

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматики, автоматизированное управление и  
проектирование»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ С.В. Ченцов  
подпись инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОКОТЕЛЬНОЙ

Руководитель	_____	зав. кафедрой, д-р техн. наук	<u>С.В. Ченцов</u>
Выпускник	_____		<u>О.А. Ещенко</u>
Консультант	_____	ст. преподаватель	<u>И.В. Солопко</u>
Нормоконтроль	_____		<u>Т.А. Грудинова</u>

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Автоматизация электростанции» содержит 60 страниц текстового документа, 22 иллюстрации, 4 формулы, 11 таблиц, 36 использованных источника.

Автоматизация электростанции, моделирование, SimInTech, управление электростанцией, диспетчерское управление, электрическая станция.

Целью выпускной квалификационной работы является создание компьютерной динамической модели процесса управления электростанцией в рамках существующей системы автоматизации для улучшения работы путем моделирования условий эксплуатации и аварийных ситуаций.

Использование средств автоматизации процесса управления электростанцией «Левобережная» позволяет наблюдать и регулировать технологические характеристики системы теплоснабжения. Актуальность работы заключается в необходимости моделирования процесса управления для предотвращения ошибок оператора и обеспечения эксплуатационной безопасности.

Результатом дипломной работы является создание структурной схемы для автоматизации системы управления электростанцией «Левобережная», описание алгоритма автоматического управления электрической станцией, на основе которого в программе SimInTech была создана компьютерно-динамическая модель, с помощью которой влияние различных значений температуры и давления на работу системы может быть определена. Компьютерная модель схемы теплоснабжения представляет собой графический и аналитический инструмент, который позволяет оперативно выполнять поставленные задачи.

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1 Общая характеристика электрокотельных.....	6
1.1 Обзор электрокотельных .....	6
1.2 Устройство электрокотельной.....	7
1.2.1 Электрическая схема электрокотельной.....	10
1.3 Устройство электрокотла .....	11
1.3.1 Принцип работы .....	13
1.4 Виды электрокотельных.....	13
1.4.1 Тэновые электрические котлы .....	13
1.4.2 Индукционные котлы .....	16
1.4.3 Электродные отопительные котлы .....	17
1.5 Сведения о электрокотельной «Левобережная» .....	18
1.6 Технологический процесс электрокотельной .....	19
Выводы по главе 1 .....	20
2 Описание выбранных средств автоматизации электрокотельной.....	22
2.1 Задачи и достоинства АСУ ТП .....	22
2.2 Обоснование выбора средств автоматизации .....	25
2.2.1 Преобразователь частоты HYUNDAI N700E-004HF.....	26
2.2.2 Датчик давления Rosemount 3051C .....	28
2.2.3 Датчик температуры ТП101 – К .....	29
2.2.4 Контроллер Simatic S7-300.....	30
2.2.5 Операторская панель OP77A .....	32
2.2.6 Модульная станция ET 200S (ET 200M) ввода – вывода для систем на основе PROFIBUS .....	32
2.3 Регулирование электрокотлов, работающих по закрытой схеме.....	34
2.4 Параметры контроля и регулирования.....	39
Выводы по главе 2.....	40
3 Моделирование процесса электрокотельной.....	42

3.1	Теплогидравлический расчет .....	42
3.2	Компьютерная модель с применением программы SimInTech .....	44
3.3	Моделирование работы .....	45
3.2.1	Моделирование аварийной ситуации .....	53
	Выводы по главе 3 .....	53
	Заключение .....	55
	Список сокращений .....	56
	Список использованных источников .....	57

## ВВЕДЕНИЕ

Самое широкое использование среди видов вырабатываемой энергии являются электрическая и тепловая.

Теплоснабжение – одно из основных подсистем энергетики. На теплоснабжение используется треть всей используемых топливно-энергетических ресурсов.

Теплофикация – самый совершенный метод теплоснабжения, является одним из основных путей снижения расхода топлива на выработку энергии.

Энергетический эффект теплофикации заключается в замене теплоты, вырабатываемой при раздельном энергоснабжении в котельных, отработавшей теплотой, отведенной из теплосети электростанции.

Автоматизация производства - это процесс развития машинного производства, в котором функции управления и контроля, раньше выполнявшиеся человеком, передаются на приборы и автоматические устройства. Автоматизация актуальна в различных отраслях производства, в том числе и в системах теплоснабжения.

Использование средств автоматизации процесса управления электрокотельной «Левобережная» позволяет наблюдать и регулировать технологические характеристики системы теплоснабжения. Актуальность работы заключается в необходимости моделирования процесса управления для предотвращения ошибок оператора и обеспечения эксплуатационной безопасности.

Целью выпускной квалификационной работы является создание компьютерной динамической модели процесса управления электрокотельной в рамках существующей системы автоматизации для улучшения работы путем моделирования условий эксплуатации и аварийных ситуаций.

# 1 Общая характеристика электрочотельных

## 1.1 Обзор электрочотельных

Электрические котельные используются для отопления и горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий. Широкий диапазон производительности позволяет отапливать помещения площадью до 30 000 м<sup>2</sup>.

Мощность и теплопроизводительность электрочотельных зависит от типов котлов, входящих в состав, и их количества. Универсальные котлы мощностью 35-125 кВт используются для отопления жилых и небольших объектов площадью до 1250 м<sup>2</sup>. Для отопления крупных объектов площадью до 10000 м<sup>2</sup> котельные оснащены промышленными котлами мощностью от 150 до 1000 кВт. Для отопления зданий и сооружений площадью до 30000 м<sup>2</sup> выпускаются более мощные электрочотельные мощностью до 3000 кВт.

Таблица 1.1 - Технические характеристики электрических котельных установок

№	Параметры	Значения
1	Назначение	отопление и горячее водоснабжение жилых и промышленных объектов
2	Конструкция	<ul style="list-style-type: none"><li>• блочно-модульная (контейнерная)</li><li>• на раме</li></ul>
3	Мощность, кВт	<ul style="list-style-type: none"><li>• на базе промышленных котлов - 150-1000 кВт</li><li>• на базе универсальных котлов - 35-125 кВт</li></ul>
4	Площадь обогреваемого помещения, м <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"><li>• на базе промышленных котлов - до 10000</li><li>• на базе универсальных котлов - до 1250</li></ul>

## Продолжение таблицы 1.1

5	Теплопроизводительность, Гкал/час	до 2,58
6	КПД котлов, %	до 96
7	Система автоматики	погодозависимое регулирование
8	Напряжение электрической цепи, В	380
9	Максимальное давление теплоносителя, МПа	0,4
10	Диапазон регулирования температуры теплоносителя, °С	0-90
11	Номинальный ток автоматического выключателя по фазе*, А	400, 500, 630, 800, 1000
12	Требуемая площадь поперечного сечения подводящего кабеля МЕДЬ*, мм <sup>2</sup>	120, 150, 240 и более
*зависит от мощности электрического котла		

Преимущество электрических котлов заключается в возможности работать как в качестве основного, так и в качестве мобильного или альтернативного источника теплоснабжения, что достигается из-за высокой степени автономности оборудования [2].

### 1.2 Устройство электростанции

Основу электростанций составляют электрические котлы с климат-зависимым контроллером и многоступенчатой защитой от отдельного нагревательного элемента до всего котла в целом.

Помимо электрических котлов котельные оснащены (рисунок 1.1):

- сетевыми насосами;
- баком-аккумулятором;
- шкафом управления насосами (ШУН);

- шкафом автоматики и управления электродкотлами;
- вводно-распределительным устройством;
- контрольно-измерительными приборами (термоманометр, счетчик).

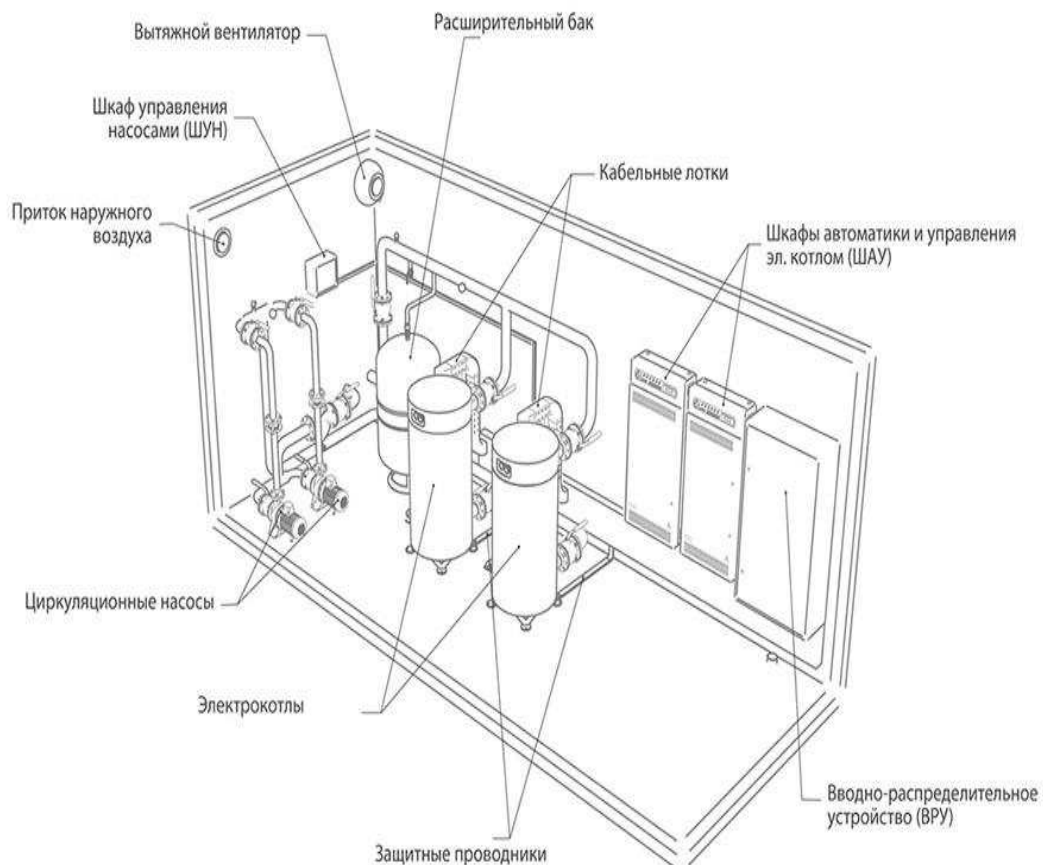


Рисунок 1.1 – Схема размещения оборудования электродкотельной

Чтобы гарантировать подачу горячей воды, электродкотельные оснащены теплообменником или накопительным водонагревателем [2].

Принципиальная теплотехническая схема электродкотельной (рисунок 1.2) состоит из:

- 1) скоростной водонагреватель;
- 2) коллектор горячей воды;
- 3) коллектор холодной воды;
- 4) грязевик;
- 5) насосы;
- 6) бак-аккумулятор;



- 7) изоляционная вставка;
- 8) электроды.

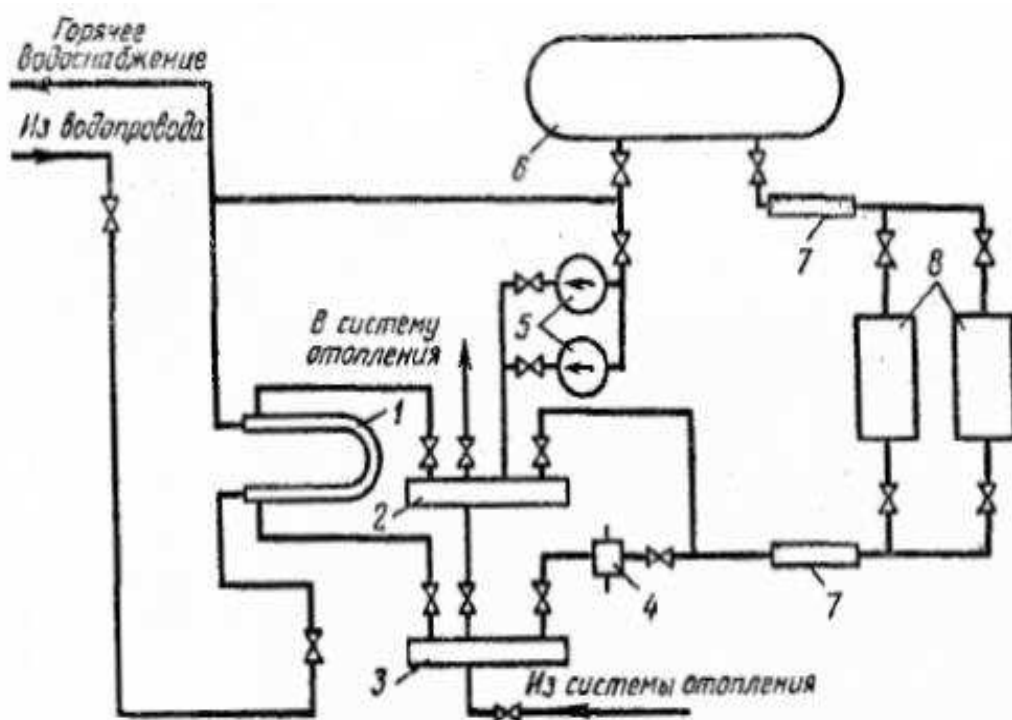


Рисунок 1.2 - Принципиальная схема электродкотельной

Система автоматизации электродкотлов позволяет использовать оборудование без постоянного присутствия сотрудников и обеспечивает:

- климатическое регулирование температуры воды;
- плавное и каскадное включение/выключение электродкотлов с функцией выбора оптимального количества включаемых нагревательных элементов;
- защиту электродкотлов от аварийного перегрева.

Кроме того, устройства, входящие в состав, гарантируют надежность, безопасность, эффективность и простоту использования:

- электродкотлы имеют теплоизоляцию;
- нагревательные элементы из нержавеющей стали для котлов;
- модульные контакторы обеспечивают тихую и продолжительную работу;
- ИБП для цепей управления оснащается фазовым переключателем;
- наличие теплоносителя (в том числе незамерзающих гликолевых жидкостей) контролируется датчиком;

- образование "воздушных пробок" исключено из-за наличия автоматического воздухоотводчика;

- установлен предохранительный клапан для защиты оборудования от высокого давления [4].

### 1.2.1 Электрическая схема электростанции

Подробно разберем принципиальную электрическую схему электростанции (рисунок 1.3).

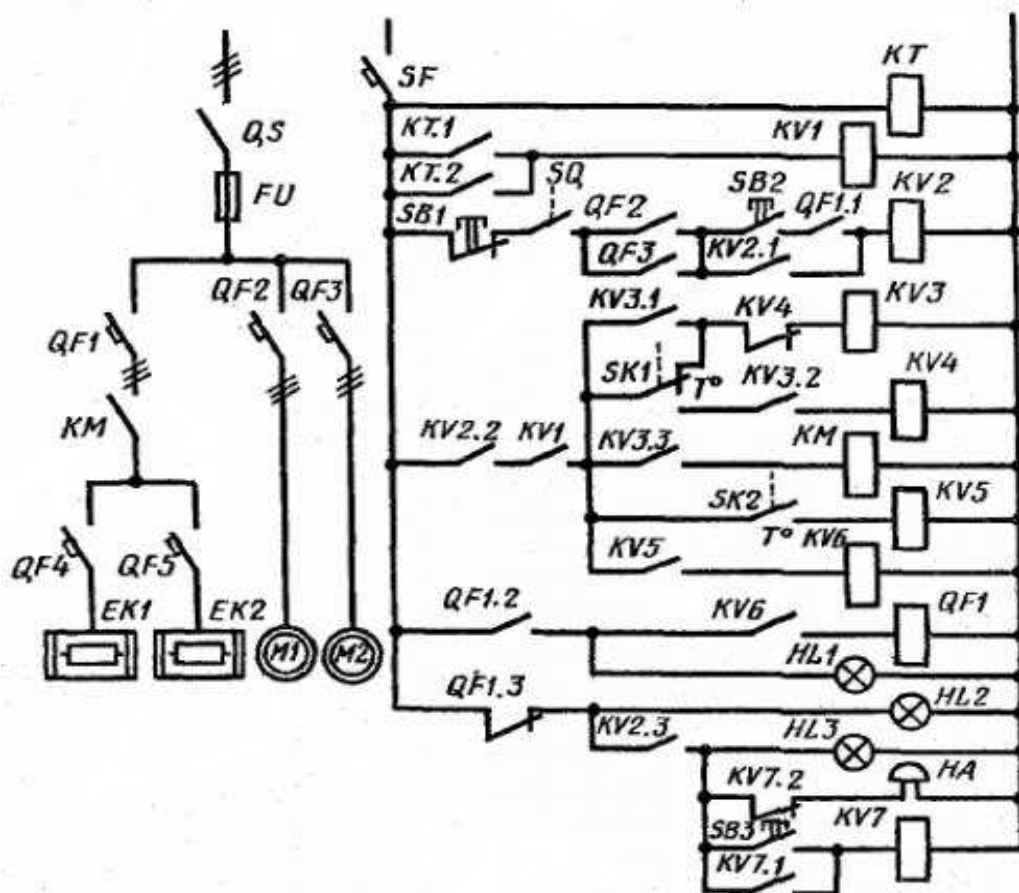


Рисунок 1.3 – Электрическая схема электростанции

Питание подается на схему с помощью переключателя QS. Насосы (основной и резервный) подключаются с помощью автоматических выключателей QF2 и QF3, а котлы - QF4, QF5 и контактором KM.

Котлы могут включаться в определенное время, определяемые реле времени СТ, которое имеет две программы. Температура воды в баке контролируется реле температуры SK1. Верхний контакт SK1 включается, когда

температура воды ниже нормы, нижний - при достижении максимального значения. В аварийном режиме, когда температура воды на 3 - 40 выше, чем верхняя уставка реле SK1, реле SK2 активируется.

Блокирующий контакт SQ предотвращает запуск котлов, когда двери ограждения не закрыты. Котлы включаются, когда один из контактов реле времени КТ замкнут. Предварительно (после включения QF2 или QF3) запускается насос, включаются автоматические выключатели QF4, QF5 и QF1.

Кнопка SB2 питает катушку реле KV2, которое через промежуточное реле KV3 включает контактор КМ силовой цепи котла. Когда температура поднимается выше минимума, верхний контакт SK1 размыкается, но питание на реле KV3 подается через собственный контакт KV3.1.

Когда достигается максимальное значение температуры, нижний контакт SK1 замыкается, получает питание от реле KV4 и через контакт KV3.3 промежуточное реле KV3 снимает напряжение с контакта КМ, что приводит к отключению котлов,

В аварийном режиме, если цепь не работает, контакт SK2 замыкается, получает питание реле KV5, активирует реле KV6 своим контактом, которое подает напряжение на катушку независимого разъединителя QF1, прерывая подачу питания котлов. Блок контактов QF1.3 включают аварийное освещение (HL2) и звуковую сигнализацию НА [34].

Силовая схема управления остается релейно-контакторной, а управляющие цепи и алгоритмы реализуются с помощью контроллеров.

### **1.3 Устройство электрокотла**

Стальной бак с форсунками для соединения подводящих и обратных труб системы отопления, со встроенными устройствами различной по конструкции для нагрева воды – индукционные катушки, электроды или нагревательные элементы (рисунок 1.4).

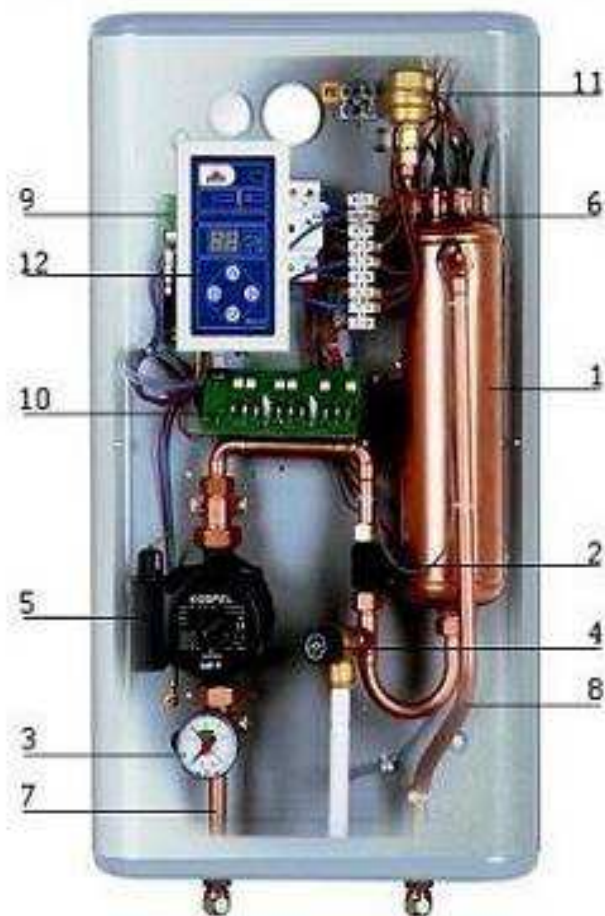


Рисунок 1.4 – Конструкция электрокотла

Конструкция трехфазного котла:

- 1) нагревательный узел;
- 2) датчик протока;
- 3) манометр;
- 4) клапан безопасности;
- 5) насос;
- 6) ограничитель температуры;
- 7) патрубок входа;
- 8) патрубок выхода;
- 9) узел WE/WY для совместной работы с бойлером-аккумулятором;
- 10) узел мощности;
- 11) автоматический воздухоотводчик;
- 12) узел мощности.

### **1.3.1 Принцип работы**

Принцип работы устройства предельно прост: охлаждающая жидкость подается в расширительный бак, который нагревается от электроэнергии, а затем распространяется по радиаторам и трубам. Электрические котлы характеризуются высоким КПД (который часто достигает 100%), простотой использования, экономичностью, тихой работой. Безопасность и экологичность также являются преимуществами. Электрические котлы также имеют и ряд недостатков, которые в основном связаны с отечественной организацией электроустановок.

Необходимо помнить стоимость электроэнергии, которая постоянно увеличивается, о частых перебоях с подачей электроэнергии, скачках напряжения, которые негативно влияют на функциональную часть оборудования и его срок службы.

### **1.4 Виды электродных котлов**

На сегодняшний день существует три основных типа электрических котлов:

- тэновые;
- электродные;
- индукционные.

Разделение по типу происходит от метода нагрева теплоносителя (воды), используемого в котле.

В электродной «Левобережная» используются котлы типа ТЭН.

#### **1.4.1 Тэновые электрические котлы**

В котлах этого типа для нагрева охлаждающей жидкости используются трубчатые нагревательные элементы (ТЭНы). На самом деле это электрические проводники с очень высоким сопротивлением. Электрический ток, протекающий

через элемент, вызывает его нагрев, который передается охлаждающей жидкости.

На бытовом уровне ТЭНы хорошо известны по старым электрическим чайникам и портативным водонагревателям.

Недостаток этого типа котлов заключается в том, что на стенках котла и на поверхности нагревателя образуется известь. Образование извести происходит из-за жесткой воды. Поэтому при использовании котла добавляются различные присадки для очистки от известковых налетов. Также возможно перед использованием довести воду искусственно до нормального показателя жесткости 7-10 мг-экв/л.

Для смягчения воды используют специальные фильтры, дистилляцию воды и предварительное кипячение.

Еще одна проблема такого котла заключается в утечке охлаждающей жидкости. Нагреватель, не погруженный в воду, перегревается и сгорает, что может привести к возгоранию. Поэтому не стоит экономить при покупке данного вида котла, а также уделить особое внимание автоматизации котлов.

Рассмотрим конструкцию ТЭН котла на примере настенного электрического котла с эквитермальным регулированием модели Proterm «Скат» (рисунок 1.5), которая состоит из:

- 1) ТЭНы;
- 2) расширительный бак;
- 3) насос;
- 4) теплообменник;
- 5) воздухоотводчик;
- 6) воздухоотводчик теплообменника
- 7) гидрогруппа;
- 8) предохранительный клапан;
- 9) датчик давления;
- 10) изоляция.

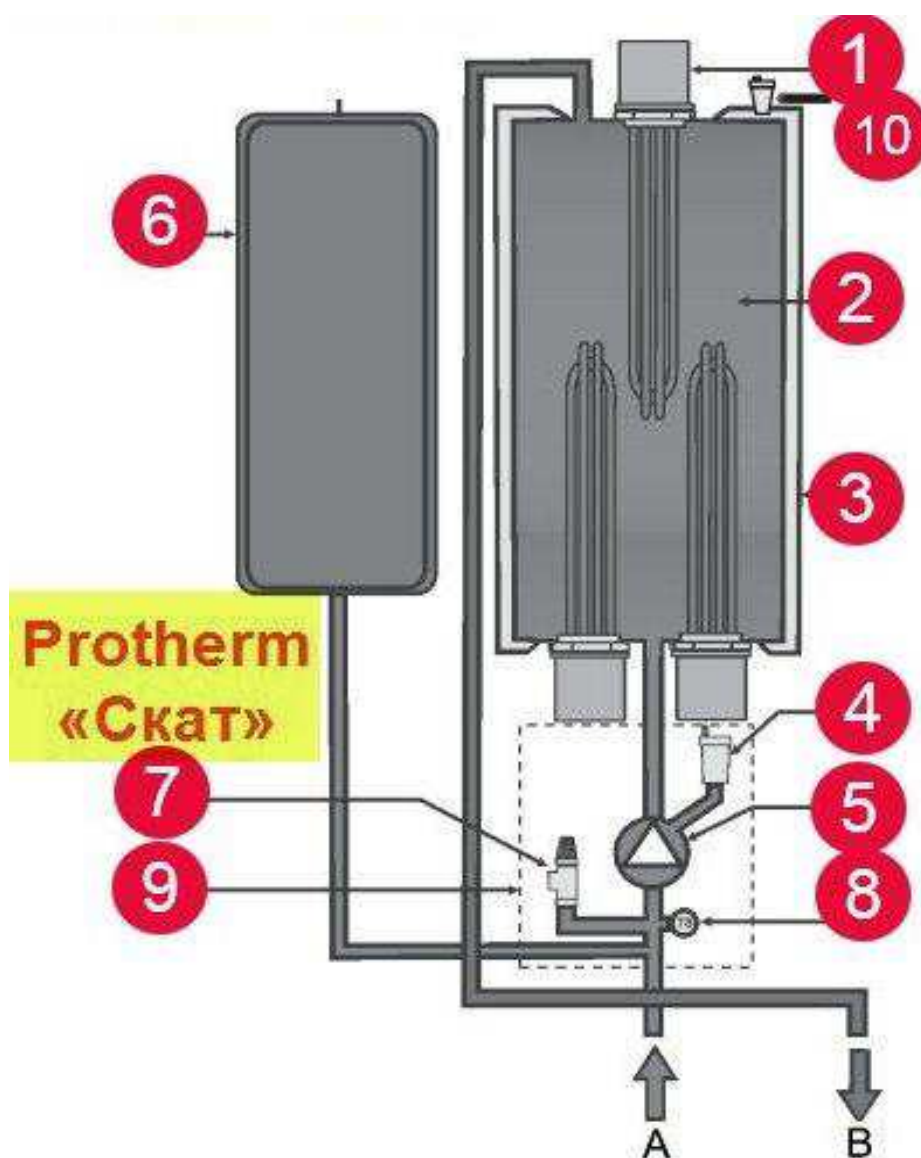


Рисунок 1.5 – Конструкция ТЭН котла

Вода (охлаждающая жидкость) из системы отопления (стрелка А), поступает в котел, нагревается тремя установленными нагревательными элементами. При нагревании вода поднимается в бак и поступает в возвратную линию (В) системы отопления.

Этот котел может работать с системой теплого пола, когда подключен аварийный термостат для регулировки температуры воды в котле. Гидравлическая группа котла включает двухскоростной сетевой насос, который обеспечивает циркуляцию охлаждающей жидкости.

Защиты котла:

- от замерзания охлаждающей жидкости;

- от замерзания котла косвенного нагрева;
- защита насоса от заклинивания;
- предохранительный клапан на 3 бара.

Электрический котел подключается отдельной электропроводкой с отдельным автоматическим выключателем. Сечение кабеля и номинал автоматов защиты приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Рекомендуемые параметры предохранителей и сечений проводников

Мощность котла, кВт	Кол-во и мощность нагревательных элементов	Сила тока в однофазовой системе (А)	Номинальный ток предохранителя (А)	Сечение провода – Cu (мм <sup>2</sup> )
6	2 * 3 кВт	9,5 (28*)	10 (32*)	1,5 (6*)
9	3 кВт + 6 кВт	14 (39*)	16 (50*)	1,5 (10*)
12	2 * 6 кВт	18,5	20	2,5
14	2 * 7 кВт	23	25	2,5
18	3 * 6 кВт	27,5	32	4
21	3 * 7 кВт	32	40	4
24	4 * 6 кВт	36,5	40	6
28	4 * 7 кВт	43	50	10
*действительно при однофазном подключении				

#### 1.4.2 Индукционные котлы

Электромагнитная индукция, которая окружает другой проводник с ферромагнитными свойствами, нагревает его. В отопительном котле ферромагнитный проводник представляет собой трубу с циркулирующей охлаждающей жидкостью.

Недостатки:

- образование извести;



- требуется защита от утечки охлаждающей жидкости.

Индукционные котлы могут состоять из нескольких нагревателей. Конструкция котла состоит из трех индукционных нагревателей, каждый из которых состоит из:

- индукционной катушки;
- теплообменного металлического корпуса;
- с входным и выходным патрубками;
- клеммная группа в защитной металлической коробке.

### **1.4.3 Электродные отопительные котлы**

Электродные котлы можно сравнить с проточными водонагревателями, в которых вода нагревается за счет прохождения электричества через теплоноситель. В этих устройствах охлаждающая жидкость нагревается сама по себе, что достигается введением в охлаждающую среду специальных электродов, которые возбуждают колебания свободных электронов, которые нагревают воду.

Отличия электродных котлов:

- цилиндрические формы;
- маленький размер;
- экономичность при установке НЕ чугунных радиаторов;
- безопасность, они не работают при отсутствии воды;
- автоматическое включение/выключение с помощью датчиков температуры.

Недостатки таких котлов:

- мощность не может быть отрегулирована, только включение/выключение;
- образование накипи, в результате снижения мощности;
- вода нуждается в подготовке;

- не используйте традиционные охлаждающие жидкости (тосол и антифриз);
- дистиллированная вода не подходит в виде охлаждающей жидкости;
- существует возможность прямой утечки электричества на корпус и трубы отопления;
- электролиз, происходящий во время процессов в электродном котле, приводит к образованию токсичных газов и требует периодической замены охлаждающей жидкости [23].

### 1.5 Сведения о электростанции «Левобережная»

Таблица 1.3 - Сведения о электростанции «Левобережная»

Установленная мощность Э/К, Гкал	158,2
Располагаемая мощность Э/К, Гкал	151,4
Затраты тепловой мощности на собственные нужды, Гкал/ч	0,01
«Фактическая» нагрузка потребителей, Гкал/ч, в том числе:	133,5
отопление	132,2
вентиляция	1,1
ГВС (среднечасовая)	0,2
Перевод нагрузки в ТЭЦ-2, Гкал/ч	75,0
Потери тепловой мощности в сетях, Гкал/ч	11,4
Фактическая нагрузка на коллекторах Э/К в горячей воде, Гкал/ч	89,9
Резерв/дефицит располагаемой мощности котельной, Гкал/ч	61,4
Резерв/дефицит установленной мощности, Гкал/ч	68,3

В сложных гидравлических условиях полный перенос потребителей тепловой энергии от котельных на тепловые сети от ТЭЦ не всегда экономически целесообразен. Для полной передачи потребителей часто необходимо выполнить ряд действий, стоимость которых не будет окупаться за счет экономических эффектов, возникающих в результате переноса. Чтобы снизить капитальные затраты при реализации мероприятий, можно рассмотреть меры по частичному переводу потребителей котельных на сети ТЭЦ, когда котельная включается только в пиковом режиме, при максимальных потреблении сетевой воды в системах теплоснабжения.

К данной группе котельных предлагается отнести электростанции.

Пиковый режим работы электродкотельных обеспечит надежность и качество теплоснабжения потребителей в периоды температур, близких к расчетным для отопительных систем, а также снизит себестоимость производства тепла во всей системе теплоснабжения [32].

## **1.6 Технологический процесс электродкотельной**

Автономная электродкотельная представляет собой готовое сооружение, предназначенное для отопления по закрытой системе теплоснабжения жилых и промышленных зданий и сооружений. Режим работы котельной автоматизирован, не нуждается в присутствии обслуживающего персонала. Дистанционное управление работой, посредством выносного диспетчерского пульта.

Технологический процесс электрической котельной: подача сетевой воды при температуре  $70^{\circ}\text{C}$  из системы отопления по возвратной трубе через отстойник к насосам, которые питают электрические котлы. В котлах вода нагревается под воздействием тока, который протекает между электродами. Вода нагревается до температуры  $95^{\circ}\text{C}$  и выходит по прямой трубе в систему отопления. Затем по трубопроводу вода возвращается к насосам и снова поступает в котлы. Во время анализа горячей воды подпиточный насос перекачивает количество воды, которого не хватает в системе. Статическое давление всасывания насосов поддерживается регулятором давления.

Температура на выходе из котла является регулируемым параметром в данной системе отопления, а это означает, что этот параметр сохраняется во время работы котла. Основное влияние на изменение температуры оказывает процесс поступления воды в котел, которую необходимо нагреть, и выход уже нагретой воды. Поэтому основное возмущающее воздействие — это расход воды через котел.

Подача тепла регулируется автоматически на основе сигналов от датчика температуры котла и датчика температуры окружающей среды. Электрический

сигнал, генерируемый датчиками через соединительные провода, поступает в микропроцессорный контроллер, где оператор устанавливает все параметры, необходимые для управления. В этом устройстве сигнал, полученный датчиком, сравнивается и управляющее воздействие генерируется в форме электрического импульса. Он передается на электродвигатель и преобразуется во вращение ротора, соединенного со шпинделем, который проходит через сальник в середине крышки котла. Контроллер мощности расположен на шпинделе в виде ряда диэлектрических экранов, которые входят в промежутки между пластинами и перемещаются вертикально относительно них. В зависимости от угла, на который повернется ротор двигателя, контроллер мощности, перемещаясь по резьбе шпинделя, будет опускаться или подниматься на определенную высоту, изменяя активную поверхность электродов, что означает либо повысит, либо понизит мощность котла. Диапазон регулирования мощности от 25 до 100% от номинальной мощности котла.

Помимо изменения температуры в нормальном режиме работы возможно изменение, которое вызвано аварийной ситуацией, при этом контроллер может не справиться с выводением температуры до желаемого уровня. В этом случае срабатывает аварийная защита. В качестве защитных устройств используются автоматические выключатели, рубильники, предохранители и т.д. Приборы и оборудование, предназначенные для защиты, работают без промедления. Эта защита гарантирует, что котел останавливается при повышении температуры нагрева воды до  $100^{\circ}\text{C}$ , а также в случае многофазных и однофазных коротких замыканий в линии, питающей котел электрической энергией, превышающей максимальный ток выше номинального напряжения в 5%, асимметрия токов нагрузки превышает 25% от номинального тока.

## **Выводы по главе 1**

По результатам главы 1 для достижения поставленной цели дипломной работы нужно выполнить следующие задачи:

- 1) описать технологические средства автоматизации;
- 2) проанализировать работу системы управления электродвигательной в ручном и автоматическом режимах;
- 3) создать компьютерную динамическую модель системы автоматизации электродвигательной в SimInTech.

## **2 Описание выбранных средств автоматизации электростанции**

### **2.1 Задачи и достоинства АСУ ТП**

Автоматизация - использование инструментов, которые выполняют производственные процессы без участия человека, но под его управлением. Автоматизация процессов увеличивает производство, понижает затраты и улучшает качество продукции, уменьшает количество сотрудников, повышает надежность, улучшает условия труда и безопасность.

Автоматизация позволяет контролировать механизмы без участия человека. В автоматизированном производственном процессе роль человека сводится к настройке, обслуживанию устройств и контролю за их работой. Если автоматизация облегчает физическую работу человека, она также стремится облегчить умственную работу.

Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами является перспективной областью энергосбережения. Объекты автоматизации включают в себя отопление, горячее и холодное водоснабжение, системы вентиляции, а также другие самые разнообразные технологические устройства, которые также используются в научных целях.

Экономический эффект от использования АСУ ТП достигается благодаря точному контролю параметров процесса, учету энергопотребления, контролю технологического оборудования и сокращению времени реагирования персонала на аварийные и предаварийные ситуации.

С помощью каскадного управления АСУ ТП электростанции можно добиться наилучшего соотношения между производительностью и потреблением тепла. Процесс такого управления обеспечивает потребителей количеством тепла, требуемым в данный период, включая требуемое количество котлов. Требуемый температурный режим котельной достигается и экономится большое количество топлива.

Современные АСУ ТП представляют собой системы, состоящие из компонентов разных производителей и способные к качественному и количественному расширению.

Поставленные задачи при решении автоматизации котельной:

- 1) автоматический запуск/остановка котла (-ов) в рабочем режиме, остановка в аварийной ситуации;
- 2) мощность котла регулируется автоматически;
- 3) каскадное управление котельной;
- 4) в случае отказа рабочего котла, включается резервный;
- 5) контроль температуры охлаждающей жидкости;
- 6) восстановление рабочих и тепловых сетей;
- 7) управление насосами;
- 8) защита котлов и технологического оборудования от превышения предельных нагрузок;
- 9) сигнализация для персонала и аварийные сообщения на рабочем месте оператора (АРМ оператора котельной);
- 10) алгоритмы энергосбережения для работы котельной.

Диспетчеризация электрической котельной - это система управления элементами, которая обеспечивает скоординированную работу оборудования и сервисных подразделений, входящих в комплекс водоснабжения. Диспетчерская поддержка котельной позволяет повысить эффективность использования оборудования, создавая условия для значительного снижения финансовых затрат и повышения качества.

Функции диспетчеризации электрочотельной выполняются с помощью автоматического управления:

- 1) обеспечить непрерывную подачу воды в системе потребителям с заданными давлением и температурой;
- 2) повысить надежность системы, обеспечив эффективный контроль рабочих;

- 3) мониторинг и хранение информации о функционировании сети с последующей аналитической и статистической обработкой;
- 4) измерение расхода воды и подготовка графиков работ насосов;
- 5) сокращение времени анализа и принятия решений в каких-либо ситуациях;
- 6) снижение расходов за счет рационального использования энергии;
- 7) управление насосами, обеспечивающим давление в сети при изменении объема;
- 8) снижение потребления энергии без нарушения технологий.

Диспетчерское управление электростанцией осуществляется с помощью пакета программного обеспечения, который позволяет оператору иметь интерактивный доступ к архиву данных о функционировании устройств и возможности управления технологическими устройствами.

С помощью данного управления дежурный персонал имеет возможность запускать и останавливать работу электростанцией, а также переключать и регулировать ее механизмы на расстоянии.

Теплотехнический контроль работы электростанцией и всего оборудования осуществляется с помощью приборов, которые работают автоматически. Устройства осуществляют непрерывный мониторинг процессов. Теплотехнические устройства управления размещены на панелях, щитах управления для максимального удобства мониторинга и обслуживания.

Технологические блокировки выполняют определенное количество операций в определенной последовательности при запуске и остановке механизмов, ну и конечно при срабатывании технологической защиты. Блокировки исключают неправильные операции во время технического обслуживания, обеспечивают отключение оборудования в случае аварии.

Устройства технологической сигнализации информируют дежурный персонал о состоянии оборудования, предупреждают о приближении параметра к опасному значению и сигнализируют о возникновении аварийного состояния



электрокотельной и ее оборудования. Применение звуковой и световой сигнализации.

Работа электрических котлов должна обеспечивать эффективное развитие нужных параметров и безопасных условий труда. Для того, чтобы удовлетворять требованиям, использование должно проводиться в соответствии с законами, правилами и стандартами Госгортехнадзора.

Для каждой электрокотельной должны быть составлены должностные и технологические инструкции по обслуживанию оборудованию, ремонту, мерам безопасности, предотвращению и устранению аварий и т.д. Технические паспорта на трубопроводное оборудование, исполнительные, эксплуатационные и технологические планы должны создаваться для различных целей. Знание инструкций, режимных карт работы котла и указанных материалов обязательно для персонала.

Ведется оперативный журнал, в котором записываются инструкции руководителя и записи дежурного персонала о работе оборудования, а также ведется ремонтная книга, в которой записывается информация о любых найденных дефектах и мерах по их устранению.

Первичные отчеты должны состоять из работы блоков и регистраторов, в то время как вторичные отчеты включают общие данные о котле за определенный период времени. У каждого котла должен быть присвоен свой номер.

## **2.2 Обоснование выбора средств автоматизации**

Для получения достоверной, количественной, а главное качественной информации о параметрах технологического процесса необходимо выбрать соответствующий метод и средства измерения.

Инструменты автоматизации должны быть технически грамотно подобраны и экономически целесообразны. Конкретный тип автоматического устройства выбирается по характеристикам объекта управления и принятой

системой управления. Кроме того, предпочтение следует отдавать устройствам того же типа, централизованным и коммерчески доступным. Снабжение и эксплуатация станут намного проще. Так как процесс нагрева воды не имеет ничего общего с категорией пожарных и взрывоопасных, для автоматизации используют электрические устройства. Они точнее и быстрее, чем пневматические. Источник энергии электрической автоматизации проще и надежнее. Также нет ограничений на расстояние между усилителем и приводом. Электрическое управление облегчает суммирование различных импульсов.

Объектом автоматизации системы управления выступает электростанция «Левобережная».

### **2.2.1 Преобразователь частоты HYUNDAI N700E-004HF**

Для реализации автоматизации мы установим преобразователи частоты HYUNDAI N700E-004HF (рисунок 2.1) на каждый насос, а также датчики давления и температуры. Работа сетевых насосов заключается в следующем: холодная вода поступает на сетевые насосы электростанции, насосы перекачивают воду в группу электрических котлов. Вода нагревается до 130 °С, а затем идет дальше для нужд отопления и водоснабжения.

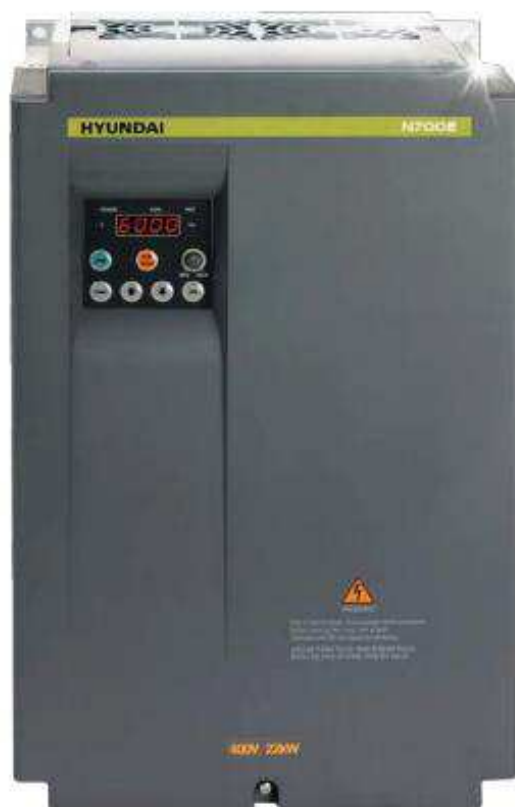


Рисунок 2.1 – Преобразователь частоты HYUNDAI N700E-004HF

Поддержание постоянного давления с переменным расходом в электростанции осуществляется сетевыми насосами и насосами подпитки, которые снабжают систему недостающей водой. Информацию о текущем значении давления в части давления подачи воды поступает с датчика давления, расположенный на выходе из электростанции. Система управления сетевым насосом работает автоматически и вручную. Переключение режимов производится с панели управления.

В автоматическом режиме регулирование давления осуществляется системой управления, состоящей из контроллера, модуля ввода-вывода. Текущее значение давления в напорной части подачи воды происходит от датчика давления. В зависимости от полученного значения давления контроллер дает задание на преобразователь частоты HYUNDAI N700E-004HF и подключает его к насосу № 1 или насосу № 2. Могут работать как два насоса, так и один, а другой быть в режиме ожидания. Контроллер управляет всей электроавтоматикой,

устанавливает параметры производительности насоса на преобразователь частоты, необходимую мощность сетевого насоса.

Ручной режим необходим только для работы, когда автоматическая работа системы управления невозможна и является аварийным [13].

### 2.2.2 Датчик давления Rosemount 3051C

В качестве датчика давления мы выбираем Rosemount 3051C (рисунок 2.2). Датчик с сенсорным модулем на основе емкостной ячейки для измерения перепада давления, избыточного и абсолютного давления с верхними пределами измерения от 0,025 до 27580 кПа.



Рисунок 2.2 – Датчик давления Rosemount 3051 исполнения Coplanar™.

Параметры датчика:

- точность: +/- 0.075%;

- перепад давления: тарировка inH<sub>2</sub>O 0.5 - 2000 psi;
- давление: тарировка inH<sub>2</sub>O 0.5 - 2000 psi;
- абсолютное давление: ряд тарировки 0.167 - 4000 psia [14].

### **2.2.3 Датчик температуры ТП101 – К**

Принцип измерения температуры для датчиков ТП101 - К (рисунок 2.3) основан на зависимости сопротивления платинового чувствительного элемента ТП100, расположенного в измерительном зонде датчика, от температуры воды, в которую погружен измерительный зонд. Конструктивно датчики ТП101 - К состоят из герметичного измерительного зонда и 2-проводного кабеля стандартной длины 5 метров. В измерительном зонде из нержавеющей стали помещены платиновый термочувствительный элемент ТП100 и плата для преобразования информации о температуре воды в стандартный выходной сигнал в виде тока (4 - 20 мА). Кабель датчика ТП101 - К герметизирован на одной стороне с помощью зонда, а с другой стороны, имеет два открытых проводника, вмонтированных в концы штырей. Результаты измерений температуры могут быть переданы на любое приемное устройство, которое работает с аналоговым типом сигнала, включая регистраторы данных, контроллеры и шкафы управления, персональные компьютеры и внешние мониторы, оснащенные аналого-цифровым преобразователем. Линия связи датчика-регистратора до 500 метров. Датчики ТП101 - К используются для длительного погружения и обеспечивают степень защиты IP54.



Рисунок 2.3 - Датчик температуры ТП101 – К

Технические параметры:

- показатель тепловой инерции - 90с;
- максимальная скорость нагрева – 80 °С/мин;
- степень защиты – IP54;
- длина кабельного вывода – 0.5-1м;
- допустимая температура на узлах датчика – от -40 до +200 °С [15].

#### **2.2.4 Контроллер Simatic S7-300**

Программируемые контроллеры Simatic S7-300, предназначенные для построения систем автоматизации низкой и средней сложности. Используются для автоматизации сетевых насосов (рисунок 2.4), каждый из которых запрограммирован для своих целей.



Рисунок 2.4 – Контроллер Simatic S7-300

Преимущества контроллера:

- модульная конструкция, легкий монтаж модулей благодаря профильной шине (рельсе);
- охлаждение;
- распределенный и локальный ввод/вывод;
- коммуникации по сетям MPI, Profibus Industrial Ethernet/PROFINet, AS-i, VACnet, MODBUS TCP;
- поддержка на уровне ОС для функций реального времени;
- поддержка операционной системы для обработки аппаратных и программных ошибок;
- поддержка на уровне ОС для аппаратных прерываний;
- бесплатное наращивание потенциала с модернизацией системы;
- использование распределенных структур ввода/вывода и простой интеграции в различные типы сетей [16].

## 2.2.5 Операторская панель OP77A

Панель управления OP77A (рисунок 2.5) может использоваться для управления и контроля работы машин и установок в различных областях промышленного производства и систем автоматизации зданий.

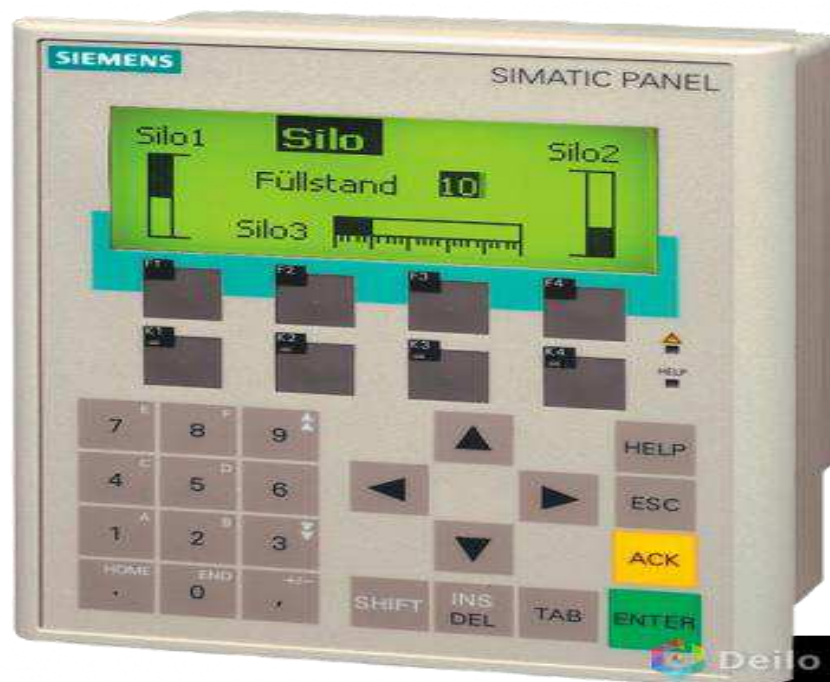


Рисунок 2.5 – Панель оператора OP77A

Особенности:

- высококонтрастный дисплей с хорошо читаемой информацией;
- большие клавиши для удобного управления;
- простота настройки и обслуживания;
- работа без резервного аккумулятора, длительный срок службы встроенного дисплея;
- наличие библиотеки с большим набором графических объектов [17].

## 2.2.6 Модульная станция ET 200S (ET 200M) ввода – вывода для систем на основе PROFIBUS

Станция ET 200S (рисунок 2.6) используется для настройки распределенных систем ввода/вывода на основе сетей PROFIBUS DP или



PROFINET IO. Она предназначена для работы в распределенных системах ввода/вывода программируемых контроллеров SIMATIC S7/WinAC, но может использоваться в сочетании с контроллерами других производителей, которые поддерживают функции ведущего устройства DP или контроллера PROFINET IO. У станции имеется степень защиты IP 20.

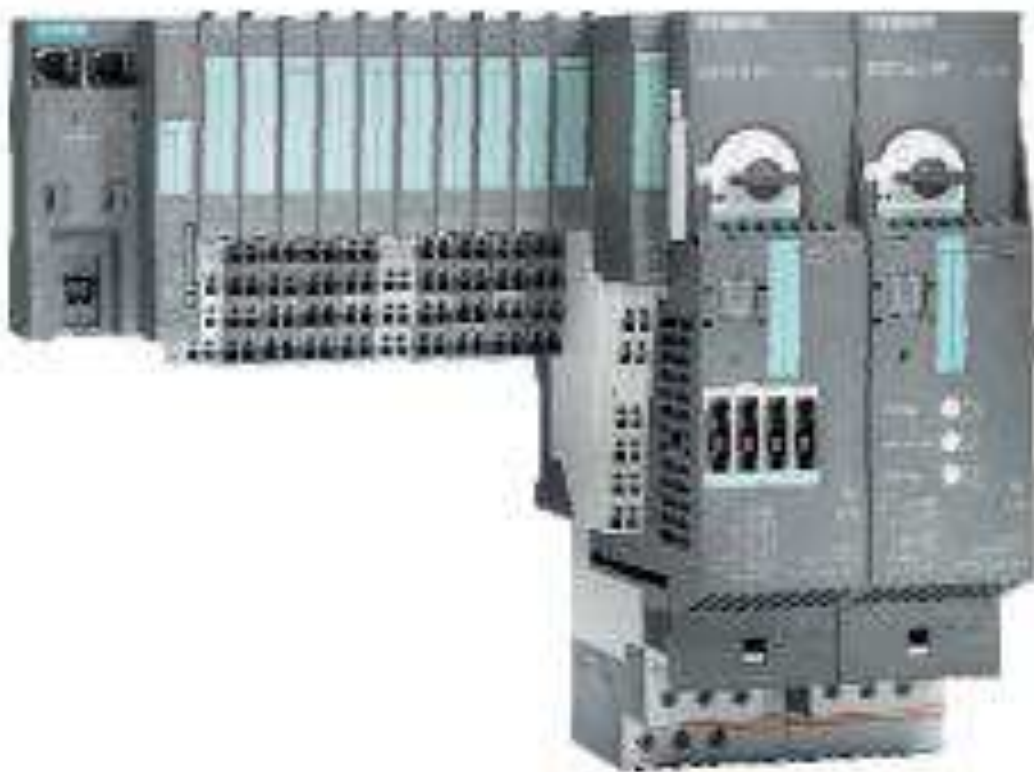


Рисунок 2.6 – Модульная станция ET 200S

Преимущества станции:

- 1) система распределенного ввода-вывода со степенью защиты IP 20;
- 2) наличие обычных и интеллектуальных интерфейсных модулей со встроенными центральными процессорами для подключения станции к сетям PROFIBUS DP и PROFINET IO;
- 3) применение в системах распределенного ввода/вывода стандартного назначения, а также систем противоаварийной защиты и обеспечения безопасности;

- 4) предварительная обработка информации на уровне станции с использованием интеллектуальных интерфейсных модулей, снижение нагрузки на сеть;
- 5) широкий спектр электронных, технологических и силовых модулей;
- 6) гибкие возможности адаптации аппаратуры к требованиям решаемых задач;
- 7) мощные диагностические возможности, быстрое устранение неисправностей, сокращение времени простоя промышленных машин и установок;
- 8) “горячая” замена модулей при работе станции под управлением программируемого контроллера S7-400/S7-1500 [18].

### **2.3 Регулирование электрокотлов, работающих по закрытой схеме**

Технологическая схема системы теплоснабжения такая же, как и открытая, только система подпитки предназначена для восполнения небольших утечек воды, т. е. у баков подпиточной воды намного меньший объем или баки совсем отсутствуют (в системах теплоснабжения малой мощности). Для горячего водоснабжения в котельных малой мощности устанавливают подогреватели воды для ГВС.

Упрощенная схема закрытой зависимой системы теплоснабжения изображена на рисунке 2.7.

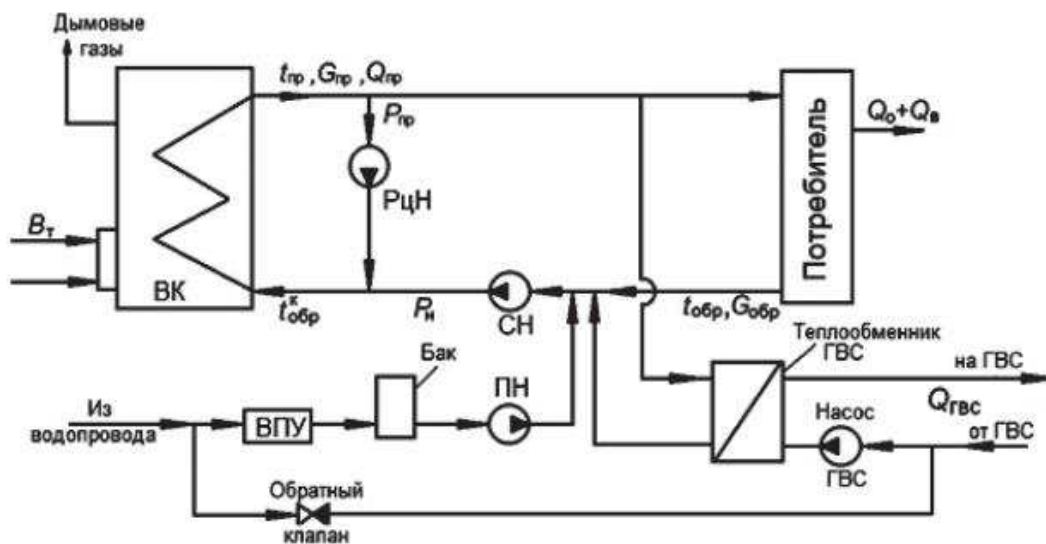


Рисунок 2.7 – Упрощенная технологическая схема закрытой системы теплоснабжения

Силовая схема управления остается релейно-контакторной, а управляющие цепи и алгоритмы реализуются с помощью контроллеров.

Электрический котел должен обеспечивать тепловую нагрузку, определяемую разницей температур между прямой  $t_{гр}$  и обратной водой перед котлом  $t_{обр}$  с потоком прямой воды  $G_{гр}$ . Из-за этого котел должен оборудоваться регуляторами температур: температура прямой воды и температура обратной воды. Регулирование подпитки должно гарантировать, что небольшие потери воды в системе пополняются в системе подготовленной водой (через ВПУ) включением подпиточного насоса и системы горячего водоснабжения (с помощью обратного клапана, который открывается при падении давления воды в системе ГВС).

Структурная схема отображает основные функциональные части оборудования, их назначение и взаимосвязи между ними.

На рисунке 2.8 приведена структурная схема автоматизации системы электродельной с аккумуляцией теплоты для теплоснабжения, в которой указаны все датчики, исполнительные механизмы, используемые для регулирования параметров процесса. Данная схема позволяет легко выяснить, какие модули необходимо использовать в контроллере.

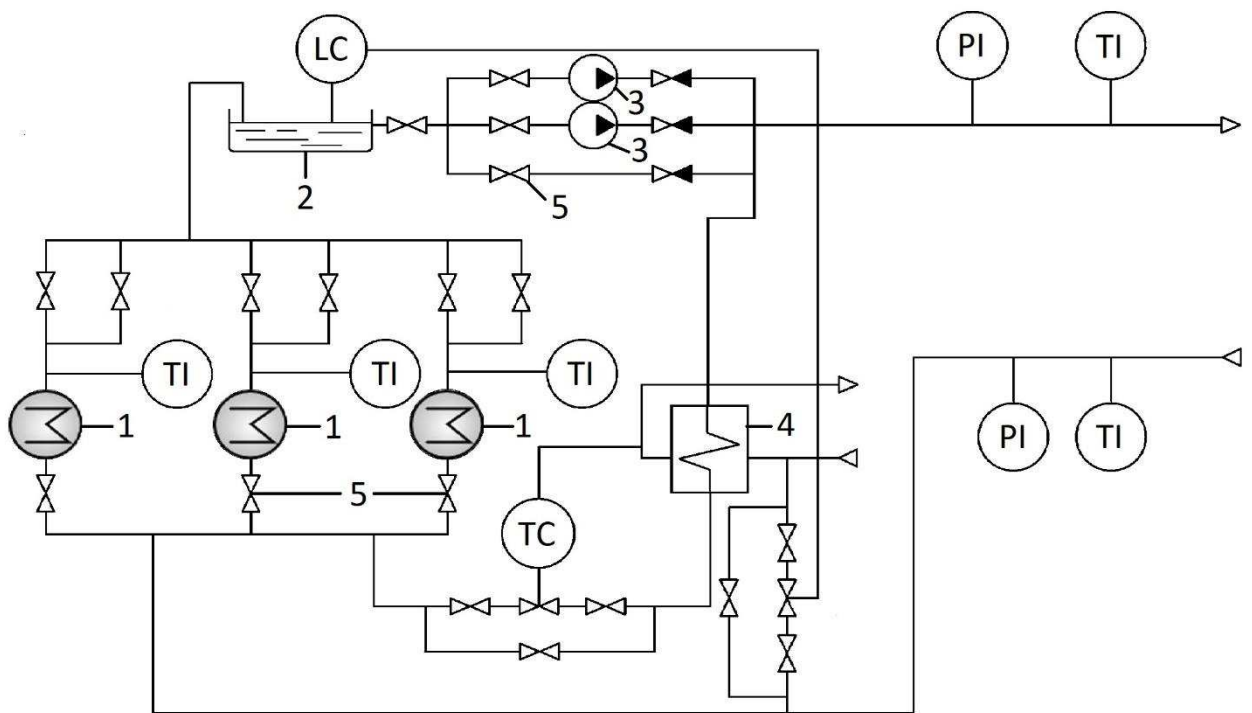


Рисунок 2.8 – Схема автоматизации электрочувствительной

Вода, нагретая в электрочувствительных котлах, поступает в бак-аккумулятор, откуда она подается сетевыми насосами в линию подачи тепловой сети. Часть этой воды поступает в теплообменник для нагрева чистой водопроводной воды, которая поступает в ГВС. Температура нагрева поддерживается контроллером ТС, который контролирует расход нагреваемой воды через теплообменник.

Тепловая сеть снабжается водопроводной водой посредством регулятора LC, который поддерживает уровень воды в баке-аккумуляторе.

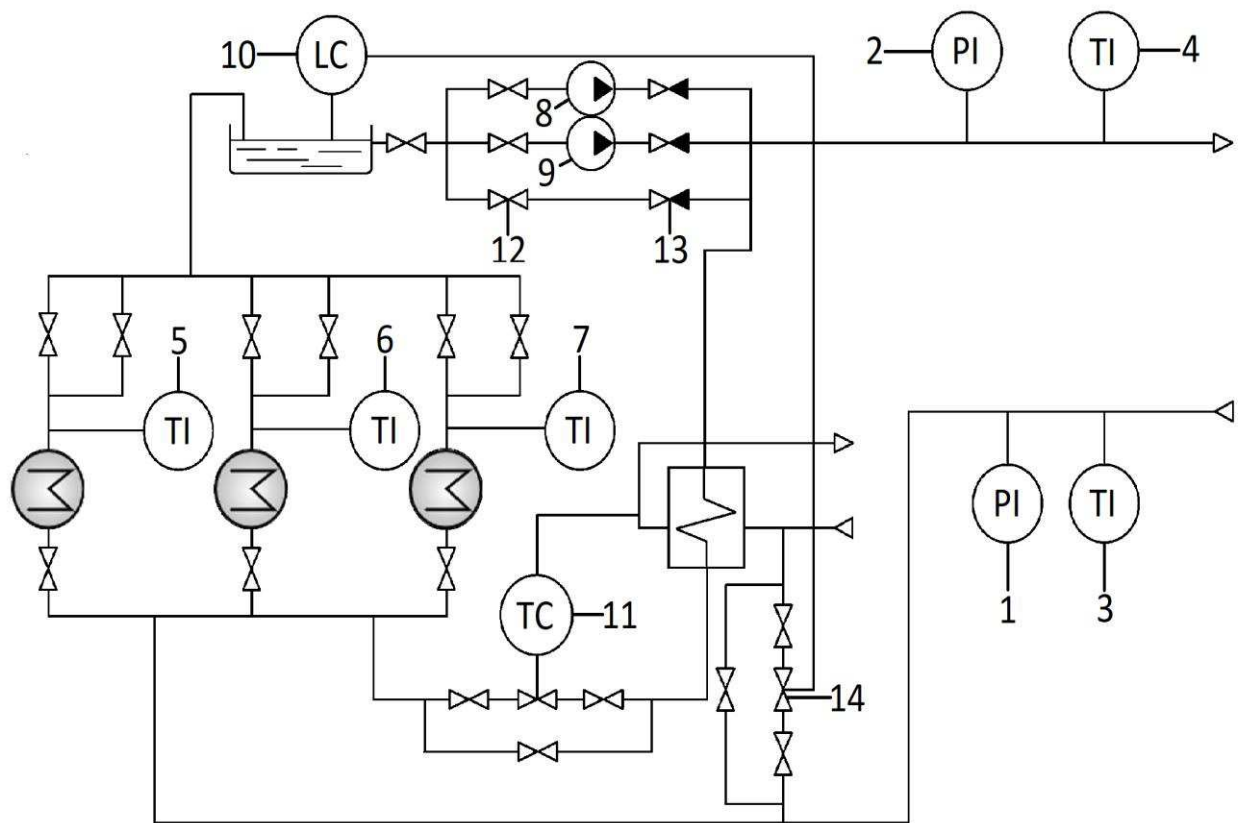
Программное реле выполняет работу в соответствии с графиком, что исключает включение котлов в часы пиковой нагрузки. Когда температура воды в отопительной сети понижается до слишком низкого уровня, при котором возможно замерзание теплопроводов, котлы автоматически начинают свою работу.

Блокирующие устройства вводятся в цепь переключения котла, чтобы исключить работу котлов, когда происходит прерывание водного цикла (отключение сетевых насосов) и автоматически запускает резервный насос вместо остановленных.

В схему автоматизации электростанции входят:

- 1) электростанции;
- 2) бак-аккумулятор;
- 3) насосы;
- 4) водяной теплообменник системы горячего водоснабжения;
- 5) регулирующие клапаны;

Функциональная схема электростанции, представленная на рисунке 2.9, является главным техническим документом, определяющим структуру и характер АСУ ТП проектируемого объекта. Функциональная схема представляет собой технологическое оборудование, коммуникации, устройства управления, приборы и средства автоматизации, а также связи между ними.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	<i>Давление на входе</i>							<i>Управление ПЧ насоса 1</i>							<i>Клапан с электроприводом</i>	
	<i>Давление на выходе</i>							<i>Управление ПЧ насоса 2</i>							<i>Обратный клапан с электроприводом</i>	
	<i>Температура на входе</i>							<i>Управление подпиточного насоса</i>							<i>Клапан с электроприводом на перемычке</i>	
	<i>Температура на выходе</i>							<i>Температура нагрева</i>								
	<i>Температура на выходе с электрокотла</i>															
	<i>Температура на выходе с электрокотла</i>															
	<i>Температура на выходе с электрокотла</i>															
<i>По месту</i>								H	UZ	H	UZ	H	UZ	UZ	UZ	UZ
<i>В щите</i>								NS	H	NS	H	NS	H			
<i>ПЛК</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>ПК</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Рисунок 2.9 – Функциональная схема автоматизации электроротельной

Таблица 2.1 – Приборы по месту

Позиция	Наименование	Количество
1,2	Датчик давления Rosemount 3051C	2
3 - 7	Датчик температуры ТП101 – К	5
8,9,12-14	Операторская панель ОР77А	1
10	Преобразователь частоты HYUNDAI N700E-004HF	1

#### 2.4 Параметры контроля и регулирования

Перечень параметров определяется технической необходимостью контролировать или регулировать определенные величины, так или иначе влияющие на технологический процесс, представлен в таблицах 2.2, 2.3, 2.4.

Таблица 2.2 – Параметры контроля

№	Название	Значение
1	Давление воды на входе трубопровода отопления	До 1.6 Мпа
2	Давление воды на выходе трубопровода отопления	До 1.6 Мпа
3	Давление воды на входе трубопровода ГВС	До 1.6 Мпа
4	Давление воды на выходе трубопровода ГВС	До 1.6 Мпа
5	Температура воды на входе трубопровода отопления	0 – 180 °С
6	Температура воды на выходе трубопровода отопления	0 – 180 °С
7	Температура воды на входе трубопровода ГВС	0 – 180 °С
8	Температура воды на выходе трубопровода ГВС	0 – 180 °С

Таблица 2.3 – Параметры регулирования

№	Название	Назначение
1	Электродвигатель насоса	Поддержание давления в системе теплоснабжения
2	Задвижка на подающий трубопроводе	Подача воды по подающему трубопроводу

Продолжение таблицы 2.3

3	Задвижка на обратном трубопроводе	Подача воды по обратному трубопроводу
4	Задвижка на перемычке	Подача воды из обратного трубопровода в подающий

Таблица 2.4 – Параметры сигнализации

№	Название	Значение
1	Давление на входе подающего трубопровода	менее 0.5 МПа или более 1.2 Мпа
2	Давление на выходе подающего трубопровода	менее 0.5 МПа или более 1.2 МПа
3	Давление на входе обратного трубопровода	менее 0.4 МПа или более 1.2 Мпа
4	Давление на выходе обратного трубопровода	менее 0.4 МПа или более 1.2 МПа
5	Температура на входе подающего трубопровода	менее 65°С или более 100°С
6	Температура на выходе подающего трубопровода	менее 65°С или более 100°С
7	Температура на входе обратного трубопровода	менее 40°С или более 100°С
8	Температура на выходе обратного трубопровода	менее 40°С или более 100°С

### Выводы по главе 2

Построена структурная схема и представлена функциональная схема автоматизации системы управления электродотельной. Описаны технические средства автоматизации, выбранные при модернизации электродотельной,



включающие в себя главным образом: предохранительные, регулирующие клапана и контрольно-измерительные приборы.

### 3 Моделирование процесса электроротельной

#### 3.1 Теплогидравлический расчет

Первоначальные условия по тепловым нагрузкам теплопотребляющих систем зданий:

- Отопительный период – 5616 ч;
- Расчетная температура наружного воздуха для системы отопления,  $-37$  °С;
- Средняя температура за отопительный период,  $-6,7$  °С.

Расчет расходов сетевой воды производился при температурном режиме  $65 - 100$  °С с ограничением температуры теплоносителя в трубопроводе до  $100$  °С. Среднечасовые расходы тепла и теплоносителя на водоснабжение для систем теплоснабжения рассчитывались по СП 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий» [35].

Потери тепла трубопроводами системы теплоснабжения вычисляют по формуле

$$Q^{ht} = \sum Q_i^{ht}, \quad (3.1)$$

$$Q_i^{ht} = k * dT * l = k * (T_{cp} - T_{нар}) * l, \quad (3.2)$$

где,  $Q_i^{ht}$  - теплопотери отдельных участков теплоснабжения, Вт;

$k$  – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м°С);

$dT$  - температурный напор, °С;

$T_{cp}$  – средняя температура воды в трубопроводе, °С;

$T_{нар}$  – температура окружающего воздуха, °С;

$l$  - длина участка трубопровода, м.

Расчет потерь температуры в трубопроводах системы теплосети определяется по формуле:

$$T_3 = \frac{3,6 * Q_{уч} * T_2 - Q_i^{ht} * (1/1,163)}{3,6 * Q_{уч}}, \quad (3.3)$$

где,  $Q_{\text{уч}}$  - расчетный расход воды на участке трубопровода, л/с;

$Q_i^{ht}$  - теплотери участка трубопровода с учетом изоляции, Вт;

$T_2$  - начальная температура теплоносителя, °С;

(1/1,163) – коэффициент перевода. 1 ккал/ч = 1,163 Вт.

Результаты вычислений по формуле (3.3) показаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Потери температуры теплоносителя в трубопроводах

Температура на выходе трубопровода, $T_2$ °С	Температура на входе трубопровода, $T_3$ °С	Температура наружного воздуха, $T_{\text{нар}}$ °С
75	50	0
85	60	0
75	48,5	-10
85	58,5	-10
75	40,15	-20
85	50,25	-20

При движении воды по трубе, возникает сопротивление от трения об стенки и различные преграды. Это явление получило название гидравлическое сопротивление трубопровода. Его численное значение находится в прямой пропорциональной зависимости от скорости потока.

Расчёт потери давления на участке трубопровода известной длины выполняется следующим образом:

$$\Delta p = RL(1 + K_m), \quad (3.4)$$

где,  $\Delta p$  – потеря давления в метрах водяного столба. Такая характеристика применима ввиду того, что изменяется давление воды в её потоке;

$R$  – удельные потери давления на 1 м длины трубопровода, Па/м;

$L$  – длина трубопровода в метрах, м;

$K$  – коэффициент дополнительных сопротивлений по (СНиП II-34–76) [36].

В таблице 3.2 представлены значения давлений в трубопроводе разница между которыми соответствует величине вычисленной по формуле (3.4).

Таблица 3.2 – Сравнение значений давления теплоносителя в трубопроводе

Давление на выходе трубопровода $P_2$ , МПа	Давление на входе трубопровода $P_3$ , МПа
1,2	1
1	0,8
0,95	0,75
0,85	0,65
0,7	0,5
0,6	0,4

Сравнение значений давления теплоносителя в трубопроводе показало, что потери давления составляют 0,2 МПа.

### 3.2 Компьютерная модель с применением программы SimInTech

При разработке математических компьютерных моделей используется специальное ПО для упрощения и автоматизации разработки модели. Это достигается с помощью принципа визуального программирования, при котором пользователь создает модель устройства из стандартной библиотеки блоков и выполняет расчеты. В то же время, в отличие от классических методов моделирования, пользователю не нужно подробно изучать язык программирования, хватит и общих знаний, требуемых при работе на компьютере, и знание предметной области в который он работает. Существует большое разнообразие прикладных программ, позволяющих реализовать принцип визуального программирования при разработке компьютерных математических моделей:

- Simulink;
- ПК MBTU;
- SimInTech.

Для моделирования была выбрана программа SimInTech, так как она обладает более мощными возможностями и является бесплатной.

SimInTech - система автоматизации расчетов для моделирования явлений и различных процессов в сложных технических системах. Объектом моделирования в SimInTech может выступать любая система, устройство или процесс, математическая модель, динамика которой описывается системой дифференциально-алгебраических уравнений и реализуется методами структурного моделирования.

SimInTech реализует принцип модельно-ориентированного проектирования, который сочетает проектирование технологических систем с созданием сложных моделей. По мере развития проектирования появляется возможность уточнить и интегрировать отдельные части модели для более детального соответствия [7].

### **3.3 Моделирование работы**

Для перехода в рабочий режим система должна выполнить алгоритм работы котельной. После чего осуществляется контроль основных параметров, обеспечивающих рабочий режим: давление и температура воды в сети.

Основное назначение и функциональность автоматизированной системы:

- 1) процесс нагрева воды и ее подача в сеть;
- 2) выполнение алгоритма и переход системы в рабочий режим;
- 3) контроль основных параметров для поддержания системы в работоспособном состоянии.

На рисунке 3.1 представлен алгоритм работы компьютерной модели автоматизированной работы электрокотельной. При запуске системы в первую очередь происходит процесс нагрева воды. После нагрева происходит подача воды в сеть. Далее по обратному трубопроводу она возвращается к насосам и снова поступает в котлы. Во время анализа горячей воды подпиточный насос

перекачивает то количество воды, которого не хватает в системе. Статическое давление всасывания насосов поддерживается регулятором давления.

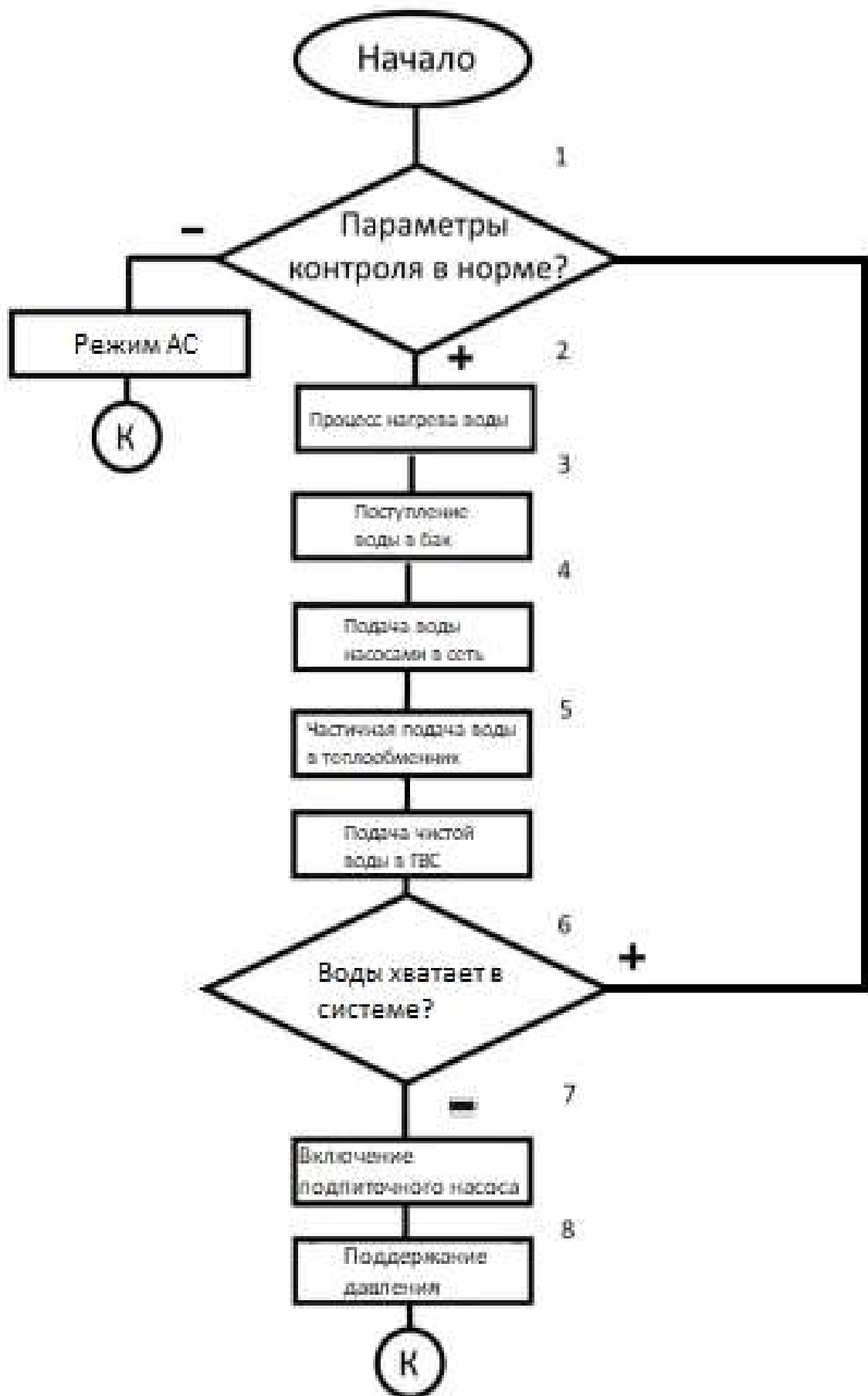


Рисунок 3.1 – Алгоритм работы, автоматизированной электростанции

Общий вид компьютерной модели представлен на рисунке 3.2. На нем изображены электродоты, бак-аккумулятор, теплообменник, задвижки, трубопроводы и насосы.

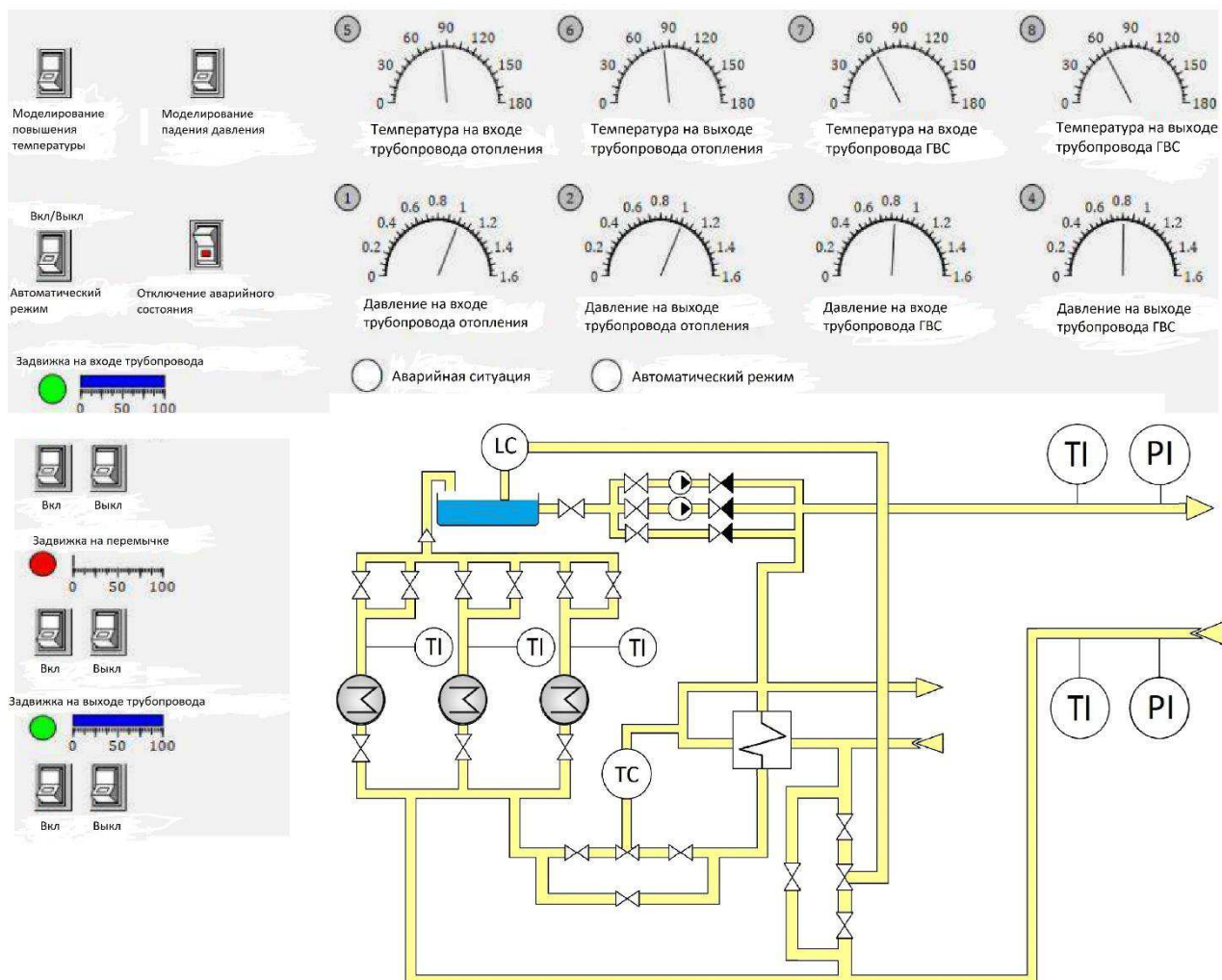


Рисунок 3.2 – Общий вид компьютерной модели

Условные обозначения датчиков на панели оператора:

- 1) датчик давления воды на входе трубопровода отопления;
- 2) датчик давления воды на выходе трубопровода отопления;
- 3) датчик давления воды на входе трубопровода ГВС;
- 4) датчик давления воды на выходе трубопровода ГВС;
- 5) датчик температуры воды на входе трубопровода отопления;
- 6) датчик температуры воды на выходе трубопровода отопления;
- 7) датчик температуры воды на входе трубопровода ГВС;
- 8) датчик температуры воды на выходе трубопровода ГВС;



На рисунке 3.3 представлена теплогидравлическая схема электрочелювальной, выполненная в программе SimInTech.

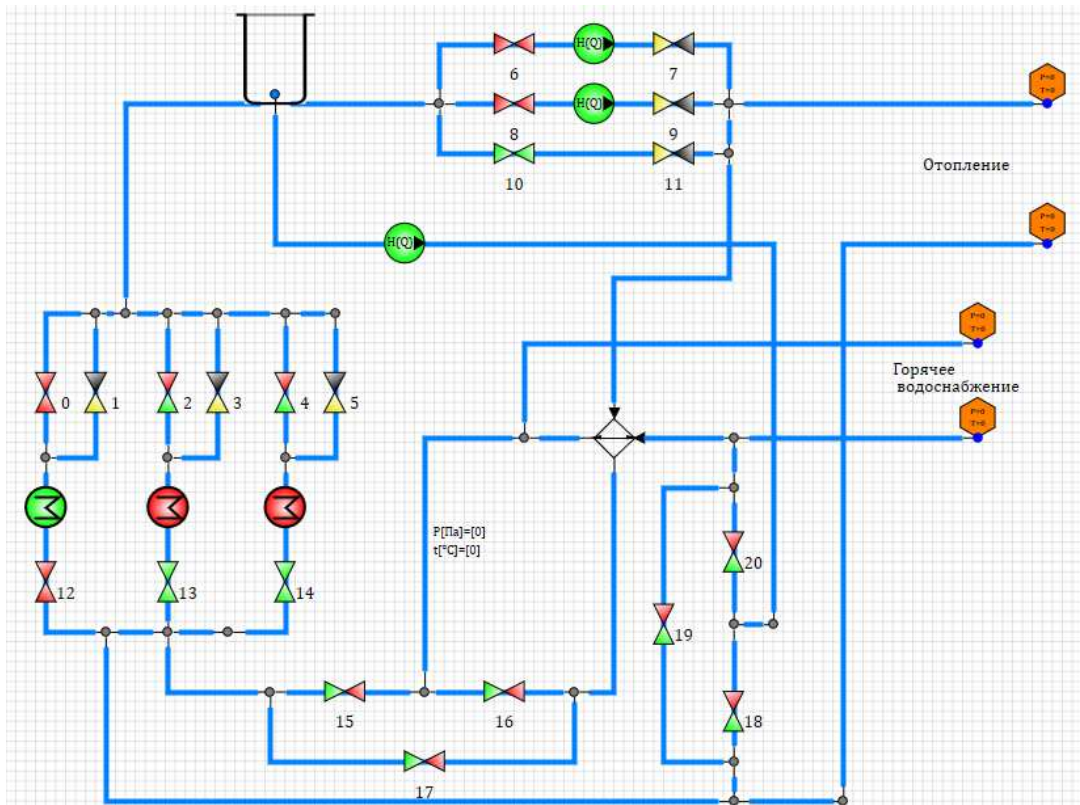


Рисунок 3.3 – Теплогидравлическая схема электрочелювальной

Ниже представлены временные графики изменения давления и температуры воды в трубопроводе (рисунок 3.4, 3.5) с момента открытия задвижки.

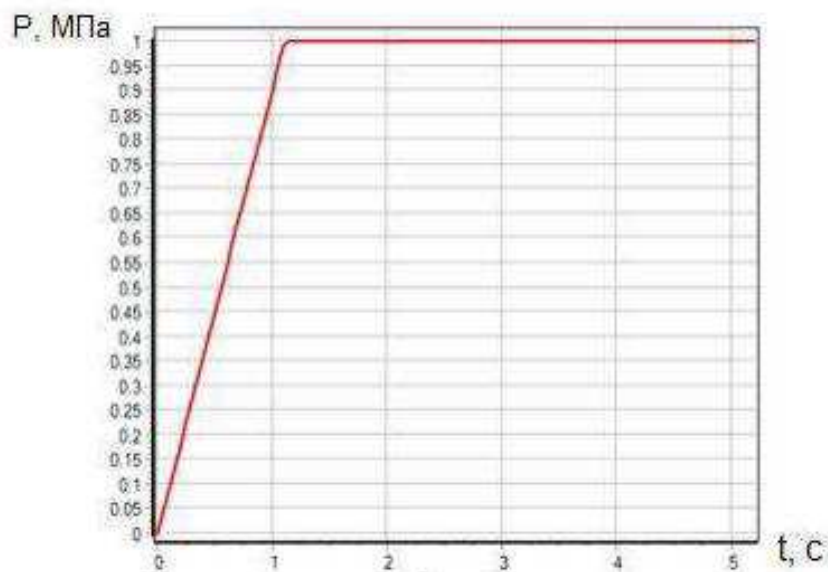


Рисунок 3.4 - Временной график давления в трубопроводе

T, °C

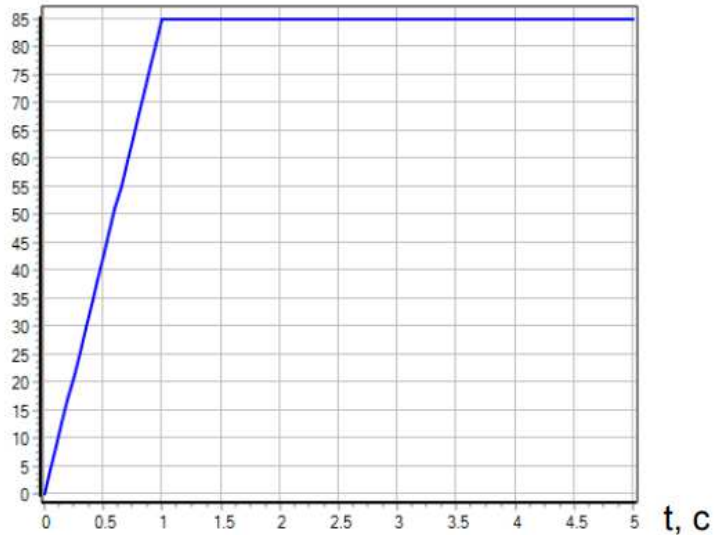


Рисунок 3.5 – Временной график температуры в трубопроводе

Система управления насосом позволяет поддерживать необходимое давление в системе. Временная шкала изменения давления воды представлена на рисунке 3.6.

P, МПа

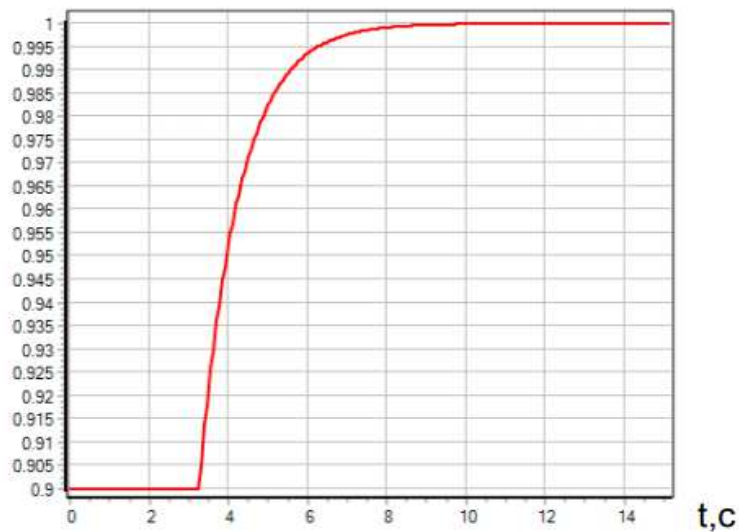


Рисунок 3.6 - Временной график давления в трубопроводе

Алгоритм управления позволит вам регулировать положение задвижек, чтобы обеспечить требуемую температуру в подающей трубе. На рисунке 3.7 показана хронология изменения температуры теплоносителя в подающей трубе после открытия задвижки.

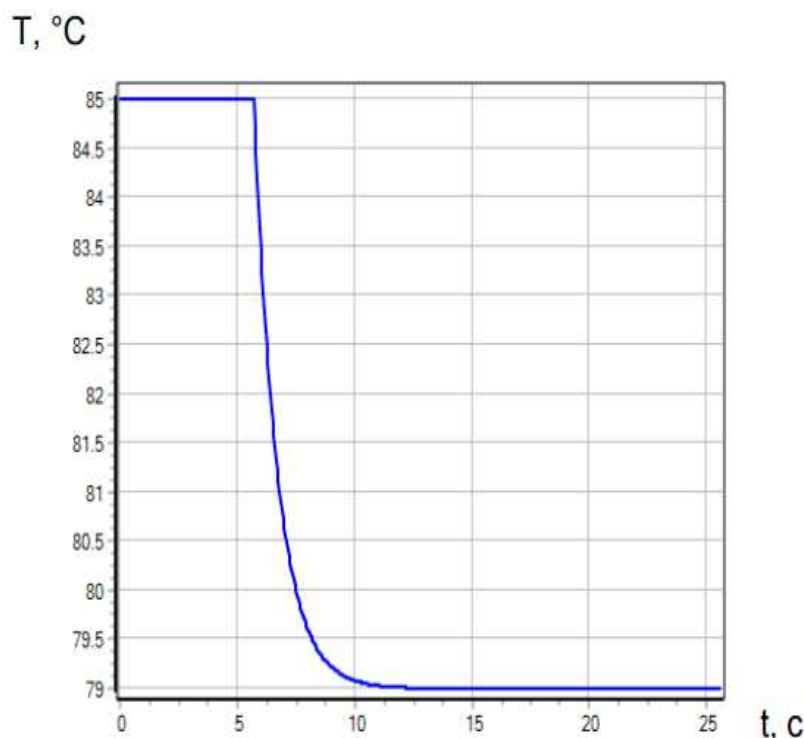


Рисунок 3.7 - Временной график температуры в трубопроводе

Чтобы обеспечить потребителей необходимым теплом на выходе подающего трубопровода, должно поддерживаться давление 1 МПа и температура 65 - 100 ° C.

С изменением наружной температуры соответственно изменяется и потребление тепла, что приводит к необходимости контролировать давление и температуру воды в системе. Получив этот сигнал от датчиков на входе обратного трубопровода, система автоматического управления изменит положение задвижек на перемычке, подающем и обратном трубопроводе, а также отправит сигнал преобразователям частоты для достижения требуемых значений.

На основании построенной модели проведем верификацию численных значений расчетных параметров, находящихся в допустимых пределах, обеспечивающих работоспособность электродвигательной. Результаты численного эксперимента по определению влияния изменения давления в подающем трубопроводе на давление в обратном трубопроводе при температуре на выходе подающего трубопровода 85 °C показаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Численные эксперименты при рабочем режиме

Давление на выходе трубопровода $P_2$ , МПа	Давление на входе трубопровода $P_3$ , МПа
1,2	1,02
1	0,82
0,95	0,77
0,85	0,67
0,7	0,52
0,6	0,42

Расчетные значения соответствуют установленной зависимости между давлением на выходе и входе трубопроводов.

Расчетные значения, вычисленные по формуле (3.3) соответствуют значениям полученным из модели, в пределах допустимой погрешности.

Таблица 3.4 – Численные эксперименты при рабочем режиме

Температура на выходе трубопровода, $T_2$ °С	Температура на входе трубопровода, $T_3$ °С	Температура наружного воздуха, $T_{нар}$ °С
75	50,54	0
85	60,57	0
95	70,6	0
75	48,7	-10
85	58,6	-10
95	68,7	-10
75	40,2	-20
85	50,1	-20
95	60,15	-20

Численные эксперименты соответствуют установленным зависимостям перепадов температуры и давления на выходе и входе трубопроводов,

полученным при теплогидравлическом расчете, что подтверждает точность работы модели.

### 3.2.1 Моделирование аварийной ситуации

При моделировании аварийной ситуации рассмотрим падение температуры в трубопроводе до критически малого.

Когда температура падает ниже допустимого значения  $65^{\circ}\text{C}$ , система переходит в аварийный режим (рисунок 3.8).

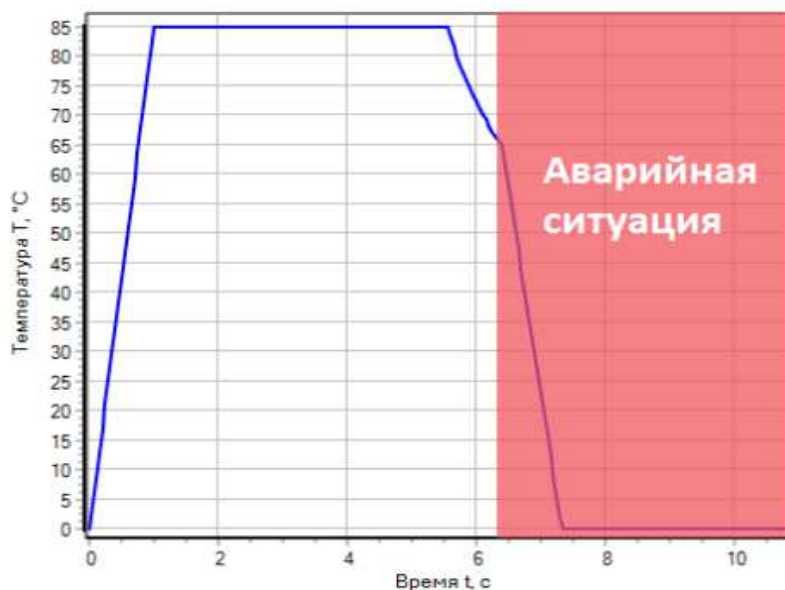


Рисунок 3.8 – Временной график изменения температуры при аварийной ситуации

Последовательность действий при падении температуры в подающем трубопроводе:

- 1) загорается индикатор аварийной ситуации;
- 2) перекрываются задвижки на трубопроводах;
- 3) прекращается работа насосов;
- 4) система переходит в ручной режим управления, до тех пор, пока аварийная ситуация не будет устранена.

### Выводы по главе 3

Построенные алгоритмы работы автоматизированного управления электродельной помогли создать компьютерную динамическую модель,

благодаря которой было выполнено моделирование системы управления электростанцией в автоматическом режиме и элементы системы, предотвращающие аварию при выходе за граничные условия температуры и давления воды. При появлении угрозы аварийной ситуации система сигнализирует и производит автоматическую остановку насосов и закрытие клапанов, что актуально, ведь реакция персонала может быть недостаточно быстрой для предотвращения аварии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был проведен обзор существующих типов электрокотельных и проанализированы различия в функциональном назначении. Подробно рассмотрены технологические принципы работы электрокотельных. Создана структурная схема для автоматизации системы управления электрокотельной «Левобережная». Для исследования автоматизированного управления электрокотельной были проанализированы выбранные технологические средства автоматизации.

Результатом дипломной работы является создание структурной схемы для автоматизации системы управления электрокотельной «Левобережная», описание алгоритма автоматического управления электрической котельной, на основе которого в программе SimInTech была создана компьютерно-динамическая модель, с помощью которой влияние различных значений температуры и давления на работу системы может быть определена. Компьютерная модель схемы теплоснабжения представляет собой графический и аналитический инструмент, который позволяет оперативно выполнять поставленные задачи.

Работа системы в автоматическом режиме моделировалась в рабочих диапазонах технологических параметров давления от 0.5 МПа до 1.2 МПа и температуры в пределах от 65 до 100 °С, а также смоделирована аварийная ситуация. Аварийные ситуации возникают из-за изменений температуры или давления, нарушения целостности теплосети, в результате чего происходит потеря теплоносителя в трубопроводе.

Построенная компьютерная модель позволяет изучать поведение системы в целом, дать рекомендации по допустимым диапазонам технологических параметров и режимах работы.

Автоматизация позволяет контролировать и регулировать основные параметры процесса, обеспечивая тем самым безопасность работ и избегая ошибок оперативного персонала.

## **Список сокращений**

ШУН – шкаф управления насосами

ТЭН – трубчатый электронагреватель

ГВС – горячее водоснабжение

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль

ВПУ – водоподготовительная установка

КПД – коэффициент полезного действия

АРМ – автоматизированное рабочее место

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

ОС – операционная система

ПО – программное обеспечение

ИБП – источник бесперебойного питания

график ППР – график планово-предупредительного ремонта

АС – аварийная ситуация



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Клюев, А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Клюев. – Москва: Высшая школа, 2008. – 351с.
- 2 Справочная система ГазСинтез [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sargs.ru/>
- 3 Фарзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы / Н.Г. Франзе. - Москва: Высшая школа, 2010. – 456 с.
- 4 Справочник проектировщика. «Проектирование тепловых сетей» / под ред. инж. А. А. Николаева. – Москва: Стройиздат, 1965. – 359 с.
- 5 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник 7-е изд. стереот. / Е. Я. Соколов. – Москва: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
- 6 Попович, Н.Г. Автоматизация производственных процессов и установок / Н.Г. Попович, А.В. Ковальчук, Е.П. Красовский. – Киев: Головное изд-во, 1986. – 311с.
- 7 Хапов, П.В. Технологическое оборудование автоматизированных производств: лабораторный практикум / П.В. Хапов, В.Д. Щепин. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012 – 125 с.
- 8 СТО 4.2-07-2014. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2-07-2012; Дата введения 9.01.2014. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.
- 9 ГОСТ 2.701-84. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Москва: – 21 с.
- 10 Карташов, Б.А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech / Б.А. Карташов, О.С. Козлов, Е.А. Шабаев, А.Д. Щекатуров, Д.А. Мовчан. – Москва: ДМК-Пресс, 2017. – 424 с.
- 11 Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://simintech.ru/webhelp/#o\\_simintech/o\\_simintech.html](http://simintech.ru/webhelp/#o_simintech/o_simintech.html)
- 12 Хабаров, С.П. Построение распределенных моделей в системе

SimInTech: методические указания / С.П. Хабаров, М.Л. Шилкина. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018. – 122 с.

13 Техническое описание преобразователя частоты HYUNDAI N700E-004HF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.hyundai-ru.com/doc/N700E\\_CatalogRus.pdf](https://www.hyundai-ru.com/doc/N700E_CatalogRus.pdf)

14 Техническое описание датчика давления Rosemount 3051 исполнения Coplanar™ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://metrk.ru/files/products/rosemount/rosemount-3051/Rosemount\\_3051\\_datchiki\\_davleniya.pdf](http://metrk.ru/files/products/rosemount/rosemount-3051/Rosemount_3051_datchiki_davleniya.pdf)

15 Техническое описание датчика температуры ТП101 – К [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlrccsjdm.xn--plai/catalog/tp-101-105-tp-201-205-tp-301-302/#anchor1>

16 Техническое описание контроллера Simatic S7-300 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://progressavtomatika.ru/siemens-simatic-s7-300.php>

17 Техническое описание панели оператора OP77A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.siemens-pro.ru/docs/hmi/05\\_OP73\\_77\\_r.pdf](https://www.siemens-pro.ru/docs/hmi/05_OP73_77_r.pdf)

18 Техническое описание модульной станции ET 200S [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/components/et200s.html>

19 Дегтяренко, А.В. Теплоснабжение: учебное пособие / А.В. Дегтяренко. – Томск : ТГАСУ, 2010. – 185 с.

20 Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Б.Ю. Липкин. – Москва: Высшая школа, 1981. – 376 с.

21 Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. – 4-е издание, перераб. и доп. / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

22 Герасимов, С.Г. Автоматическое регулирование котельных установок / С.Г. Герасимов. - Москва: Госэнергоиздат, 1950. - 424 с.

23 Ицкович, А.М. Котельные установки. - Москва: Нашиц, 1958. - 226

с.

24 Ктеев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Ктеев. - Москва: Энергоиздат, 1990. - 464

с.

25 Мухин, В.С. Приборы контроля и средства автоматизации тепловых процессов / В.С. Мухин. - Москва: Высшая школа. 1988. - 266 с.

26 Приборы и средства автоматизации. Каталог. - Москва: Информприбор, 1995. - 140 с.

27 Приборы и средства автоматизации. Номенклатурный перечень. - Москва: Информприбор, 1995. - 100 с.

28 Фейерштейн, В.С. Справочник по автоматизации котельных / В.С. Фейерштейн. - Москва: Энергия, 1972. - 360 с.

29 Фаников, В.С. Автоматизация тепловых пунктов: справочное пособие / В.С. Фаников. - Москва: Энергоиздат, 1989. - 256 с.

30 Шипетин, А.И. Техника проектирования систем автоматизации технологических процессов / А.И. Шипетин. - Москва: Машиностроение, 1976. - 496 с.

31 СНиП II-34-76. Горячее водоснабжение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200067480>

32 Касалапова, А.В. Проект замещения 1-ой очереди электростанции «Левобережная»: дипломная работа / А.В. Касалапова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/72170>

33 Савченко, С.И. Автоматизация насосной станции: дипломная работа / С.И. Савченко [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/126117/vkr\\_savchenko\\_0.pdf?sequence=1](http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/126117/vkr_savchenko_0.pdf?sequence=1)

34 Школа для электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/electrotehnolog/2051-primeneniye-elektricheskikh-vodonagrevateley-i-kotlov-v-selskom-hozyaystve.html>

35 СП 30.13330.2016 Внутренний водопровод и канализация зданий.

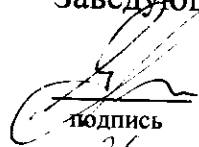
Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054201#>

36 СНиП II-34-76 Горячее водоснабжение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200067480>

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматки, автоматизированное управление и  
проектирование»

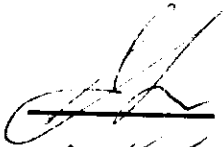
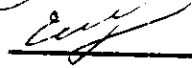

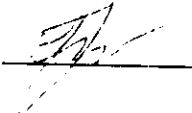
УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

  
подпись  
« 26 » 06 2020 г.  
С.В. Ченцов  
инициалы, фамилия

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОКОТЕЛЬНОЙ**

Руководитель		зав. кафедрой, д-р техн. наук	<u>С.В. Ченцов</u>
Выпускник		26.06.2020	<u>О.А. Ещенко</u>
Консультант		ст. преподаватель	<u>И.В. Солопко</u>
Нормоконтроль		26.06.2020	<u>Т.А. Грудинова</u>

Красноярск 2020