

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	10
3.1 Подсистемы АС, их функции и задачи.....	10
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	Инв № дубл.	Взамен инв. №	Подп. и дата

Разраб.	Чураков			
Пров.	Агафонов			
Н. контр.	Корепанов			

Утв.				
------	--	--	--	--

А.В.XXX.П3.ХХ.Х-Х.Х

Полное название системы.
Описание автоматизируемых функций

Лит.	Лист	Листов
	2	20

Название организации

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-50, 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	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	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.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
------	------	----------	-------	------	---------------------	------

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 (слишком высокое или низкое на выходе ГРП), понижение давления воды в контуре ниже допустимого, перегрев воды выше установленной

Изв № подп.	Подп. и дата

Изв.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
						5

температуры, снижение разрежения в дымовой трубе, 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 (брос нагрузки) и выдаётся команда на открытие предохранительных клапанов (если предусмотрены). При пропадании напряжения питания на щите собственных нужд – **отключаются все потребители** и котёл переводится в безопасное состояние. Система защит включает также газовую безопасность: при обнаружении загазованности помещения котельной (сигналы газоанализаторов метана) блокируется работа горелок и включается аварийная вентиляция. 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 вентиляторов – защита от перегрева двигателя и заклинивания; 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

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.ПЗ.XX.X-X.X	Лист
------	------	----------	-------	------	---------------------	------

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 модулируют расход газа через регуляторы, либо включают/отключают отдельные горелки. Также может осуществляться регулирование смеси воды: например, через трехходовые клапаны или насосы перемешивания, чтобы поддерживать стабильную температуру при разных расходах.

- **Регулирование давления газа на горелках.** В ГРП автоматический регулятор (механический или с электроприводом клапан) удерживает давление газа перед горелками на заданном уровне (например, 0,3 МПа) несмотря на колебания входного давления. Контур может быть усилен средствами АСУТП: датчик давления подаёт сигнал в контроллер, который управляет исполнительным механизмом регулятора. При этом штатные предохранительно-бросовые клапаны ГРП служат резервной защитой.
- **Регулирование разрежения/тяги.** Если в конструкции котлов предусмотрены дымососы или клапаны дымовой трубы, АСУТП может поддерживать оптимальное разрежение в топке, синхронизируя работу дутьевых вентиляторов и дымососов, чтобы обеспечить правильный баланс воздуха и газа (что важно для полноты сгорания и экологии).
- **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. Например, при падении уровня в баке запаса воды контроллер включает насос подпитки из деаэратора, при достижении верхнего уровня – останавливает. 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.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
------	------	----------	-------	------	---------------------	------

- 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), **вентиляторы** (включить/выключить), **задвижки и клапаны** (открыть/закрыть/остановить). Например, с АРМ можно открыть задвижку на линии пара к теплообменнику, переключить режим работы аккумуляторной насосной (заряд/разряд), запустить резервный насос взамен рабочего и т.п. 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.
- 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

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
						8

автоматическом режиме при минимальном вмешательстве оператора, достигая целей безопасности и эффективности.

Инв № подп.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв № для б/у.	Подп. и дата

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

А.В.ХХХ.П3.ХХ.Х-Х.Х

Лист

9

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:

- **АСУ ГРП-1 и АСУ ГРП-2 (газовое хозяйство):** контроль параметров газа (давления на входе и выходе регуляторов, температуры окружающей среды в ГРП), управление подогревателями газа (если имеются), автоматическое поддержание выходного давления на заданном уровне. Подсистема ГРП реализует защитные отключения: при авариях (например, недопустимое снижение давления на выходе или утечка газа) – мгновенно перекрывается подача газа на котлы. Она взаимодействует с подсистемой котлов: в случае аварии на ГРП поступают блокировки на отключение горелок. Кроме того, АСУ ГРП передаёт телеметрию о состоянии газовых клапанов, фильтров (дифференциальное давление) и состояние линии резервного газоснабжения. Задача оператора ГРП минимальна – система сама регулирует давление. Требования: высокая надёжность (резервирование клапанов, автономность локальных регуляторов давления), быстродействие при аварийном отключении (клапаны отсечки срабатывают за доли секунды).
- **АСУ котлов (базовая подсистема ВК):** наиболее насыщенная функционально часть, управляющая каждым водогрейным котлом. В её задачи входит автоматическое ведение горения – поддержание температуры сетевой воды на выходе котла на заданном уровне путём управления горелками и воздушными вентиляторами. Здесь реализован алгоритм **АСУ горелок:** последовательный розжиг горелок (подача искры на запальник, подтверждение пламени, открытие основного газа), разгон котла до нужной нагрузки, синхронное включение второй горелки при повышении нагрузки (для равномерного выгорания), либо модуляция мощности на одной горелке (если доступно). Также подсистема котла контролирует **контур воды:** следит за протоком воды через котёл (*расход сетевой воды через котёл – критичный параметр для предотвращения перегрева*), за давлением на входе/выходе (чтобы не превышать допустимого перепада). При останове циркуляции (например, «расход через котёл недопустим – останов» в перечне сигналов) сработают блокировки, предотвращающие прожигание труб. **АСУ котла** выполняет функции защиты от перегрева: при достижении максимально

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
						10

допустимой температуры воды автоматика снижает подачу газа или отключает горелки. Вспомогательные контуры котла также автоматизированы: *контур питания котла водой* (насосы аварийной подпитки включаются для поддержания объёма воды в системе при утечках), *контур отвода воздуха* (деаэрация) – поддержание уровня в деаэраторе, *контур вывода дренажа/слива* – управление дренажными клапанами при останове. Подсистема котла взаимодействует с системой безопасности: при любых аварийных сигналах (газ, пламя, циркуляция) – немедленно останавливает котёл. **Требования:** система должна обеспечивать надёжную изоляцию отказов (авария одного котла не должна вывести из строя управление другим), время отклика защит – не более нескольких сотен миллисекунд (для отключения горелки при пропаже пламени), точность регулирования температуры – в пределах $\pm 2^{\circ}\text{C}$ от заданного графика, надёжность – резервирование критичных измерений (например, два датчика температуры на выходе, два датчика пламени на горелку и т.п.).

- **АСУ насосных групп (аккумулирующая насосная и насосы сетевой воды):** данная подсистема отвечает за поддержание требуемого давления и расхода воды. *Насосная станция аккумулирующего бака (НАБ)* работает в двух режимах: заряд (закачка горячей воды в аккумуляторные баки) и разряд (отбор горячей воды из баков в сеть). Автоматика сама переключает режимы согласно команде диспетчера или расписанию: открывает/закрывает необходимые клапаны («*Открыть/Закрыть*» команды на электроприводы), регулирует производительность насосов. Кроме того, *насосы сетевой воды (основные циркуляционные насосы котельной)* поддерживают расход через котлы и теплообменники. АСУ насосных следит за давлением на всасе и нагнетании каждого насоса; при падении давления на всасе (например, недостаток воды в системе) – система уменьшает скорость насосов или отключает часть для предотвращения кавитации. При отказе рабочего насоса автоматически запускается резервный (реализованы логики резервирования). Время переключения на резерв должно быть минимальным, чтобы не прерывать циркуляцию (порядка нескольких секунд). Также подсистема обеспечивает плавное управление частотой вращения насосов через частотные преобразователи – для экономии электроэнергии и стабильности параметров. **Требования:** высокая надёжность (резервирование насосов N+1), устойчивость против гидроударов (плавные пуски/остановы), интеграция с теплоаккумулятором (чёткое выполнение алгоритма заряд/разряд без перегрузки сети).
- **АСУ теплообменников:** выполняет функцию управления потоками тепла между турбинным источником и сетевой водой. Здесь основной алгоритм – *автоматическое*

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

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Лист</i>
					A.B.XXX.П3.XX.X-X.X

регулирование температуры сетевой воды на подаче при помощи регулирующего клапана на паре или смещающего клапана. Контроллер получает сигнал температуры после теплообменника и открывает/закрывает клапан подачи греющего пара (или горячей воды от котлов) для поддержания заданной температуры. Также предусмотрены блокировки: при резком понижении расхода через теплообменник – прикрыть паровой клапан, при превышении температуры – закрыть подачу пара полностью. Электроприводы клапанов в теплообменном пункте работают в режимах регулирования: у них реализованы сигналы «*Больше/Меньше*» – т.е. контроллер подаёт команду увеличить или уменьшить открытие клапана на определённый шаг, опираясь на отклонение температуры. Обратная связь – датчик положения клапана («*Положение ИМ*» – *положение исполнительного механизма* в процентах). Эта подсистема также контролирует состояние теплообменников (разность давлений, наличия протечек если датчики утечек) и включает байпасные линии при необходимости. Требования: точность регулирования температуры на узле – $\pm 1\text{--}2^\circ\text{C}$, надёжная работа приводов (наличие сигналов момента для предотвращения поломки – при «*Превышении момента*» управление останавливает двигатель во избежание аварии), время срабатывания регулирующих клапанов достаточно для плавного регулирования (настройка ПИД-регуляторов избегает колебаний).

- **АСУ ЭТО (электротехническое):** данная подсистема носит характер информационно-управляющий, но без контуров регулирования. Её задача – **контроль и индикация состояния электрооборудования** котельной. Она получает данные от встроенных систем измерения трансформаторов (температурные реле сигнализируют о перегреве обмоток на каждой фазе высокого и низкого напряжения; газовое реле – о выделении газов в масле, если трансформаторы масляные), от цифровых реле защиты (срабатывание токовых защит, дифференциальной защиты и т.д.), от выключателей (положение, аварийное отключение). В случае срабатывания защиты питания АСУ ЭТО передаёт сигнал в другие подсистемы: например, при обесточивании секции собственных нужд котельной – АСУ ЭТО сообщает в АСУ котлов, что необходимо срочно погасить горелки (чтобы избежать неконтролируемого горения без работающих вентиляторов). Помимо аварийных функций, АСУ ЭТО обеспечивает **дистанционное управление выключателями** со щита управления (если предусмотрены электроприводы включения/отключения) и отображает на АРМ электрические параметры (напряжение, ток, cosφ). Требования: безотказная передача сигнала об аварии электропитания (время – не более 100 мс), интеграция с системой резервного питания (от ИБП) – контроллеры АСУТП сами запитаны от

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
------	------	----------	-------	------	---------------------	------

бесперебойного источника, чтобы при исчезновении внешнего напряжения корректно завершить процессы. (Отметим, что по отдельному проекту проведена модернизация электропитания АСУТП с внедрением шкафа бесперебойного питания на 6 кВА, обеспечив гарантированное питание всех элементов системы при исчезновении напряжения на обоих вводах)

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 котла выполняется автоматически контроллером по команде "Пуск котла" оператора: автоматика сама открывает необходимые клапаны, инициирует розжиг, проверяет пламя и выводит котёл на режим; оператор лишь наблюдает на экране за стадиями и готов вмешаться если автоматике не удастся запустить с первого раза. 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**:

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
------	------	----------	-------	------	---------------------	------

- **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 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 технologа 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

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
						14

есть на одном (или двух для отказоустойчивости) сервере крутится серверная часть SCADA и исторический архив, а рабочее место оператора подключается к нему по сети. 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 CPU); 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 **занятия программы** – используется сторожевой таймер, который при зависании ПЛК переводит выходы в безопасное состояние. Надёжность подтверждается расчетной оценкой: вероятность безотказной работы системы в течение 8000 часов > 0.98 , а 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

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
						15

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 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

Инв № подп.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
						16

описаны и проверены на соответствие ТЗ (приложены описание алгоритмов, карты переходов, логика блокировок).

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	A.B.XXX.П3.XX.X-X.X	Лист
------	------	----------	-------	------	---------------------	------

Перечень сокращений

<i>Инв. № подл.</i>	<i>Подп. и дата</i>	<i>Взамен инв. №</i>	<i>Инв. № отб.</i>	<i>Подп. и дата</i>

A.B.XXX.П3.ХХ.Х-Х.Х

Лист

18

Перечень терминов

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

A.B.XXX.Π3.ΧΧ.Χ-Χ.Χ

Лист

19

Лист регистрации изменений

A,B,XXX,П3,XX,X-X,X

Лист

20