдельные экраны для удобства работы профильных специалистов. Их наличие повышает эффективность эксплуатации системы, позволяя узким специалистам (электрикам, инженерам РЗА) работать независимо от основных операторов-технологов.
- **Инженерная станция** – отдельное АРМ инженера АСУ ТП, предназначенное для обслуживания и настройки системы. Это рабочее место предоставляет полный доступ к конфигурации SCADA и контроллеров (в рамках предусмотренных прав) и используется

для разработки и модификации прикладного программного обеспечения, загрузки обновлений в контроллеры, резервного копирования баз данных и архивов. Инженерная станция также располагает инструментальными программными средствами (*IDE* для контроллеров, конфигураторы сетевого оборудования, средства диагностики). Как правило, инженерный АРМ находится у службы КИПиА и подключается к производственной сети при необходимости обслуживания (для безопасности он может быть отключен от сети вне времени работ).

- **Сетевое оборудование** – коммутаторы, маршрутизаторы и межсетевые экраны, обеспечивающие связь между всеми компонентами верхнего и среднего уровней. Применяются управляемые коммутаторы промышленного исполнения с резервированием (например, объединенные в кольцо Ethernet для обеспечения отказоустойчивости связи). Сетевая инфраструктура связывает сервер SCADA, все АРМ и все контроллеры подсистем в единую локальную сеть АСУ ТП. Также сеть обеспечивает шлюз для передачи данных во внешние системы верхнего уровня (например, в информационный комплекс ТЭЦ-2) через защищенный сегмент с применением межсетевого экранирования ¹⁸. Все элементы сети спроектированы с учетом требований информационной безопасности и надежности: использованы дублированные линии связи, отказоустойчивые конфигурации, резервные источники питания для узлов связи и пр.

Верхний уровень таким образом представляет собой **комплекс технических средств** (КТС) АСУ ТП, отвечающий за интеграцию всех подсистем, централизованное управление и информирование персонала. За счет современных серверных решений и сети передачи данных обеспечивается высокая производительность и надежность системы: время реакции на действия оператора не превышает 1 секунды ¹⁹, все данные архивируются и синхронизируются по времени. Верхний уровень АСУ ТП/ВК работает под управлением отечественного программного обеспечения и оборудования, соответствующего требованиям импортозамещения и информационной безопасности. Это обеспечивает совместимость с корпоративными системами предприятия и долгосрочную поддержку системы в эксплуатации.

1 2 3 4 5 14 15 16 17 18 19 0. Техническое задание АСУТП.docx

file:///file-TvX5M9cyYmpNjt7yMUCV9q

6 7 8 9 10 11 12 13 TOM_45_878.2023-АГСВ (изм.1).pdf

file:///file-BypXKExYcNdG4dJRsdY9T