

ООО НПП «ЭСН»

**СТРОИТЕЛЬСТВО ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ 400
ГКАЛ/ЧАС НА ТЕРРИТОРИИ ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-2**

(878.2023)

Описание автоматизируемых функций

878.2023-АСУ ТП.П3

Том 42

<i>Инв № подп.</i>	<i>Подп. и дата</i>	<i>Бзмен инв. №</i>	<i>Инв № фубл.</i>	<i>Подп. и дата</i>

Содержание

1 Исходные данные	3
1.1 Перечень исходных материалов и документов, использованных при разработке функциональной части проекта АС	3
1.2 Особенности объекта автоматизации, влияющие на проектные решения по автоматизированным функциям	3
1.3 Данные о других АС, взаимосвязанных с разрабатываемой АС, и сведения об информации взаимообмена	3
2 Цели АС и автоматизируемые функции	5
3 Характеристика функциональной структуры	9
3.1 Подсистемы АС, их функции и задачи.....	9
3.2 Разделение автоматизированных функций на действия (операции), выполняемые техническими средствами и человеком.....	13
3.3 Требования к временному регламенту и характеристикам процесса реализации автоматизированных функций и решаемых задач	15
Перечень сокращений	18
Перечень терминов	19

Подп. № подп.	Подп. и дата	Подп. № подп.	Подп. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Чураков		08.25	
Пров.	Агафонов		08.25	
Н. контр.	Корепанов		08.25	

Строительство водогрейной котельной 400
гкал/час на территории ивановской ТЭЦ-2.
Описание автоматизируемых функций

878.2023-АСУ ТП.П3

Стадия	Лист	Листов
--------	------	--------

P	2	20
---	---	----

ООО НПП «ЭСН»

1 Исходные данные

1.1 Перечень исходных материалов и документов, использованных при разработке функциональной части проекта АС

Проект создания АСУТП водогрейной котельной опирается на техническое задание (ТЗ) на разработку разделов рабочей документации в части АСУ ТП, перечня сигналов по всем узлам котельной (датчики и исполнительные устройства), а также рабочей документации по другим разделам объекта. В качестве основы информационного наполнения использован перечень сигналов и функциональные схемы для следующих подсистем: газораспределительные пункты ГРП-1 и ГРП-2, здание теплообменников, электротехнического оборудования (ЭТО), здание аккумулирующей насосной, водогрейной котельной (ВК) и их вспомогательное оборудование. Эти документы определяют состав контролируемых параметров, привязку датчиков к оборудованию и требования к алгоритмам управления.

1.2 Особенности объекта автоматизации, влияющие на проектные решения по автоматизированным функциям

Автоматизации подвергается водогрейная котельная Ивановской ТЭЦ-2, предназначенная для выработки горячей воды для теплосети (суммарная тепловая мощность – до **400 Гкал/ч**). В состав объекта входят 8 водогрейных котлов (Eurotherm-58, по 50 Гкал/ч каждый) с газовыми горелками. Каждый котёл оснащён вспомогательными системами: вентиляторами подачи воздуха, насосами циркуляции котловой воды, а также системами обеспечения горения (газопроводы с запорной арматурой, горелки, системы воспламенения и контроля пламени). Также в котельной предусмотрены системы водоподготовки: вакуумный деаэратор (для удаления воздуха из питательной воды), бак-газоотделитель, бак запаса деаэрированной воды и узлы дозирования реагентов (например, бак раствора щелочи для коррекции pH).

1.3 Данные о других АС, взаимосвязанных с разрабатываемой АС, и сведения об информации взаимообмена

АСУТП котельной интегрируется в общую систему управления станции и городских тепловых сетей. Верхний уровень включает SCADA-систему и автоматизированные рабочие

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						3

места (АРМ) операторов котельной, откуда осуществляется мониторинг и управление. SCADA-сервер связан с контроллерами среднего уровня по промышленной сети Ethernet. Для обмена данными используются стандартные протоколы: например, между SCADA и контроллерами – **OPC UA** (современный унифицированный протокол обмена данными), а для связи с некоторыми полевыми устройствами – **Modbus RTU/TCP** (например, частотные приводы, интеллектуальные счетчики газа). Предусмотрена возможность передачи сводной информации во внешние диспетчерские системы.

<i>Инв № подп.</i>	<i>Подп. и дата</i>	<i>Взамен инв. №</i>	<i>Инв № документа</i>	<i>Подп. и дата</i>

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>

878.2023-АСУ ТП.П3

Лист

4

2 Цели АС и автоматизируемые функции

Цели автоматизации. Внедрение системы автоматического управления направлено на обеспечение безопасного, эффективного и непрерывного управления работой водогрейной котельной. Автоматизация должна **повысить безопасность** обслуживания оборудования (исключить аварийные ситуации за счёт своевременных защит и блокировок), **повысить эффективность** технологических режимов (оптимизировать горение, сократить перерасход топлива, поддерживать оптимальные параметры нагрева воды) и **обеспечить непрерывность** теплоснабжения потребителей даже при изменении внешних условий. Как отмечено в материалах НПФ "КРУГ", внедрение подобной системы **позволяет повысить безопасность работы оборудования, эффективность управления и диспетчерского контроля технологических процессов, а также обеспечить оперативный персонал полной, достоверной и своевременной информацией о работе системы.** Другими словами, цель АСУТП – минимизировать влияние человеческого фактора на рутинное управление, оставив оператору функции надзора и оптимизации, и гарантировать быстрое автоматическое реагирование на нештатные ситуации для предотвращения аварий.

Перечень автоматизированных функций. АСУТП реализует весь комплекс функций автоматического контроля и управления, предусмотренных для данной котельной. К основным автоматизированным функциям системы относятся:

- Измерение и мониторинг параметров.** Система непрерывно снимает показания со всех подключенных датчиков: давления газа на входе ГРП и перед горелками, температуры воды (на входе и выходе котлов, в обратном и подающем трубопроводе теплосети), давления воды (в коллекторах, на выходе насосов, в барабанах-аккумуляторах), расхода газа на горелки, расхода сетевой воды через каждый котёл, уровней воды в баках (деаэратор, запасные баки, аккумуляторы), температуры обмоток трансформаторов, токов и напряжений, и десятков других технологических параметров. **Измерение и контроль техпроцессов** – базовая функция: система отслеживает текущее состояние процесса в режиме реального времени. Все значения отображаются на экранах АРМ и используются для управления.
- Сигнализация и регистрация отклонений.** При выходе любого контролируемого параметра за заданные пределы система генерирует тревожный сигнал (световую/звуковую сигнализацию) и регистрирует событие в архиве аварий. Например, отклонения давления газа, понижение давления воды в контуре ниже допустимого, перегрев воды выше установленной температуры, снижение разрежения в дымовой трубе,

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						5

отключение питания насосной или вентилятора – все эти отклонения фиксируются. **Сигнализация и регистрация отклонений параметров от установленных границ** предупреждает персонал о развитии нештатной ситуации. Оператор на экране видит всплывающее сообщение с описанием аварии и привязкой к оборудованию, а также звуковое оповещение. Система ведёт протокол событий, фиксируя время возникновения и окончания каждого сигнала, что позволяет анализировать хронологию развития инцидентов.

- **Технологические защиты и блокировки.** В АСУТП заложены алгоритмы аварийной защиты оборудования, срабатывающие автоматически при достижении опасных значений. Например, при погасании пламени горелки котла (потеря факела, определяемая по сигналам фотодатчиков) мгновенно **блокируется подача газа** – закрываются быстродействующие запорные клапаны на данной горелке, предотвращая накопление газа. При превышении давления воды на выходе котла сверх аварийного порога – срабатывает защита от разрыва: отключаются горелки и выдаётся команда на открытие предохранительных клапанов (если предусмотрены). Все эти действия выполняются контроллером **без участия оператора и с минимальной задержкой**. Выполнение алгоритмов технологических защит и блокировок является ключевой автоматизированной функцией – она предотвращает развитие аварийных ситуаций, действуя быстрее человеческой реакции. Логика защит построена в соответствии с нормативными требованиями (Правила безопасности газового хозяйства, ПБ 12 и др.): например, для газовых горелок реализуется «логика горения» – контроль последовательности пуска (продувка, розжиг запальника, выход на режим) и безопасного останова; для насосов – защита от сухого хода; для электрооборудования – блокировка повторного включения при неисправности.
- **Автоматическое регулирование технологических параметров.** В системе предусмотрены замкнутые контуры регулирования, поддерживающие ключевые параметры на заданных уставках. В частности:
 - **Регулирование температуры сети/котловой воды.** Система автоматически управляет нагрузкой котлов (мощностью горения) в зависимости от температуры выходящей воды. По заданному графику температуры (например, в зависимости от температуры наружного воздуха или диспетчерского задания) поддерживается требуемая температура теплоносителя на выходе котельной. Для этого контроллеры изменяют подачу топлива: либо регулируют расход газа через регуляторы, либо включают/отключают отдельные горелки. Также может

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						6

осуществляться регулирование смеси воды, чтобы поддерживать стабильную температуру.

- **Регулирование давления газа на горелках.** В ГРП автоматический регулятор удерживает давление газа перед котлами на заданном уровне несмотря на колебания входного давления.
- **Регулирование уровня/давления воды в системе.** Насосы подпитки и аккумулирующая насосная работают под контролем системы: поддерживается необходимое давление теплоносителя в обратной магистрали и уровень воды в баках-аккумуляторах. Давление в теплосети на выходе котельной может поддерживаться частотным регулированием насосов: частотные преобразователи насосных агрегатов получают задание на поддержание давления в подающей линии в соответствии с гидравлическим графиком.

В сумме в системе может быть реализовано несколько **программных ПИД-регуляторов** – по числу контуров: температурный контур сети, контур давления газа, контур давления воды и т.д.. Автоматическое регулирование разгружает персонал от ручного управления задвижками и горелками, обеспечивая более точное соблюдение режимов.

- **Дистанционное управление оборудованием.** Операторские рабочие места позволяют отправлять команды на выполнение операций с оборудованием, минуя необходимость местного ручного воздействия. **Дистанционное управление** реализовано для всех основных механизмов: **насосы** (пуск/останов), **регулирующие заслонки** (открыть/закрыть), **задвижки и клапаны** (открыть/закрыть/остановить). Команды оператора передаются через SCADA на ПЛК, которые осуществляют логику выполнения – проверяют условия (например, готовность механизма, отсутствие блокировок) и выдают соответствующие сигналы на привод. В системе реализован принцип «человек – через машину»: оператор задаёт команду, а автоматика исполняет её безопасно, контролируя процесс. При дистанционном управлении отображается обратная связь: так, если оператор нажал «Открыть клапан», он видит по сигналам «Открыто/Не открыто» текущее положение; если команда не выполнена (например, заедание, «Превышение момента»), система выдаст предупреждение. Таким образом, **АРМ оператора обеспечивает визуализацию состояния и отправку команд, а ПЛК – непосредственно управление исполнительными устройствами.** В случае потери связи с АРМ, управление возможно через локальные панели или в ручном режиме на месте – однако при штатной работе все операции производятся дистанционно.

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						7

- Архивирование и отчётность.** Система автоматически ведёт журналы и архивы по ключевым показателям. С определенным шагом времени архивируются значения температур, давлений, нагрузок, положений механизмов и пр., формируя тренды. Все аварийные ситуации и действия оператора протоколируются с отметкой времени. На основе архивных данных АСУТП формирует суточные отчёты: например, объём расходованного топлива за сутки, теплопроизводительность каждого котла, количество срабатываний защит, время работы оборудования. Эти отчёты доступны для анализа инженерно-техническому персоналу. Данная функция обеспечивает «память» системы и необходима для оптимизации эксплуатации и планирования ремонтов.

Перечисленные функции подтверждают, что АСУТП охватывает **весь цикл управления** – от нижнего уровня измерений и сигнализации до верхнего уровня оптимизации и диспетчерского контроля. По терминологии стандарта, реализованы функции **контроля, сигнализации, защиты, регулирования и управления**. Такое комплексное автоматизированное управление позволяет эксплуатировать водогрейную котельную в автоматическом режиме при минимальном вмешательстве оператора, достигая целей безопасности и эффективности.

<i>Инв № подп.</i>	<i>Подп. и дата</i>			
	<i>Инв № подп.</i>	<i>Взамен инв. №</i>	<i>Подп № фубл.</i>	<i>Подп. и дата</i>

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Лист</i>
					878.2023-АСУ ТП.П3

3 Характеристика функциональной структуры

3.1 Подсистемы АС, их функции и задачи

Структура подсистем АСУТП. Функциональная структура системы управления многоуровневая и отражает структуру самой котельной. **Основные подсистемы АСУТП** и их задачи:

Подсистема автоматизации газорегуляторного пункта №1 (АСУ ГРП-1)

Подсистема предназначена для редуцирования и контроля параметров природного газа, поступающего на котельную.

Функции:

- автоматическое регулирование давления газа на выходе из ГРП;
- контроль давления, температуры и расхода газа на входе и выходе;
- управление запорной и регулирующей арматурой с электроприводами;
- автоматическое переключение рабочих и резервных ниток редуцирования;
- контроль состояния фильтров, сигнализация перепадов давления;
- формирование аварийной и предупредительной сигнализации.

Задачи:

- поддержание стабильного давления газа на выходе (0,1 МПа);
- обеспечение бесперебойного и безопасного газоснабжения котлов;
- предотвращение аварийных ситуаций при падении давления или отказе оборудования;
- регистрация и архивирование параметров газоснабжения.

Подсистема автоматизации газорегуляторного пункта №2 (АСУ ГРП-2)

Подсистема выполняет функции, аналогичные АСУ ГРП-1, с учётом различного давления газа на входе.

Подсистема автоматизации здания теплообменников предназначена для управления процессом нагрева сетевой воды за счёт передачи тепла от котлового контура через девять промежуточных пластинчатых теплообменников.

Функции:

- автоматическое регулирование температуры сетевой воды на подающем коллекторе в соответствии с заданным графиком теплоснабжения;

Инв № подп.	Подп. и дата	Инв № дубл.	Взамен инв. №	Подп. и дата
-------------	--------------	-------------	---------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

- управление потоками сетевой воды через фильтры ГИГ, насосные группы и теплообменники;
- обеспечение контроля технологических параметров (давление, температура, расход) в контрольных точках контура;
- поддержание необходимого давления сетевой воды в системе с помощью групп сетевых насосов;
- реализация функций аварийной и рабочей подпитки сетевого контура деаэрированной водой;
- управление подмешиванием воды из аккумулирующей насосной для стабилизации температурного режима;
- включение и отключение отдельных теплообменников при помощи секционирующей арматуры для обеспечения ремонтных режимов и оптимизации гидравлического режима;
- контроль перепадов давления и состояния фильтров ГИГ, с формированием предупредительной и аварийной сигнализации;
- реализация технологических блокировок и защит (ограничение подачи котловой воды при снижении расхода через теплообменники, прекращение подачи при превышении допустимой температуры, отключение насосов при аварийных режимах).

Задачи подсистемы:

- поддержание заданной температуры сетевой воды в пределах допуска $\pm 1\dots 2$ °C;
- обеспечение надёжной работы электроприводов регулирующей и запорной арматуры с контролем положения и момента;
- организация гибкого режимного управления за счёт поочерёдного включения/выключения теплообменников, насосных групп и подпиточных устройств;
- обеспечение устойчивой и безопасной работы оборудования при штатных, переходных и аварийных режимах;
- предоставление оперативному персоналу информации о состоянии оборудования, параметрах технологического процесса и выполнении управляющих функций.

Подсистема автоматизации аккумулирующей насосной (АСУ НАБ)

Подсистема обеспечивает работу насосной установки с баками-аккумуляторами, предназначенной для компенсации колебаний подпиточной воды и аварийного запаса.

Функции:

- автоматическое управление насосами большой и малой производительности;
- поддержание давления в системе подпиточной воды;

<i>Инв № подп.</i>	<i>Подп. и дата</i>	
	<i>Инв № документа</i>	<i>Взамен инв. №</i>

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>878.2023-АСУ ТП.П3</i>	<i>Лист</i>
						<i>10</i>

- контроль уровня и давления в баках-аккумуляторах;
- управление запорной и регулирующей арматурой;
- аварийная сигнализация при снижении уровня воды, падении давления и отказе насосов.

Задачи:

- обеспечение равномерной подачи подпиточной воды при неравномерности потребления;
- поддержание необходимого давления в тепловой сети;
- автоматическое переключение рабочих и резервных насосов;
- защита оборудования от работы в режимах сухого хода и перегрузок.

Подсистема автоматизации электротехнического оборудования (АСУ ЭТО)

Подсистема предназначена для управления и контроля распределительных устройств, трансформаторов и системы собственных нужд.

Функции:

- контроль параметров электрических сетей (напряжение, ток);
- управление вводными, секционными и линейными выключателями;
- регистрация и анализ работы устройств релейной защиты и автоматики (РЗА);
- контроль состояния СОПТ, аккумуляторных батарей и системы собственных нужд;
- передача информации в общую систему АСУТП.

Задачи:

- обеспечение надёжного электроснабжения оборудования котельной;
- сокращение времени отключений за счёт автоматического резервирования;
- контроль и диагностика трансформаторов и коммутационных аппаратов;
- повышение надёжности и безопасности эксплуатации электротехнической части.

Подсистема автоматизации водогрейных котлов (АСУ ВК)

Подсистема является центральным компонентом АСУТП водогрейной котельной и объединяет в себе управление всеми подсистемами объекта – теплообменниками, газорегуляторными пунктами, аккумулирующей насосной и электротехническим оборудованием. В АСУ ВК сосредоточены функции координации, обмена данными и формирования общей картины технологического процесса для оперативного персонала.

Функции:

- задание режимов работы и контроль параметров восьми водогрейных котлов Eurotherm-58 единичной тепловой мощностью 50 Гкал/ч;
- дистанционный запуск функций группового управления (ФГУ) котлов;

<i>Инв № подп.</i>	<i>Подп. и дата</i>	
	<i>Инв № дубл.</i>	<i>Подп № дубл.</i>

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Лист</i>
					878.2023-АСУ ТП.П3

- контроль температуры, давления, расхода котловой воды;
- контроль параметров топочного процесса (давление газа, давление воздуха, разрежение в топке, температура факела) без вмешательства в алгоритмы горения;
- формирование командных заданий для локальных систем управления горелками и получение обратной информации об их состоянии;
- автоматическая защита и блокировки на уровне котловой воды (превышение температуры, аварийный уровень, падение давления);
- управление исполнительной арматурой на подающем и обратном трубопроводах котловой воды;
- регистрация параметров и событий работы котлов;
- формирование технологической сигнализации и передача информации на верхний уровень АСУТП;
- управление процессами химводоподготовки котлового и сетевого контуров (умягчение воды, дозирование реагентов, контроль жёсткости и pH, подготовка воды питьевого качества для подпитки);
- автоматическое управление деаэраторами (вакуумным и блочным), включая контроль уровня, давления, температуры и степени дегазации;
- дозирование реагентов для предотвращения коррозии и накипеобразования в контурах;
- контроль состояния оборудования ХВО и деаэрации с выводом аварийных сигналов и блокировок;
- интеграция сигналов, функций и алгоритмов всех подсистем котельной, обеспечение единой базы данных и централизованного управления.

Задачи:

- обеспечение безопасной и надёжной эксплуатации водогрейных котлов при всех режимах работы;
- поддержание температуры котловой воды в пределах заданных значений (до 150 °C) в соответствии с графиком теплоснабжения;
- формирование и выдача заданий локальным системам управления горелками;
- контроль корректности выполнения командных заданий ФГУ и фактических параметров котлов;
- обеспечение нормативного качества питательной и сетевой воды за счёт автоматизации химводоподготовки и деаэрации;
- контроль и поддержание заданных параметров (жёсткость, щёлочность, содержание кислорода) в контурах;

<i>Инв № подп.</i>	<i>Подп. и дата</i>	<i>Инв № дубл.</i>	<i>Взамен инв. №</i>	<i>Подп. и дата</i>
--------------------	---------------------	--------------------	----------------------	---------------------

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Лист</i>
					878.2023-АСУ ТП.П3

- предоставление оперативному персоналу полной информации о состоянии котлов, систем ХВО, деаэрации, а также интегрированного состояния всех подсистем котельной;
- координация работы подсистем АСУ теплообменников, АСУ ГРП-1, АСУ ГРП-2, АСУ НАБ и АСУ ЭТО в рамках единого комплекса АСУТП.

3.2 Разделение автоматизированных функций на действия (операции), выполняемые техническими средствами и человеком

Алгоритм распределения функций между человеком и техникой. Функциональная структура АСУТП предполагает чёткое разграничение автоматических и операторских задач. **Нижний уровень** (датчики и исполнительные механизмы) работает полностью автоматически под управлением контроллеров: они выполняют измерения, срабатывают защиты, поддерживают регулирование непрерывно и с высокой скоростью, недостижимой для человека. **Средний уровень** – программируемые логические контроллеры (ПЛК) – берёт на себя все задачи управления процессом в реальном времени. Контроллеры запрограммированы на выполнение автоматических алгоритмов (ПИД-регуляторов, логических последовательностей). Человек (оператор) не вмешивается в эти процессы постоянно, а лишь **задаёт целевые установки** (например, требуемую температуру теплоносителя, режимы «зима/лето», расписание зарядки аккумуляторов) и **контролирует ход процесса через интерфейс SCADA**. Оператор имеет право вмешательства в автоматический режим в необходимых случаях: он может перевести оборудование на ручное управление (например, на местном щите выбрать режим «Местное» – тогда сигналы «*Дистанционный режим работы*» погаснут, и оборудование управляется вручную), может скорректировать уставки, отключить автоматический регулятор для эксперимента. Однако при штатной работе **основная часть функций выполняется техникой (АСУТП), а человек осуществляет надзор**. Например, запуск котлов выполняется автоматикой локальной системы управления горелками по команде “Пуск котла” от АСУ ВК; центральная система фиксирует ход процесса и контролирует параметры. Такой подход соответствует принципам **«оператор-задаёт, автоматика-делает»** и **«по отклонению – автоматика реагирует, оператор информируется»**.

Отдельно стоит упомянуть распределение функций **между уровнями управления**. Система АСУТП котельной реализована как **трёхуровневая архитектура**:

- Нижний уровень (Level 1):** включает полевое оборудование – датчики технологических параметров (температуры, давления, уровня, расходомеры, токи и пр.) и исполнительные устройства (задвижки, клапаны, насосы, вентиляторы с их электроприводами). Этот

Инв № подл.	Подл. и дата
Инв № дубл.	Инв № дубл.
Взамен инв. №	Подл. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					878.2023-АСУ ТП.П3

уровень непосредственно воздействует на процесс и предоставляет исходную информацию. Он работает непрерывно и обеспечивает аппаратную реализацию защит (например, механические предохранительные клапаны, дублирующие электронные системы).

- **Средний уровень (Level 2):** представлен шкафами управления с микропроцессорными контроллерами (ПЛК). Для данной котельной выбран современный промышленный контроллер с возможностью резервирования. В частности, реализовано **100% резервирование CPU**: в шкафу установлен дублированный комплект процессорных модулей, работающих в режиме горячего резерва. При отказе основного контроллера резервный мгновенно (без прерывания) принимает управление – это повышает надёжность системы. Контроллер среднего уровня выполняет все основные функции: сбор данных с датчиков, реализацию алгоритмов защит, блокировок, автоматического регулирования и выдачу команд на исполнительные механизмы. **Именно на этом уровне “живут” автоматизированные функции**, описанные выше. В контроллер заложены программы, которые решают задачи информационной подсистемы (сбор/передача данных на верхний уровень), технологических защит, автоматического регулирования и дистанционного управления. Кроме того, в шкафу управления предусмотрен **локальный операторский пост** – панель оператора (сенсорная HMI) на дверце шкафа. Эта панель позволяет персоналу на месте контролировать и управлять процессом, минуя верхний уровень, что полезно при наладке или ремонте. Через локальную панель можно, к примеру, открыть конкретный клапан или посмотреть текущие показания датчиков, даже если центральная АРМ не доступна.
- **Верхний уровень (Level 3):** это автоматизированные рабочие места персонала (АРМ оператора котельной, АРМ технолога и пр.), объединённые в систему диспетчерского управления на базе SCADA. Верхний уровень обеспечивает **интерфейс человек-машина**: сбор данных со среднего уровня, их обработку (вычисление сводных параметров, балансов), отображение на экранах мнемосхем, долговременное хранение в базах данных и формирование архивов. Также верхний уровень принимает команды оператора (как описано, пуск/останов оборудования, изменение уставок) и передаёт их на ПЛК для выполнения. В данной системе АРМ оператора под управлением отечественной **SCADA КРУГ-2000®** совмещён с сервером базы данных и клиентским приложением. То есть на одном (или двух для отказоустойчивости) сервере крутится серверная часть SCADA и исторический архив, а рабочее место оператора подключается к нему по сети.

Инв № подп.	Подп. и дата		
Инв № подп.	Взамен инв. №	Инв № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						14

Операторский интерфейс предоставляет мнемосхемы котельной, тренды параметров, журналы событий, и позволяет управлять всеми подсистемами из единого окна.

3.3 Требования к временному регламенту и характеристикам процесса реализации автоматизированных функций и решаемых задач

Требования к надёжности, времени отклика, точности и другим характеристикам. АСУТП спроектирована в соответствии с повышенными требованиями надежности, поскольку она управляет взрыво- и пожароопасным объектом (газовыми котлами) и ответственным технологическим процессом теплоснабжения.

- Надёжность и отказоустойчивость:** В системе применены резервированные решения: как упоминалось, центральный контроллер – с резервированием (двойной СРУ); питание контроллеров и полевых устройств – от источника бесперебойного питания (ИБП) с резервом по времени не менее 30 минут, чтобы исключить отказ управления при кратковременном исчезновении внешнего электроснабжения. Критические датчики (например, датчики пламени, давления газа, температуры воды на выходе котла) установлены в многократном исполнении (2 из 3 или 2 канала) для исключения ложного срабатывания заштит из-за отказа одного датчика. Сеть передачи данных между уровнями – дублированная промышленная сеть (например, два независимых коммутатора Ethernet, два сетевых интерфейса на контроллере и сервере) чтобы при обрыве связи одна из сетей сохраняла работоспособность. Программное обеспечение контроллера разрабатывается с защитой от **закивания программы** – используется сторожевой таймер, который при зависании ПЛК переводит выходы в безопасное состояние. Готовность системы (коэффициент готовности) стремится к 99.99% за счёт резервирования. Также учтён человеческий фактор: интерфейсы разработаны удобными, с минимальными рисками неверных действий (например, двукратное подтверждение на критические команды, цветовая индикация состояний и т. п.), что повышает функциональную надёжность (устойчивость к ошибкам персонала).
- Время отклика:** для различных функций определены максимальные допустимые времена реакции. Аварийные защиты – самые быстрые: от возникновения события до выполнения отключающего действия проходит не более **0.5 секунды** (500 мс), а для некоторых критичных – не более 0.1–0.2 с (например, отключение горелки при пропаже факела). Контуры регулирования настроены с учетом инерционности процесса: время

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						15

регулирования температуры воды (переход на новый заданный режим) – порядка нескольких минут, но **колебания температуры не выходят за пределы $\pm 2^{\circ}\text{C}$** от уставки в установившемся режиме. Чувствительность ПИД-регуляторов настроена на минимизацию перерегулирования (чтобы избежать температурных ударов в сети). Время цикла опроса датчиков контроллерами – не более 1 секунды для большинства параметров, а дискретные аварийные сигналы опрашиваются с частотой 100–200 мс. Интерфейс SCADA обновляет данные на экране каждые 1–2 секунды, а аварийные сообщения всплывают практически мгновенно (с задержкой < 0.5 с от события). Таким образом, динамика системы управления достаточно быстрая по сравнению с динамикой самого объекта: водогрейные котлы и теплосеть – инерционные системы, изменения в них происходят на минутах, поэтому реакции автоматики в пределах долей секунды – адекватны и обеспечивают упреждающее управление.

- Точность и качество управления:** Система использует высокоточные датчики (класс точности не хуже 0.5% шкалы для давления и температуры). Алгоритмы регулирования откалиброваны на поддержание сетевых графиков с требуемой точностью. Например, давление газа на выходе ГРП удерживается с точностью ± 5 кПа относительно уставки благодаря PID-регулятору и быстродействию клапана. Температура воды на выходе котельной следует погодному графику с отклонением не более $\pm 2\ldots 3^{\circ}\text{C}$. Давление в магистрали поддерживается, чтобы отклонения не превышали ± 0.05 МПа от заданного, что предотвращает жалобы потребителей на недогрев или перегрев. Качество управления подтверждается отсутствием частых срабатываний предохранительных устройств: автоматика мягко регулирует режим, избегая срывов.
- Прочие характеристики:** Человеко-машинный интерфейс соответствует эргономическим требованиям – информация отображается структурировано, с цветовой кодировкой (зелёный – норма, красный – авария, жёлтый – предупреждение). Имеются средства быстрого оповещения – сирены и маяки, подключенные к дискретным выходам контроллера, срабатывают при общекотельной тревоге. Система также включает подсистему **удаленного доступа** для инженерно-технического персонала: через защищённое подключение специалисты АСУТП могут диагностировать контроллеры, просматривать логи, что облегчает обслуживание. При разработке программного обеспечения учтены требования к документированности и верификации – все алгоритмы описаны и проверены на соответствие ТЗ (приложены описание алгоритмов, карты переходов, логика блокировок).

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						16

Таким образом, функциональная структура АСУТП представляет собой **совокупность координирующих подсистем**, каждая из которых решает свои задачи, но все они связаны единым управлением. Автоматизация распределяет роли: техника (контроллеры) выполняет монотонные и быстрые операции, человек контролирует и принимает решение в нестандартных ситуациях. Надёжность системы достигается аппаратным и программным резервированием, а быстродействие и точность – использованием современного вычислительного комплекса и продуманной алгоритмикой. Такая организация обеспечивает выполнение главной цели – **безопасное, эффективное и бесперебойное функционирование котельной в автоматическом режиме.**

Инв № подп.	Подп. и дата	Инв № подп.	Взамен инв. №	Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

878.2023-АСУ ТП.П3

Лист

17

Перечень сокращений

Сокращение	Расшифровка
АСУТП	Автоматизированная система управления технологическим процессом
АРМ	Автоматизированное рабочее место
ГРП	Газорегуляторный пункт
ГИГ	Грязевик инерционно-гравитационный
ЭТО	Электротехническое оборудование
СОПТ	Система оперативного постоянного тока
РЗА	Релейная защита и автоматика
ИБП	Источник бесперебойного питания
ПЛК	Программируемый логический контроллер
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерская система управления и сбора данных)
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture (унифицированный протокол обмена данными)
ФГУ	Функции группового управления
ХВО	Химводоочистка
НАБ	Насосная аккумулирующая (аккумулирующая насосная)

<i>Инв № подп.</i>	<i>Подп. и дата</i>	
	<i>Подп № фдубл.</i>	<i>Инв № фдубл.</i>

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	878.2023-АСУ ТП.П3	<i>Лист</i>
						18

Перечень терминов

Термин	Расшифровка
Автоматизированная система управления технологическим процессом	Организационно-техническая система, включающая технические средства и персонал, обеспечивающая автоматическое и автоматизированное управление технологическим процессом.
Автоматизированное рабочее место	Программно-технический комплекс для оператора или инженера, обеспечивающий контроль, управление и отображение информации о состоянии объекта.
Газорегуляторный пункт	Устройство для редуцирования давления природного газа, его очистки, учёта и распределения.
Теплообменник	Техническое устройство для передачи тепла от котлового контура сетевой воде без их смешения.
Электротехническое оборудование	Совокупность устройств, обеспечивающих распределение, защиту и контроль электроэнергии в котельной (трансформаторы, выключатели, распределительные устройства и пр.).
Программируемый логический контроллер	Микропроцессорное устройство управления, предназначенное для автоматизации технологических процессов.
Система оперативного постоянного тока	Источник питания постоянного тока для цепей управления, автоматики и релейной защиты.
Источник бесперебойного питания	Устройство, обеспечивающее электропитание оборудования при кратковременных нарушениях внешнего электроснабжения.
SCADA-система	Диспетчерская система управления и сбора данных, обеспечивающая визуализацию, архивирование и дистанционное управление.
OPC UA	Унифицированный промышленный протокол обмена данными между программным и аппаратным обеспечением.
Modbus RTU/TCP	Промышленный протокол передачи данных между устройствами по последовательным каналам и по Ethernet.
Функции группового управления	Алгоритмы централизованного управления группой котлов, насосов или другого оборудования.
Химводоподготовка	Комплекс технологических мероприятий и оборудования для подготовки воды с заданными характеристиками для работы котлов и теплосети.
Деаэратор	Устройство для удаления растворённых газов (в первую очередь кислорода и углекислого газа) из питательной воды.
Технологическая сигнализация	Система подачи звуковых и световых сигналов при выходе параметров за допустимые пределы или неисправности оборудования.
Технологическая защита	Алгоритм автоматического отключения или перевода оборудования в безопасное состояние при аварийных режимах.
Блокировка	Логическая взаимосвязь между механизмами или параметрами, исключающая выполнение опасных операций.

Инв № подп.	Подп. и дата	
	Взамен инв. №	Инв № дубл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	878.2023-АСУ ТП.П3	Лист
						19

Лист регистрации изменений

878.2023-АСУ ТП.ПЗ

Лист

20