

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт Механико-технологический факультет  
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»  
Направление «Автоматизация технологических процессов и производств»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
В.Р. Гасияров

2018 г.

---

Модернизация имитационной установки полунатурного моделирования  
теплогидравлических режимов в зданиях

---

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ 15.03.04.2018.082.00 ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер  
Преподаватель  
Е.А. Маклакова

2018 г.

---

Руководитель работы  
Ст. преподаватель  
А.В.Соколов

2018 г.

---

Ст. преподаватель  
С.С. Воронин

2018 г.

---

Автор работы  
студент группы П-455  
Никита Александрович Архипов

2018 г.

---

## АННОТАЦИЯ

Архипов Н.А. Модернизация имитационной установки полунатурного моделирования тепло-гидравлических режимов в зданиях. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 71 с. 25 ил., 3 таблиц, библиогр. список – 12 наим., 10 прил.

Цель выпускной квалификационной работы – модернизация установки полунатурного моделирования теплогидравлических процессов в зданиях.

В первой главе описан объект автоматизации. Сформированы цели и задачи процесса автоматизации. Сформированы требования к подсистемам разрабатываемой автоматизированной системы.

Во второй главе проведен подбор используемых чувствительных и исполнительных элементов, а также программируемого логического контроллера.

В третьей главе рассмотрен процесс разработки интерфейса оператора, обеспечивающего контроль работы системы управления.

На базе имеющегося оборудования разработана управляющая система, представляющая собой совокупность чувствительных и исполнительных элементов, призванных облегчить процесс моделирования, сделать его более автономным, повысить количество факторов, учитываемых при моделировании, оптимизировать процесс моделирования.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ .....	7
1.1 Назначение, состав и особенности функционирования имитационной установки EMBRA .....	7
1.2 Конструкция установки .....	11
1.3 Система управления .....	12
1.3.1 Контур ГВС.....	12
1.3.2 Контур системы отопления .....	12
1.3.3 Контур поддержания давления в ИТП.....	13
1.3.4 Контур поддержания давления в СО .....	13
1.3.5 Аварийные контура.....	13
1.3.5.1 Затопление помещения ИТП.....	13
1.3.5.2 Перегрев помещения ИТП .....	13
1.3.6 Контроллеры Johnson Controls FX 15, 16.....	14
1.3.7 Циркулярные насосы .....	14
1.3.1 Датчики давления.....	17
1.3.1.1 IFM PN3006.....	17
1.3.1.1 Johnson Controls P499ABS-401.....	18
1.3.1.2 Johnson Controls P48AAA-9120.....	19
1.3.1.3 IFM PN3004.....	20
1.3.1 Датчики температуры .....	20
1.3.1.1 Капиллярные и зональные термостаты в корпусе IP30.....	21
1.3.1.2 SENSIT PTS 140 pt 100 .....	22
1.4 Программное обеспечение .....	23

2 РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗДАНИЯХ .....	26
2.1 Разработка схемы автоматизации имитационной установки .....	26
2.2 Разработка схемы электрической принципиальной .....	27
2.3 Разработка схемы соединений .....	37
3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	38
3.1 Разработка алгоритма работы системы управления.....	38
3.2 Разработка SCADA-системы.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А Внешний вид имитационной установки полунатурного моделирования теплогидравлических режимов в зданиях .....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Функциональная схема автоматизации .....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ В Электрическая принципиальная схема .....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Схема соединений.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Алгоритм работы.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Перечень элементов.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж SCADA-система.....	68

## ВВЕДЕНИЕ

Темой выпускной квалификационной работы, является модернизация имитационной установки полунатурного моделирования теплогидравлических режимов в зданиях.

Уникальность метода моделирования используемого в данной установке заключается в возможности моделирования полного спектра факторов, влияющих на температуру в зданиях, тем самым позволяя учитывать их при установке ИТП и выборе разводки в реальных зданиях.

Модернизируемая система управления имитационной установки призвана упростить процесс моделирования теплогидравлических процессов, повысить количество учитываемых при моделировании факторов, оптимизировать процесс моделирования теплогидравлических режимов в зданиях

# 1 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

## 1.1 Назначение, состав и особенности функционирования имитационной установки EMBRA

Данная установка предназначена для натурального моделирования тепло-гидравлических режимов инженерных систем. Позволяет решать следующие задачи:

### 1. Моделирование особенностей различных разводок тепловых сетей:

- отечественная однотрубная с нижней подводкой теплоносителя, показана на рисунке 1, данный тип разводки является более экономически выгодным в отличии от двухтрубной разводки, но наблюдаются большие потери температур;

- европейская однотрубная с верхней подводкой теплоносителя с альтернативными отопительными приборами и термостатическими регуляторами, показана на рисунке 2, данный тип разводки схож с первым, за исключением еще больших потерь температуры, а также при перекрытии одного из радиаторов последующие перестают получать тепло;

- европейская двухтрубная с термостатическими регуляторами, показана на рисунке 3, более дорогая в сравнении с первыми двумя типами разводок, но обладающая более качественным функционалом, каждый из радиаторов имеет свой собственный контур и отапливается независимо от других в следствии чего потерь температур не наблюдается;

### 2. Проведение гидравлической балансировки тепловой сети.

### 3. Отработка штатных ситуаций:

#### 1) Изменение параметров окружающей среды:

- суточное и сезонное изменение температуры воздуха;
- изменение солнечной освещенности;
- изменение направления и скорости ветровой нагрузки;

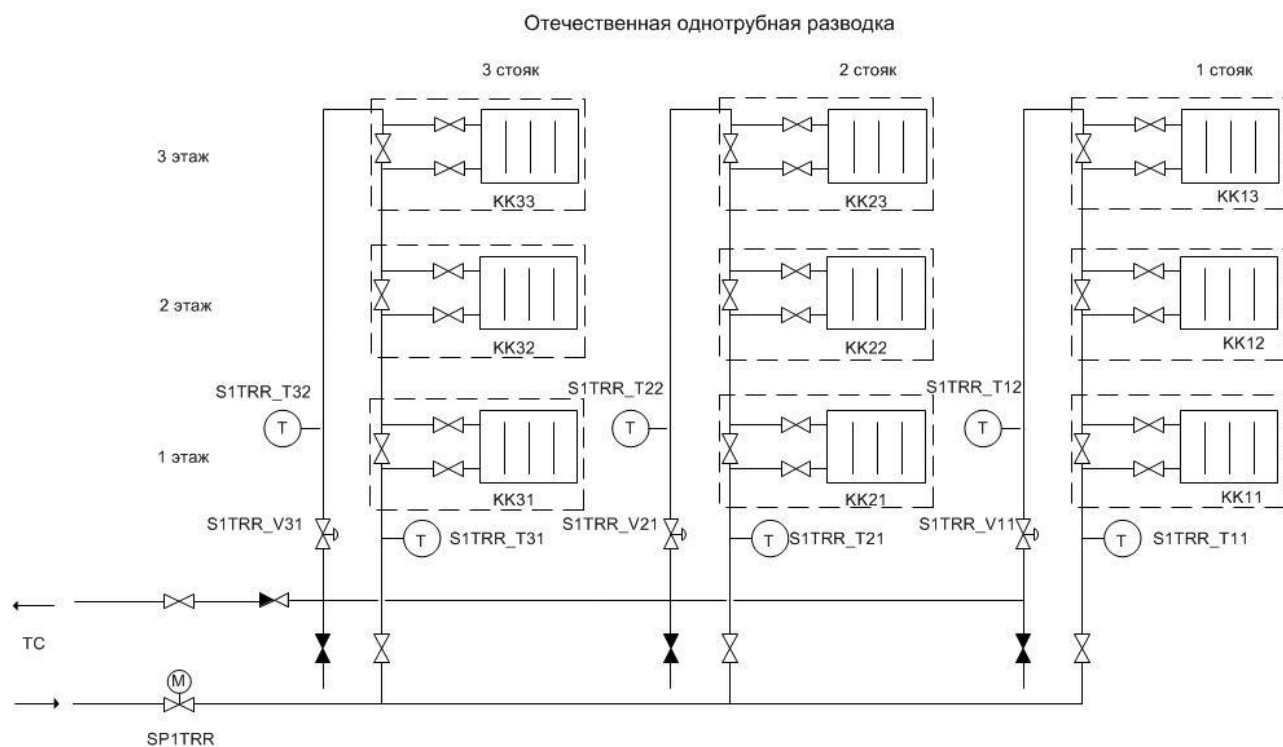


Рисунок 1 – Отечественная однотрубная разводка.

## 2) Воздействие потребителя:

- наличие внутренних источников тепла (количество людей в помещении, дополнительные обогревательные устройства, приборы приготовления пищи, работа систем освещения);

- принудительная вентиляция помещения при открытии окон и дверей;
- принудительное регулирование или отключение основных отопительных приборов;

- изменение условий теплоотдачи от отопительного прибора к воздуху помещения;

## 4. Обработка нештатных и аварийных ситуаций:

- отклонение параметров теплоносителя от нормативных значений на входе в ИТП;

- отказ датчиков и исполнительных механизмов;

- отключение тепловой системы здания;

- ввод в эксплуатацию тепловой системы в начале отопительного сезона;

- образование воздушных полостей в системе теплоснабжения;

- утечка теплоносителя из тепловой системы;

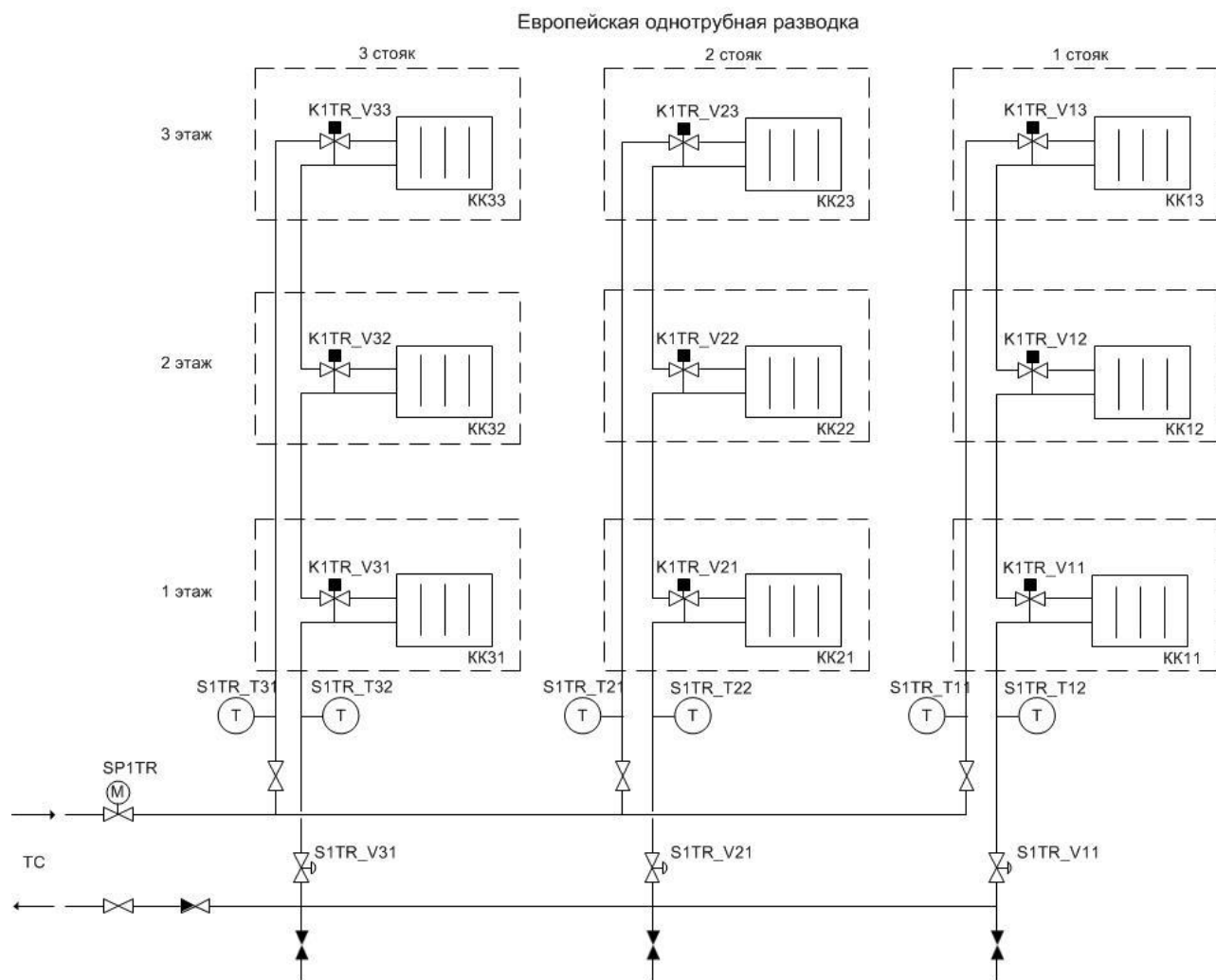


Рисунок 2 – Европейская однотрубная разводка.

В состав установки входит:

- ИТП, имеющий в своем составе 2 электродкотла по 24кВт каждый, которые используются для нагрева теплоносителя;
- Охладитель – система имитирующая изменение параметров окружающей среды;
- Блок из 9 имитационных климатических камер. В каждой камере находится по 3 радиатора для разных видов разводки отопления, а также холодильный агрегат;
- Распределительный шкаф;



- Система управления установкой: нижний уровень – контроллеры JC FX15,16, верхний – SCADA система LabVIEW;

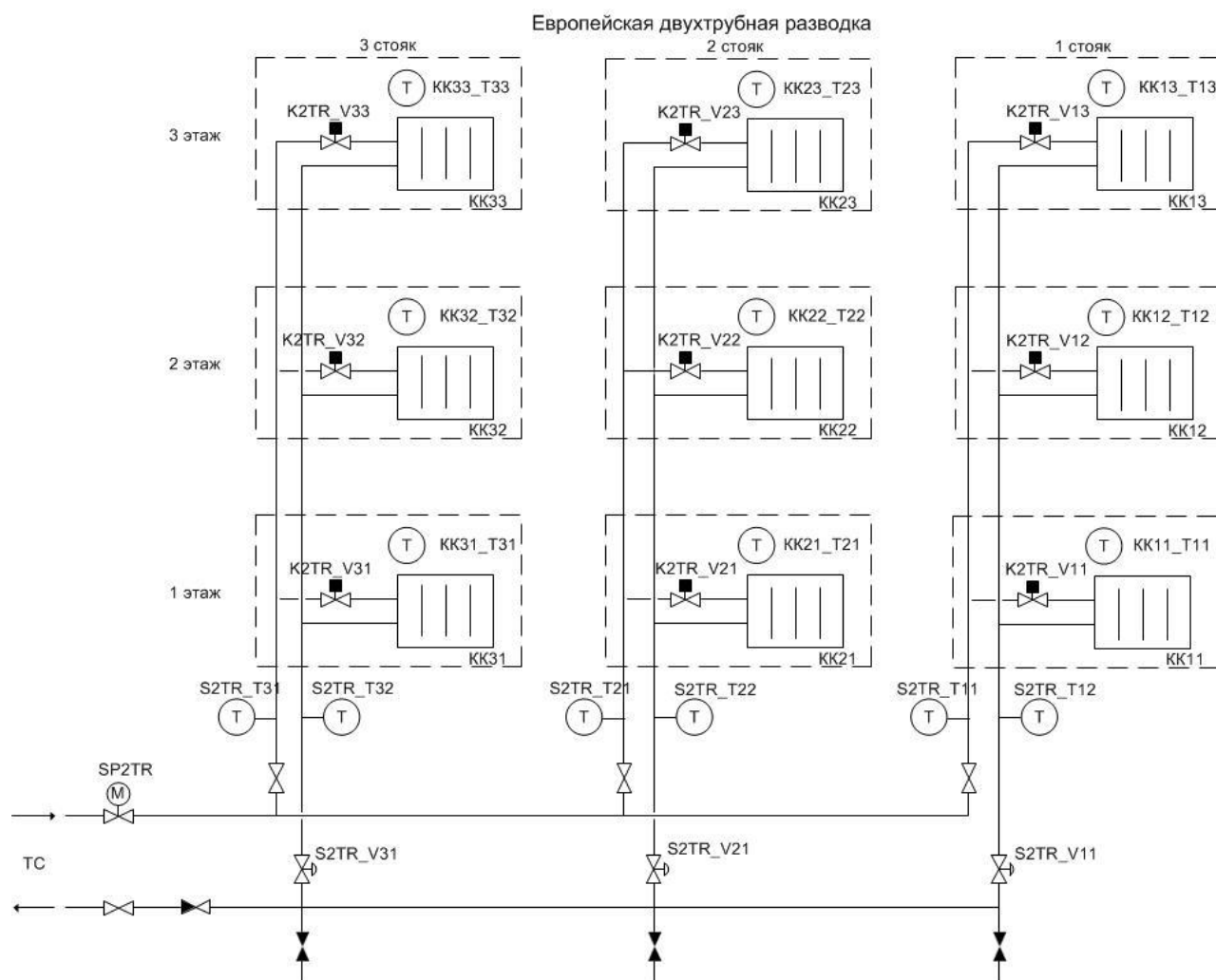


Рисунок 3 – Европейская двухтрубная разводка.

Особенности установки полунатурного моделирования заключаются в уникальности данного типа моделирования. В настоящее время для расчета тепло-гидравлических сетей используется математическое моделирование, что не всегда позволяет учесть все факторы. Данная установка позволяет получить практические результаты, максимально приближенные к реальным показателям, что значительно облегчает и увеличивает надежность дальнейшего проектирования тепловой системы.

## 1.2 Конструкция установки

На рисунке 4 представлена упрощенная схема установки.

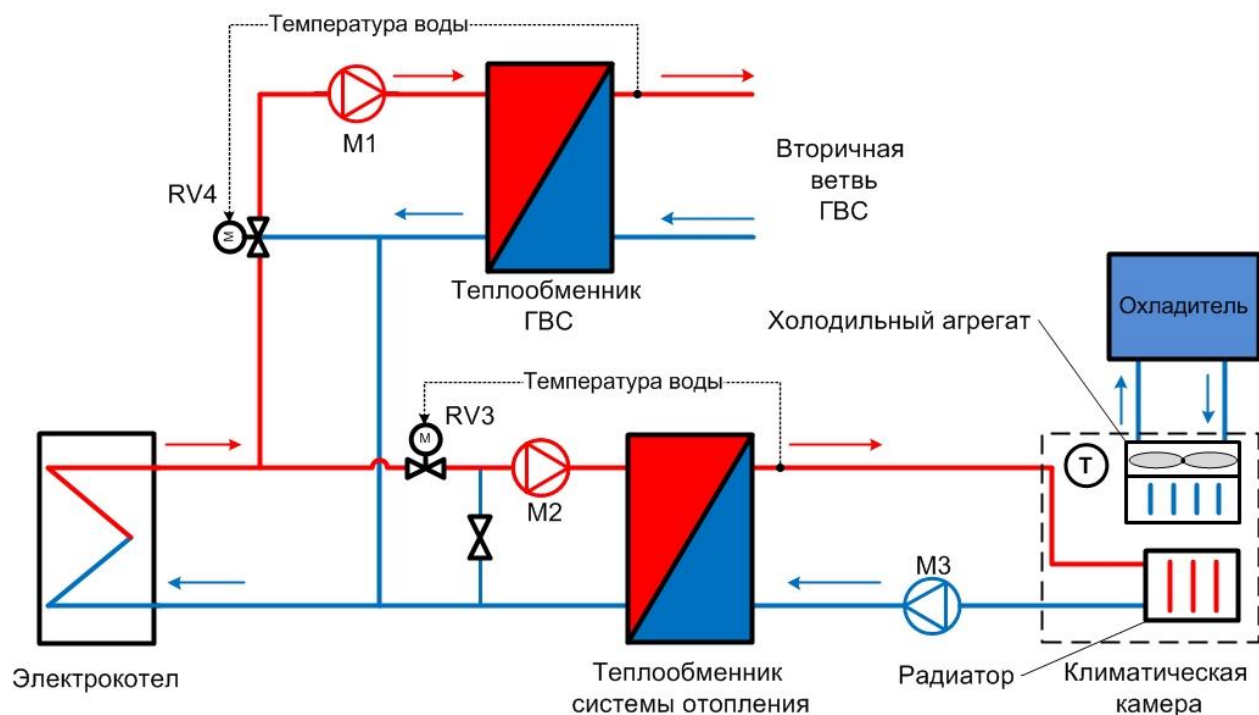


Рисунок 4 – Упрощенная схема установки.

Вода в первичной ветви нагревается двумя электродкотлами по 24кВт каждый. Электродкотел состоит из 3 тэнов, которые управляются ступенчато встроенным термостатическим регулятором, согласно выставленной на панели котла уставке. Нагретый теплоноситель поступает в пластинчатые теплообменники горячего водоснабжения и отопительной системы. Тепло посредством теплообменников передается из первичной ветви во вторичную ветвь системы отопления и ГВС. Циркуляция теплоносителя обеспечивается за счет работы циркуляционных насосов. Нагретый теплоноситель поступает в отопительные радиаторы климатических камер согласно включенной разводке. Переключение разводок отопления осуществляется на АРМ- оператора в программе MonitorSystem.

Регулирование температуры воды подаваемой во вторичную ветвь системы отопления осуществляется регулировочным клапаном с электроприводом, который

на схеме обозначен как RV3. Поддержание температуры ГВС во вторичном контуре обеспечивается работой регулировочного клапана RV4.

Охлаждение установки осуществляется с помощью охладителя, который обеспечивает подачу охлажденной воды (до 6°C) в холодильные агрегаты климатических камер. Холодильные радиаторы состоят из радиатора и вентилятора с возможностью ступенчатого изменения скорости вращения двигателя.

### 1.3 Система управления

Для управления установкой используются несколько контуров управления, микроконтроллеры, циркулярные насосы.

#### 1.3.1 Контур ГВС

Вода для нужд ГВС нагревается в пластинчатом теплообменнике. На выходном трубопроводе за теплообменником расположен датчик температуры, сигнал с которого подается на аналоговый вход контроллера, управляющего регулировочным вентилем, обеспечивающим подачу отопительной воды в теплообменник. Привод вентиля имеет аварийную функцию, которая срабатывает при потере напряжения, поднятием штока вентиля в ускоренном режиме. Вентиль трехходовый, при поднятом штоке замыкается малый контур, через который в рабочем режиме происходит подмес воды, выходящей из теплообменника.

#### 1.3.2 Контур системы отопления

Отопительная вода системы отопления нагревается в пластинчатом теплообменнике. На выходном трубопроводе за теплообменником расположен датчик температуры, сигнал с которого поступает на аналоговый вход контроллера, управляющего регулировочным вентилем, обеспечивающим подачу отопительной воды в теплообменник.

### 1.3.3 Контур поддержания давления в ИТП

Дополнение воды в первичный контур системы проходит через вихревой фильтр FF06-1AA и систему водоподготовки AZFK1Z с часовым реле. В первичном контуре ИТП расположен датчик давления, данные с которого поступают в управляющую систему. При снижении давления воды происходит открытие шарового крана.

### 1.3.4 Контур поддержания давления в СО

Дополнение воды во вторичный контур системы отопления проходит через вихревой фильтр FF06-1AA и систему водоподготовки AZFK1Z с часовым реле. В обратной ветви отопительной системы со стороны теплообменника расположен датчик давления, который передает данные в управляющую систему. При снижении давления воды происходит открытия шарового крана.

### 1.3.5 Аварийные контура

#### 1.3.5.1 Затопление помещения ИТП

На расстоянии 5 см над полом в ИТП расположен поплавковый датчик, который при затоплении водой закрывается, и подаёт сигнал в управляющую систему ИТП, которая остановит работу ИТП, перекроет подачу воды в ИТП и включит аварийную сигнализацию

#### 1.3.5.2 Перегрев помещения ИТП

На стене, на высоте 1,7-2,0 м от пола расположен комнатный термостат, который при превышении температуры в помещении выше +35°C, пошлёт сигнал

в управляющую систему ИТП, которая остановит работу ИТП, и включит аварийную сигнализацию.

### 1.3.6 Контроллеры Johnson Controls FX 15, 16

Контроллер FX16 предназначен для систем теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC). Контроллер имеет 27 физических входов и выходов, поддерживает большое количество температурных сенсоров и исполнительных устройств. Можно получить до 64 дополнительных физических входов и выходов путем добавления модулей расширения XT/XP. Контроллер FX16 может осуществлять распределенное управление, используя до 16 подчиненных контроллеров FX (например, FX05 Advanced, FX15 и др.). Используя его встроенный веб-сервер, можно просматривать записанные тренды и события, вносить изменения в настройки. Программирование и конфигурирование осуществляется при помощи пакета FX Tools.

На обоих контроллерах установлены сетевые карты N2 Open. На FX15 карта N2 Open используется для сетевого соединения с FX16. Также эти карты можно использовать для программирования контроллеров. С FX16 на дверь шкафа выведен пользовательский интерфейс MUI, который позволяет просматривать показания датчиков и параметры системы, а также производить настройку контроллеров.

Схема подключения FX 15, 16 показана на рисунке 5.

### 1.3.7 Циркулярные насосы

На данной установке применяются циркуляционные насосы производства фирмы Grundfos серий UP, UPS и Magna. Во вторичной ветви системы отопления циркуляционный насос продублирован. В случае отключения (неисправности) одного включается второй.

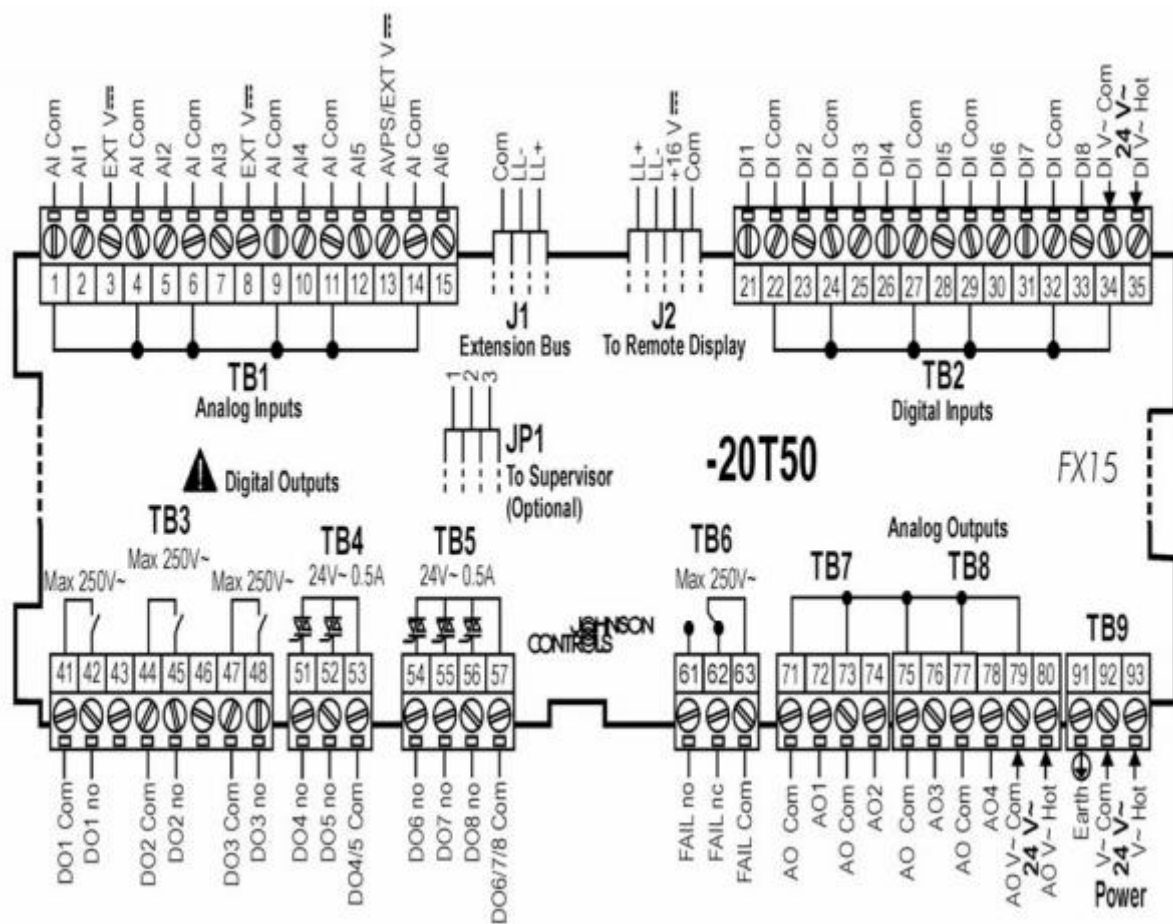


Рисунок 5 – Схема подключения JC FX 15, 16

Циркуляционный насос Grundfos серии UPS является одноступенчатым насосом с горизонтальным расположением вала и рабочим колесом (крыльчаткой) одностороннего входа. Имеет «мокрый ротор», изолированный от статора герметичной гильзой. Подшипники смазываются перекачиваемой жидкостью. Насос имеет небольшие габариты и вес, работает практически бесшумно и потребляет мало электроэнергии. С помощью простого и удобного переключателя можно установить необходимую частоту вращения вала электродвигателя (3 скорости). Для нормальной работы циркуляционного насоса необходимо обеспечить постоянный приток перекачиваемой воды. Подшипники насоса представляют собой керамографитовую пару, которая охлаждается перекачиваемой водой. Длительная работа насоса без воды приведет к перегреву подшипников с последующим их разрушением. Для предотвращения такой

ситуации на имитационной установке установлены аварийные дифференциальные датчики давления.

Характерные особенности насосов серии Magna:

- Пропорциональное регулирование давления;
- Регулирование постоянного давления;
- Режим максимальных, или минимальных рабочих характеристик;
- Возможность совместного подключения нескольких насосов с помощью внешней системы управления;
- Для электродвигателей насосов не требуется внешняя защита.

Насосы серии Magna особенно подходят для монтажа в системы, где велики перепады давления при снижении расхода (как в случае использования термостатических регуляторов). Характеристики насоса постоянно регулируются с помощью электроники и микроконтроллера, находящихся в клеммной коробке.

Электроника измеряет точные данные, которые затем передаются на вход микропроцессора. Процессор вычисляет действительный расход, из которого рассчитывается требуемый напор насоса (перепад давления на насосе). Измеряемые параметры: скорость вращения вала электродвигателя, напряжение на электродвигателе, ток через электродвигатель, температура статора. Расчетные параметры: выходная мощность электродвигателя, напор насоса, расход, количество моточасов работы, потребляемая мощность.

Режимы регулирования

- AUTOADAPT. При работе в этом режиме насос автоматически снижает установленную на заводе-изготовителе рабочую точку до достижения требуемых характеристик в системе;
  - Пропорциональное регулирование по напору. Напор постоянно меняется в соответствии с потребным расходом в системе;
  - Постоянный напор. Поддерживается постоянный напор независимо от того, какой в системе расход;
  - Постоянная характеристика. Насос работает как нерегулируемый, в соответствии с заданной характеристикой.

Внешний вид циркулярного насоса серии MAGNA показан на рисунке 6.



Рисунок 6– Внешний вид циркулярного насоса серии MAGNA

### 1.3.1 Датчики давления

Для контроля давления в системе используется ряд датчиков различных назначений, диапазонов и производителей.

#### 1.3.1.1 IFM PN3006

Датчик IFM PN3006 используется для измерения давления в ИТП. Технические характеристики датчика указаны в таблице 1. Внешний вид датчика давления IFM PN3006 показан на рисунке 7.



Таблица 1 – Технические характеристики датчика IFM PN3006.

Диапазон давления	2000 kPa
Миним.разрушающее давление	5000 kPa
Температура измеряемой среды [°C]	-25...80
Рабочее напряжение [V]	18...36
Потребление тока [mA]	< 50
Класс защиты	III
Защита от переплюсовки	да
Защита от перенапряжения [V]	до 40
Выход 1	Коммутационный выход, аналоговый выход
Выход 2	NO / NC программируемый; 4...20 mA или 0...10 V
Номинальный ток [mA]	250
Падение напряжения [V]	< 2
Аналоговый выход	4...20 mA / 0...10 V
Диапазон контроля	0...250 kPa
Отклонение от характеристики	< ± 0,5 %
Погрешность точки переключения	< ± 0,5 %

#### 1.3.1.1 Johnson Controls P499ABS-401

Датчик Johnson Controls P499ABS-401 используется для контроля давления в ИТП и вторичной ветви ТС. Датчик выдает на выходе линейный аналоговый сигнал, пропорциональный контролируемому давлению в диапазоне от 0.4 до 20 mA. Внешний вид датчика Johnson Controls P499ABS-401 показан на рисунке 8.



Рисунок 7– Внешний вид датчика давления IFM PN3006

### 1.3.1.2 Johnson Controls P48AAA-9120

Датчик Johnson Controls P48AAA-9120 – реле давления пара, используется в ИТП и вторичной ветви ТС. Обладает следующими характеристиками:

- Диапазон измерения от 0.2 до 4 бар
- Дифференциал от 0.25 до 0.8 бар
- Влагонепроницаемый корпус
- Контактная группа SPDT (размыкается при высоком давлении)



Рисунок 8– Внешний вид датчика Johnson Controls P499ABS-401

Внешний вид реле давления пара Johnson Controls P48AAA-9120 показан на рисунке 9.



Рисунок 9– Внешний вид датчика Johnson Controls P499ABS-401

### 1.3.1.3 IFM PN3004

Комбинированный датчик давления IFM PN3004 используется во вторичной цепи ГВС. Технические характеристики датчика указаны в таблице 2. Внешний вид комбинированного датчика давления IFM PN3004 показан на рисунке 10.

### 1.3.1 Датчики температуры

Для контроля давления в системе используется ряд датчиков различных назначений, диапазонов и производителей.



Рисунок 10– Внешний вид комбинированного датчика давления IFM PN3004

### 1.3.1.1 Капиллярные и зональные термостаты в корпусе IP30

В системе полунатурного моделирования применяются 2 датчика этой серии: Johnson Controls A19BAC-9001 и Johnson Controls A19DAC-9001, которые используются для измерения температуры помещения (Johnson Controls A19BAC-9001), а также в ИТП, вторичной ветви ТС и ГВС (Johnson Controls A19DAC-9001).

Технические характеристики датчика Johnson Controls A19BAC-9001:

- Диапазон измерения температуры от 0 до 43 °C
- Фиксированный дифференциал 2K
- Технические характеристики датчика Johnson Controls A19DAC-9001:
- Диапазон измерения температуры от 40 до 120 °C

- Фиксированный дифференциал 4.5К

Таблица 2 – Технические характеристики датчика IFM PN3004

Диапазон давления	7.5 МРА
Миним.разрывное давление	15 МРа
Температура измеряемой среды [°C]	-25...80
Рабочее напряжение [V]	18...36
Потребление тока [mA]	< 50
Класс защиты	III
Защита от переплюсовки	да
Защита от перенапряжения [V]	до 40
Выход 1	Коммутационный выход, аналоговый выход
Выход 2	NO / NC программируемый; 4...20 мА или 0...10 В
Номинальный ток [mA]	250
Падение напряжения [V]	< 2
Аналоговый выход	4...20 mA / 0...10 V
Диапазон контроля	-1...1.0 МРа
Отклонение от характеристики	< ± 0,5 %
Погрешность точки переключения	< ± 0,5 %

### 1.3.1.2 SENSIT PTS 140 pt 100

Датчик SENSIT PTS 140 pt 100 используется для контроля температуры в ИТП, вторичной ветви ГВС, вторичной ветви ТС, охладителе, на выходе котлов, на

входе котлов и в каждой из 3-х трубных системах отопления.

Принцип работы данного датчика основан на изменении сопротивления проводника в нем. В данном датчике в качестве проводника выступает платина имеющая линейную зависимость изменения сопротивления в зависимости от температуры. Внешний вид датчика SENSIT PTS 140 pt 100 показан на рисунке 11.

#### 1.4 Программное обеспечение

Программа M-Bus Explorer предназначена для сбора данных с расходомеров Enbra Sontex Supercal 539, расположенных в первичной ветви ИТП на выходе теплообменников ГВС и системы отопления. Расходомеры подключаются по шине Meter-Bus (M-Bus) к конвертеру SV Tech IMP 5001S, который обеспечивает передачу данных по интерфейсу RS-232 на АРМ-оператора, где установлена программа M-Bus Explorer, считывающая данные с интервалом в 5 мин. Полученные данные сохраняются в файл, откуда читаются программой MonitorSystem. Окно программы M-Bus представлено на рисунке 12.



Рисунок 11– Внешний вид датчика SENSIT PTS 140 pt 100

**M-Bus Explorer**

Апликације Настроје Нароведа

Identifikace	Вэроб.инсло	Нбзев	Нодnota	Jednotka	Popis
02001101	08191456	Енерגיע	8,288	GJ	
02001102	08191456	Објем	390,84	m <sup>3</sup>	
02001103	08191456	Теплота ршнводу	45,0	°C	
02001104	08191456	Теплота зрбтеику	40,9	°C	
02001105	08191456	Ршток	0,80	m <sup>3</sup> /h	
02001106	08191456	Вэкон	3,720	kW	
02001107	08191456	Објем(A)	6,92	m <sup>3</sup>	
02001108	08191456	Објем(B)	0,12	m <sup>3</sup>	
02001201	06400520	Енерגיע	0,021	GJ	
02001202	06400520	Објем	2,37	m <sup>3</sup>	
02001203	06400520	Теплота ршнводу	45,3	°C	
02001204	06400520	Теплота зрбтеику	41,6	°C	
02001205	06400520	Ршток	0,00	m <sup>3</sup> /h	
02001206	06400520	Вэкон	0,000	kW	
02001207	06400520	Објем(A)	0,05	m <sup>3</sup>	
02001208	06400520	Објем(B)	0,01	m <sup>3</sup>	

Hotovo. 25.4.2011 12:15:00 REC 25.4.2011 12:20:00

Рисунок 12 – Окно программы M-Bus Explorer

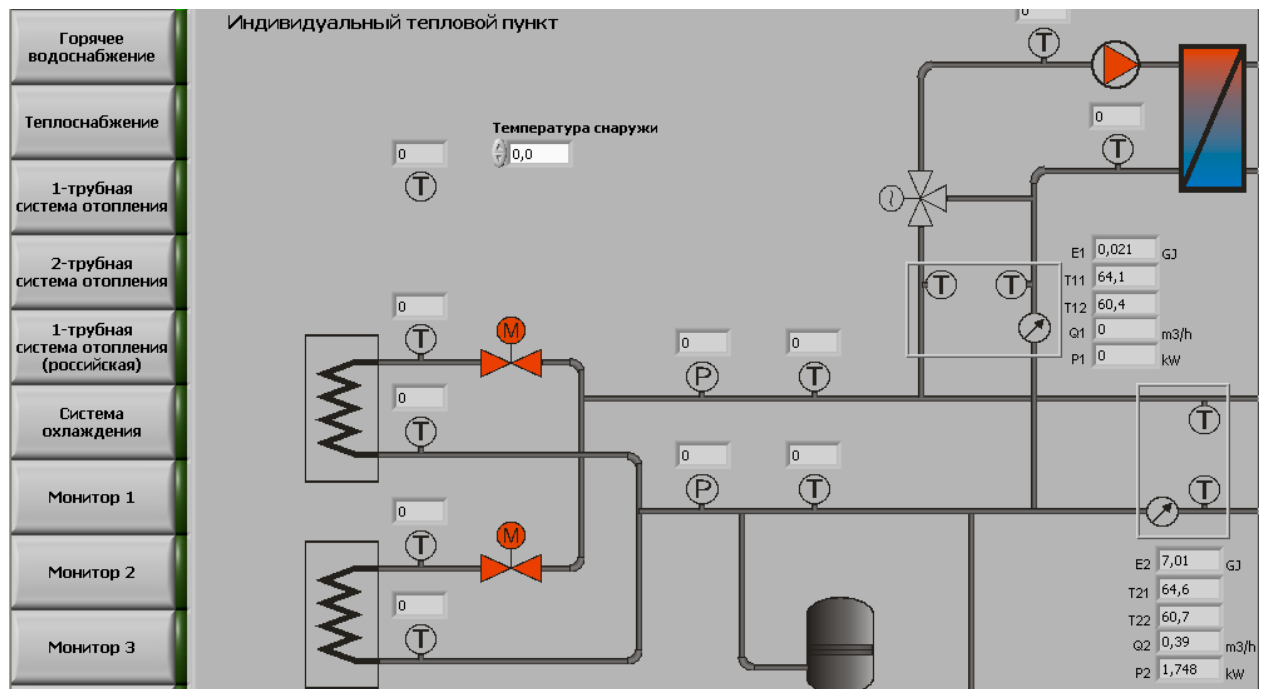


Рисунок 13 – Окно программы MonitorSystem.

Программа MonitorSystem предназначена для сбора, хранения и отображения показаний с датчиков, дает наглядное представление о работе установки, позволяет проводить некоторые настройки и управлять работой системы охлаждения. На рисунке 13 представлен скриншот одной из вкладок программы.



## 2 РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗДАНИЯХ

### 2.1 Разработка схемы автоматизации имитационной установки

Схема автоматизации технологического процесса является основным проектным документом, определяющим структуру и уровень автоматизации технологического процесса проектируемого объекта и оснащение его приборами и средствами автоматизации. Добавим в схему технологического процесса датчики и элементы управления исполнительными устройствами. Схема автоматизации технологического процесса представлена в приложении А.

На схеме функциональной автоматизации указывается упрощенное изображение объекта автоматизации и его частей, исполнительные устройства и средства автоматизации, также показывают линии связи. Элементами схемы могут быть условные обозначения приборов и других функциональных средств автоматизации. Связи на схеме показывают позиционное размещение приборов и устройств относительно управляемого объекта, информационные связи между элементами в процессе функционирования автоматизированной системы управления.

Модернизируемая система представлена на структурно-функциональной схеме на примере одной климатической камеры. Всего в системе присутствуют 9 климатических камер (номер климатической камеры в системе в общем случае обозначается символом  $N$ ), которые распределены равномерно на трех стояках (номер стояка в системе обозначается символом  $M$ ). Наличие 9 камер необходимо, так как это минимально необходимое количество камер для моделирования отопления помещений находящихся на крайних и промежуточных этажах, а также помещений полностью изолированных от внешних стен и примыкающих к ним соответственно.

Для корректной работы системы в ней присутствует ряд исполнительных и чувствительных элементов. В качестве чувствительных элементов присутствуют датчики температуры и влажности воздуха, расположенных в климатических камерах имитационной установки, а также датчики температуры, находящиеся на каждом из стояков, до и после отопительных элементов, необходимые для расчета тепловых потерь в теплоносителе (1-N, 2-N, 3-M, 4-M, 5-M, 6-M, 7-M, 8-M). В качестве исполнительных элементов – электропривода с входным сигналом 4...20 мА, для регулировки подачи теплоносителя в отопительные элементы, а также электропривода с дискретным входным сигналом, необходимые для подачи теплоносителя в выбранный оператором разводки (Y1.N, Y2.N, Y3.N, Y4.N, Y5.N, Y6.M, Y7, Y8, Y9.M, Y10, Y11.M) и охладители, установленные для имитации окружающей среды (Y12.N).

## 2.2 Разработка схемы электрической принципиальной

Схема электрическая принципиальная создается на основе схемы функциональной автоматизации на автоматизированную систему управления пневмотранспортом для перемещения сыпучих материалов. На схеме электрической принципиальной изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Опираясь на схему функциональную автоматизации, сформируем требования и выполним подбор исполнительных элементов, датчиков и вычислителя.

Датчик – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

При разработке системы управления имитационной установки полунатурного моделирования, для контроля температуры в контурах ГВС были выбраны датчики SENSIT PTS 140. SENSIT PTS 140 – датчики термосопротивления. Данный датчик обладает линейной зависимостью между температурой и выходным сопротивлением, а также позволяет контролировать температуру в требуемом диапазоне.

Характеристики SENSIT PTS 140 представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика датчика SENSIT PTS 140

Тип термосопротивления	Pt 100/3850
Диапазон температур	От -30 до +130 °С
Максимальный ток питания	3 мА
Номинальный ток питания	1 мА

График зависимости сопротивления от температуры представлен на рисунке 14.

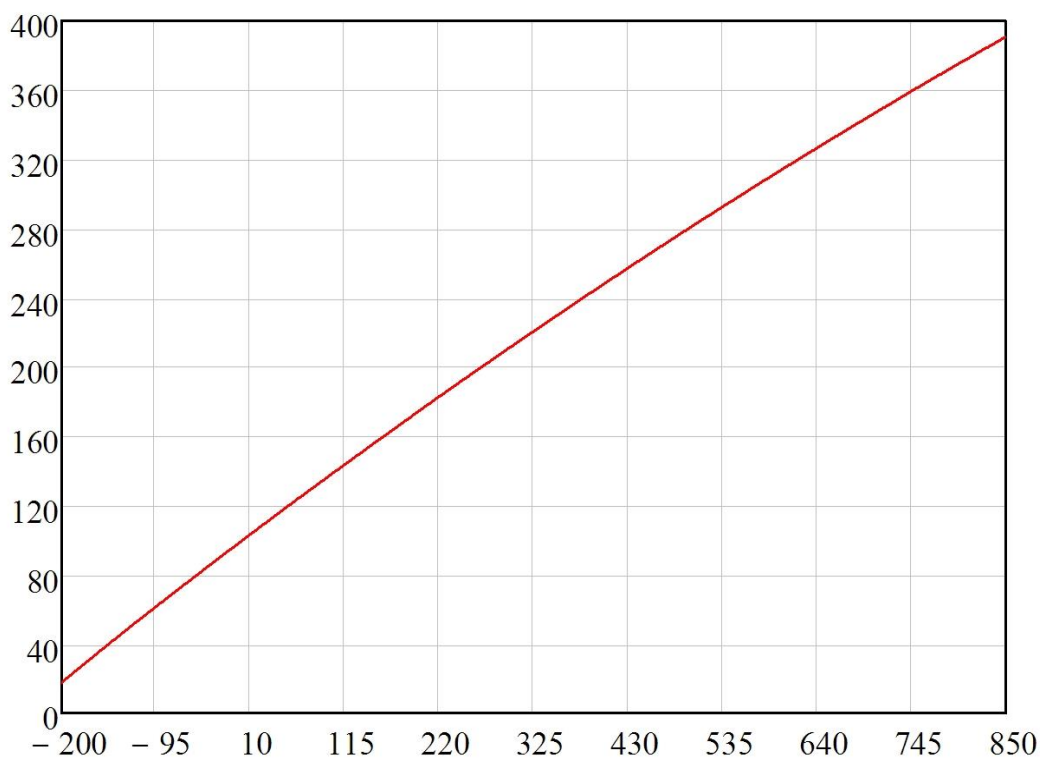


Рисунок 14 – График зависимости сопротивления от температуры.

Графическое обозначение датчика SENSIT PT 140 показано на рисунке 15.

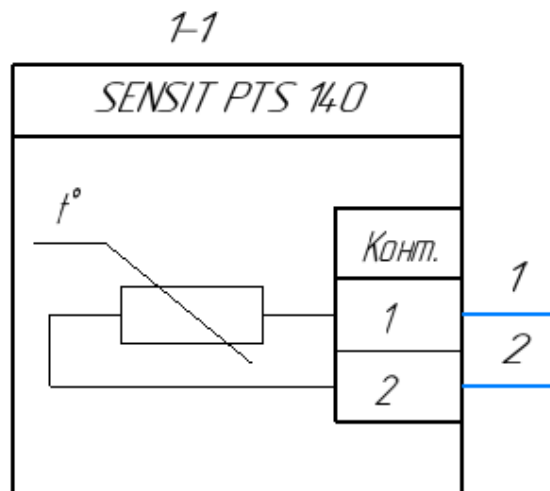


Рисунок 15 – Графическое обозначение датчика SENSIT PT 140

В ходе разработки системы, для контроля температуры и влажности воздуха в климатических камерах системы был выбран промышленный датчик влажности и температуры воздуха ОВЕН ПВТ100. Данный датчик имеет 2 унифицированных выхода 4...20 мА, диапазон измеряемой температуры от -40 до +80 °С и диапазон измеряемой относительной влажности воздуха от 0 до 100 %RH. Графическое обозначение промышленного датчика влажности и температуры воздуха ОВЕН ПВТ100 и схема его подключения показана на рисунке 16. Внешний вид промышленного датчика влажности и температуры воздуха ПВТ 100 показан на рисунке 17.

В ходе разработки системы управления для контроля положения регулирующих клапанов были выбраны редукторные электроприводы АМЕ 655, ТМ «DANFOSS». Характеристики электроприводов серии АМЕ показаны на рисунке 18.

Графическое изображение электропривода АМЕ 655, ТМ «DANFOSS» показаны на рисунке 19.

Для модуляции температуры окружающей среды в климатических камерах системы был выбран полупромышленный кондиционер PCA-RP35KAQR2-ER. Характеристики данного кондиционера представлены на рисунке 20.

Графическое изображение полупромышленного кондиционера PCA-RP35KAQR2-ER на электрической принципиальной схеме показано на рисунке 22.

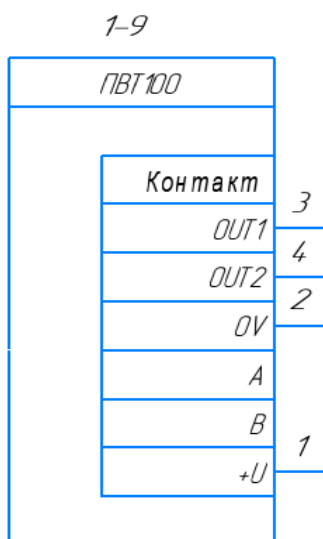


Рисунок 16 – Графическое обозначение промышленного датчика влажности и температуры воздуха ОВЕН ПВТ100 и схема его подключения.



Рисунок 17– Внешний вид промышленного датчика влажности и температуры воздуха ПВТ 100

Тип электропривода		AME 655	AME 658 SD	AME 658 SU	AME 659 SD
Напряжение питания	В	24 или 230; +10 ... -15%; пост. или перемен. тока			
Потребляемая мощность	ВА	14,4 (24В)	19,2 (24В)	19,2 (24В)	19,2 (24В)
		16,1 (230В)	35,7 (230В)	35,7 (230В)	35,7 (230В)
Частота	Гц	50/60			
Входной управляющий сигнал Y	В	0-10 (2-10) (Ri = 40 кΩ)			
	мА	0-20 (4-20) (Ri = 500 кΩ)			
		3-позиционный, импульсный			
Выходной сигнал X	В	0-10 (2-10) (Ri = 10 кΩ)			
	мА	0-20 (4-20) (Ri = 510 кΩ)			
Развиваемое усилие	Н	2000			
Ход штока	мм	50			
Время перемещения штока на 1 мм (выбирается)	с/мм	2 или 6			
Макс. температура рабочей среды	°С	200 (350 с удлинителями штока ZF4 и ZF6 для регулирующих клапанов VFG52)			
Температура окружающей среды		0 до + 55			
Температура хранения и транспортировки		-40 до +70 (при хранении до 3 суток)			
Влажность		5-95%			
Класс защиты		IP 54			
Вес	кг	5,3	8,6	8,6	8,6
Функция безопасности		нет	да	да	да (EN)
Время движения возвратной пружины	с	-	120	120	120
Ручное управление		Механическое	Электрическое и механическое	Электрическое и механическое	Электрическое
Реакция на пропадание электропитания		Шток остается в последнем положении	Шток полностью выдвигается	Шток полностью втягивается	Шток полностью выдвигается
CE - маркировка согласно стандартов		Директива по низкому напряжению 2006/95/ЕЕС EMC - Директива 2004/108/ЕЕС			Директива по низкому напряжению 2006/95/ЕЕС EMC - Директива 2004/108/ЕЕС Функция безопасности в соотв. с EN14597

Рисунок 18 - Характеристики электроприводов серии АМЕ.

Внешний вид полупромышленного кондиционера PCA-RP35KAQR2-ER показан на рисунке 21.

Для возможности управления полупромышленным кондиционером PCA-RP35KAQR2-ER будем использовать шлюз ME-AC-MBS-1. Шлюз ME-AC-MBS-1 предназначен для интеграции в сеть Modbus RTU кондиционера Mitsubishi Electric серии M-series или Mr.Slim. Обозначение шлюза на схеме показано на рисунке 23. Характеристики шлюза RP35KAQR2-ER:

- Со стороны Modbus RTU шлюз выступает как Slave устройство

- Поддерживает работу в сети Modbus RTU с адресацией до 254 устройств
- Поддерживается скорость Modbus RTU до 57600 б/сек
- Настройка осуществляется DIP-переключателями, расположенными на плате
- Порты: 1xRS-485 (Modbus RTU), 1хпорт кондиционера (CN92 или CN105)
- Степень защиты IP20

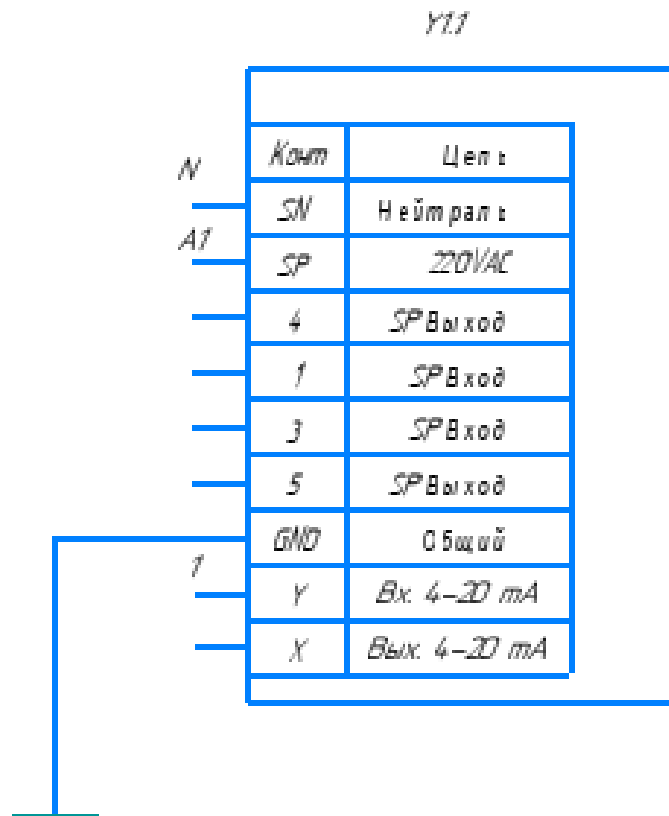


Рисунок 19 – Графическое изображение электропривода АМЕ 655, ТМ «DANFOSS»

В связи с большим количеством входных и выходных сигналов при разработке системы управления был выбран модульный ПЛК фирмы «Omron» модели с основным модулем CJ2M-CPU31.

Внешний вид ЦП модуля CJ2M-CPU31 показан на рисунке 22.

Параметр	РСА-РР35КАQR2-ER
Холодопроизводительность	3.60 кВт
Потребляемая мощность (охлаждение)	0.040 кВт
Рабочий ток (охлаждение)	0.29 А
Уровень шума (охлаждение)	31 дБ(А)
Теплопроизводительность	4.10 кВт
Потребляемая мощность (нагрев)	0.040 кВт
Уровень шума (нагрев)	39 дБ(А)
Расход воздуха (мин.)	600 м <sup>3</sup> /ч
Расход воздуха (макс.)	840 м <sup>3</sup> /ч
Вес	24.0 кг
Габариты ШхГхВ, мм	960х680х230
Напряжение питания	220-240 В, 1 ф, 50 Гц
Диаметр труб (жидкость)	6.35 (1/4)
Диаметр труб (газ)	12.7 (1/2)
Диаметр дренажа	25.4 (1)
Страна производитель	Япония

Рисунок 20 – Характеристики полупромышленного кондиционера РСА-РР35КАQR2-ER



Рисунок 21 – Внешний вид полупромышленного кондиционера РСА-РР35КАQR2-ER



Характеристики ЦП модуля:

- Максимальное количество входов/выходов – 2560 точек
- Максимальное количество модулей расширения – 40 единиц
- Объем памяти программы – 5К шагов
- Объем памяти данных – 32К слов
- Память протокола данных – 8К слов
- Память исходного кода – 1 Мбайт
- Поддержка протокола USB
- Поддержка протокола Ethernet
- Поддержка протокола RS-485
- Время выполнения команды LD – 40 нс

Графическое обозначение данного модуля показано на рисунке 24.

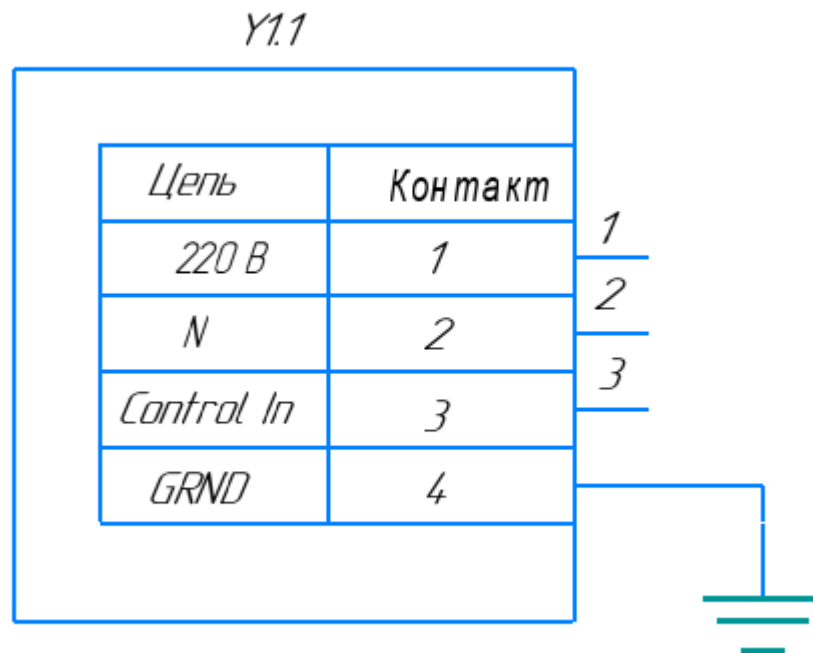


Рисунок 22 – Графическое изображение полупромышленного кондиционера  
PCA-RP35KAQR2-ER

При разработки системы, для решения проблемы преобразования аналоговых сигналов с датчиков в дискретные, для дальнейшей обработки их ПЛК, а также для преобразования выходных дискретных сигналов ПЛК в аналоговые сигналы управления исполнительных устройств используются модули расширения аналоговых входов/выходов фирмы «Omron».

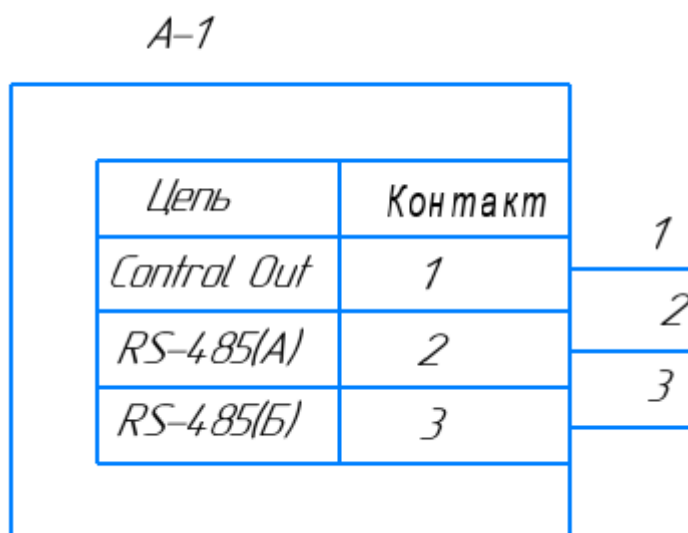


Рисунок 23 – Графическое обозначение модуля ME-AC-MBS-1.



Рисунок 24– Внешний вид ЦП модуля CJ2M-CPU31

Для получения и обработки аналоговых сигналов с датчиков, выбран расширительный модуль фирмы «Omron», модели CJ1W-AD04U.

Данный расширительный модуль позволяет обрабатывать следующие аналоговые сигналы:

- От 0 до 5 В
- От 1 до 5 В
- От 0 до 10 В
- От 0 до 20 мА
- От 4 до 20 мА
- Термосопротивление Pt100
- Термосопротивление Pt1000
- Термосопротивление JPt100

Внешний вид модуля аналогового ввода CJ1W-AD04U показан на рисунке 25.



Рисунок 25– Внешний вид модуля аналогового ввода CJ1W-AD04U

Данные диапазоны позволяют использовать данный модуль расширения для всех типов чувствительных элементов присутствующих в схеме

Перечень всех элементов представлен в Приложении Е.

### 2.3 Разработка схемы соединений

Схема соединений является одним из основных проектных документов, которая содержит указания по монтажу элементов системы управления. Разработка схемы соединений велась на основании ГОСТ 2.701-2088 и ГОСТ 2.702-2011.

Схема соединений представлена в Приложении Г.

## 3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

### 3.1 Разработка алгоритма работы системы управления

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан алгоритм работы системы управления имитационной установкой полунатурного моделирования.

Разработанный в виде блок-схемы алгоритм представляет собой последовательность действий во время рабочего цикла системы управления имитационной установкой полунатурного моделирования

Алгоритм включает в себя пять подпрограмм:

- Настройка работы охладителя
- Настройка клапанов для первого типа разводки
- Настройка положения клапанов для второго типа разводки
- Настройка положения клапанов для третьего типа разводки
- Остановка системы

Алгоритм работы системы начинается после запуска оператором системы.

Следующим шагом оператор должен ввести температуру, которую должен имитировать охладитель (в алгоритме обозначена переменной  $T_O$ ) и температуру, которую необходимо поддерживать в камерах во время работы установки (в алгоритме обозначена переменной  $T_N$ ).

Дальше оператор должен выбрать один из трех возможных типов разводки системы, которая будет работать во время данного сеанса модуляции (в алгоритме обозначена переменной  $NR$ , диапазон которой составляет от 1 до 3).

Значение переменной  $NR$  имеет следующее соответствие с типом разводки:

- 1 – отечественная двухтрубная разводка
- 2 – европейская однострунная разводка
- 3 – европейская двухтрубная разводка

Независимо от выбранного типа разводки происходит настройка охладителей. Управляющий сигнал повышает мощность работы охладителей на минимально возможное значение с задержкой 30 секунд до момента достижения действительной температуры (в алгоритме обозначена переменной TD).

В зависимости от выбранного типа разводки подается управляющий сигнал соответствующий положению открыт для одного из клапанов: Y7 – для отечественной двухтрубной разводки, Y8 – для европейской однострунной разводки и Y10 – для европейской двухтрубной разводки. Также подается аналогичный сигнал для клапанов установленных на стояках и отопительных приборов.

После превышения действительной температуры в камере значения требуемой температуры, управляющий сигнал подаваемый на клапана, установленных на отопительных приборах, начинает понижаться на минимально возможный шаг с задержкой в 120 секунд до момента достижения действительной температуры значения требуемой температуры в камерах.

После настройки охладителей и положения клапанов, установленных на клапанах, управляющие сигналы перестают менять свое значение до момента окончания моделирования процесса.

В конце алгоритма работы перестает подаваться управляющий сигнал на охладители и после остановки подачи теплоносителя в систему закрываются все клапана в системе.

### 3.2 Разработка SCADA-системы

В ходе модернизации имитационной установки полунатурного моделирования теплогидравлических режимов в зданиях было разработано программное обеспечение верхнего уровня в дальнейшем именуемое SCADA-система. SCADA-система создавалась на основе схеме структурно-функциональной и алгоритма работы системы.

В SCADA-системе присутствуют 3 основных экрана. Каждый из которых позволяет модулировать различные теплогидравлические процессы, а также

отслеживать показания датчиков, контролировать и отслеживать положение исполнительных элементов в ходе работы имитационной установки.

Первый экран SCADA-системы отображает первый тип разводки системы (отечественная двухтрубная разводка).

Каждый из экранов предоставляет следующий функционал:

- Управление мощностью работы охладителей
- Подачу теплоносителя в отопительные устройства
- Контроль температуры в камерах
- Подачу теплоносителя в стояки
- Осуществлять работу в ручном или автоматическом режимах

Работа в ручном режиме позволяет оператору осуществлять следующие режимы моделирования:

1. Моделирование особенностей различных разводок тепловых сетей:

- отечественная однотрубная с нижней подводкой теплоносителя, показана на рисунке 1, данный тип разводки является более экономически выгодным в отличии от двухтрубной разводки, но наблюдаются большие потери температур;

- европейская однотрубная с верхней подводкой теплоносителя с альтернативными отопительными приборами и термостатическими регуляторами, показана на рисунке 2, данный тип разводки схож с первым, за исключением еще больших потерь температуры, а также при перекрытии одного из радиаторов последующие перестают получать тепло;

- европейская двухтрубная с термостатическими регуляторами, показана на рисунке 3, более дорогая в сравнении с первыми двумя типами разводок, но обладающая более качественным функционалом, каждый из радиаторов имеет свой собственный контур и отапливается независимо от других в следствии чего потерь температур не наблюдается;

2. Проведение гидравлической балансировки тепловой сети.

3. Отработка штатных ситуаций:

1) Изменение параметров окружающей среды:

- суточное и сезонное изменение температуры воздуха;

- изменение солнечной освещенности;
- изменение направления и скорости ветровой нагрузки;

## 2) Воздействие потребителя:

- наличие внутренних источников тепла (количество людей в помещении, дополнительные обогревательные устройства, приборы приготовления пищи, работа систем освещения);

- принудительная вентиляция помещения при открытии окон и дверей;
- принудительное регулирование или отключение основных отопительных приборов;

- изменение условий теплоотдачи от отопительного прибора к воздуху помещения;

## 4. Отработка нештатных и аварийных ситуаций:

- отклонение параметров теплоносителя от нормативных значений на входе в ИТП;

- отказ датчиков и исполнительных механизмов;
- отключение тепловой системы здания;
- ввод в эксплуатацию тепловой системы в начале отопительного сезона;
- образование воздушных полостей в системе теплоснабжения;
- утечка теплоносителя из тепловой системы;



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра была модернизирована имитационная установка для полунатурного моделирования теплогидравлических режимов в зданиях.

За время выполнения выпускной квалификационной работы был изучен принцип натурного моделирования. Предложен и разработан вариант модернизации действующей установки. Проведена разработка схемы автоматизации. Исходя из требуемого функционала выполнен подбор чувствительных и исполнительных элементов системы. Произведен выбор программируемого логического контроллера. Разработаны схема электрическая принципиальная и схема соединений. Разработан алгоритм работы системы и интерфейс оператора.

Выполнение выпускной квалификационной работы позволило ознакомиться с принципами разработки автоматизированных систем управления для промышленного производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Описание датчика SENSIT PTS 140 pt 100 – <http://www.sensit.cz/shop/snimace-temploty-se-stonkem-a-plastovou-hlavici/95/9db4559d.html?site=en>
- 2 Описание промышленного датчика влажности и температуры воздуха ПВТ100 – [http://www.owen.ru/catalog/promishlennij\\_datchik\\_preobrazovatel\\_vlazhnosti\\_i\\_temperaturi\\_vozduha\\_oven\\_pvt100/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/promishlennij_datchik_preobrazovatel_vlazhnosti_i_temperaturi_vozduha_oven_pvt100/opisanie)
- 3 Описание блоков аналоговых входов/выходов модульного ПЛК фирмы «Omron» – <https://industrial.omron.ru/ru/products/cj-analogue-io-units>
- 4 Описание ЦП модуля ПЛК – <https://industrial.omron.ru/ru/products/cj2m>
- 5 СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Па-рубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
- 6 Решетов Д. Н. Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.: ил.
- 7 Клюев А. С. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля/ А. С. Клюев, Б. В. Глазов, М. Б. Миндин, С. А. Клюев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.: ил.
- 8 Смирнов В. А. Электроника систем управления Ч. 1: Аналоговая электроника: Учебное пособие. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004. – 158 с
- 9 ГОСТ 2.701 – 2008. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – М.: Стандартинформ, 2009 – 22 с
- 10 2.702 – 2011. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. – М.: Стандартинформ, 2011 – 29 с.
- 11 Руководство по эксплуатации полупромышленного кондиционера PСA-RP35KAQR2-ER – <http://www.mitsubishi-aircon.ru/restricted/Manuals/RG79D719H11.pdf>

12 Описание шлюза ME-AC-MBS-1 для интеграции в сеть Modbus RTU кондиционера – [https://www.intesisbox.com/intesis/product/media/intesisbox\\_me-ac-mbs-1\\_user\\_manual\\_en.pdf?v=2.1](https://www.intesisbox.com/intesis/product/media/intesisbox_me-ac-mbs-1_user_manual_en.pdf?v=2.1)

ПРИЛОЖЕНИЕ А Внешний вид имитационной установки полунатурного моделирования теплогидравлических режимов в зданиях



Рисунок А.1 – Комплекс климатических камер

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б Функциональная схема автоматизации

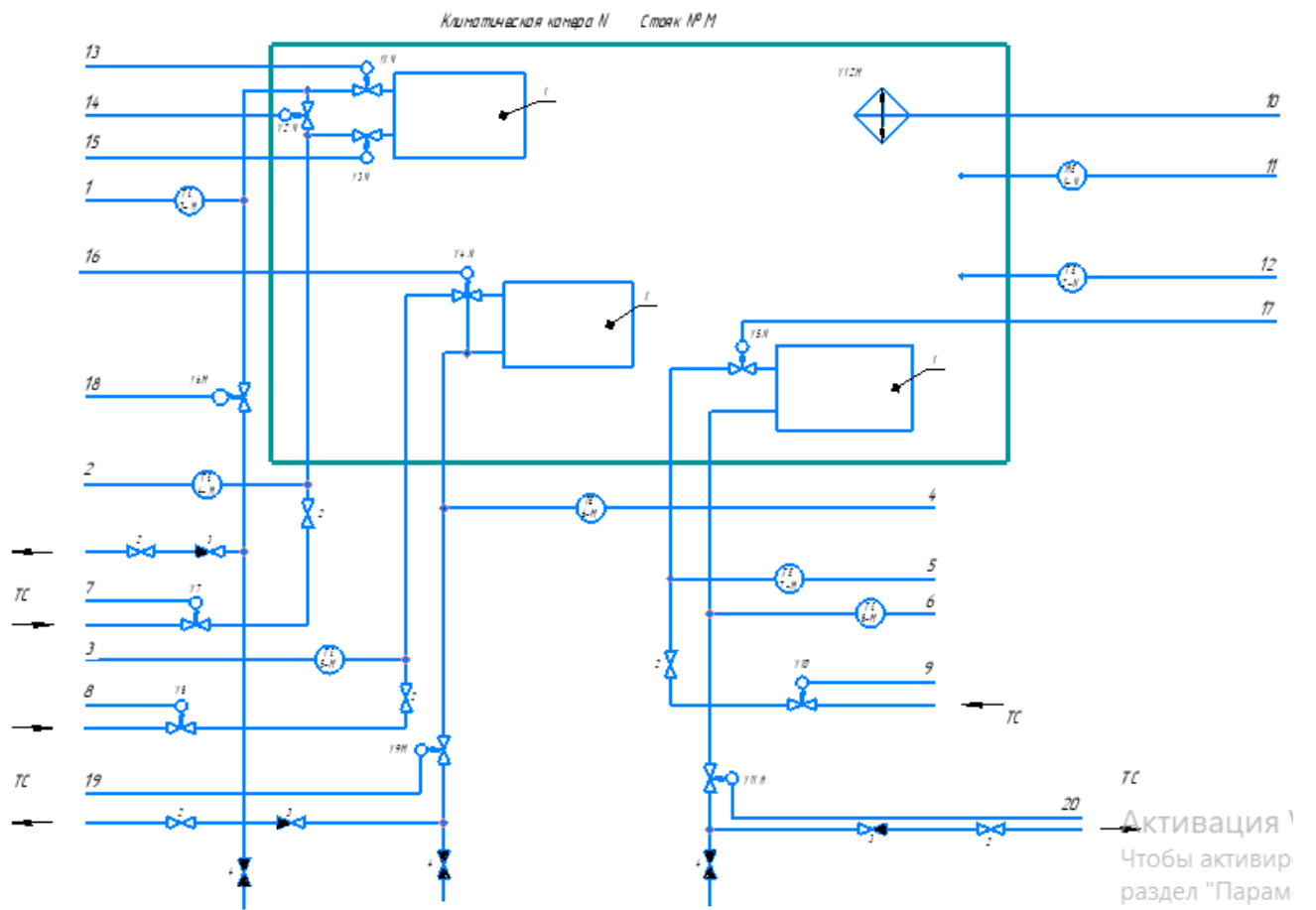


Рисунок Б.1 – Функциональная схема автоматизации (Лист1)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
Шкаф автоматизации	ПЛК	AI	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	1	
		AO																						
		DO																						
		COM																						
		Приборы по месту																						

Рисунок Б.2 – Функциональная схема автоматизации (Лист 2)



## ПРИЛОЖЕНИЕ В Электрическая принципиальная схема

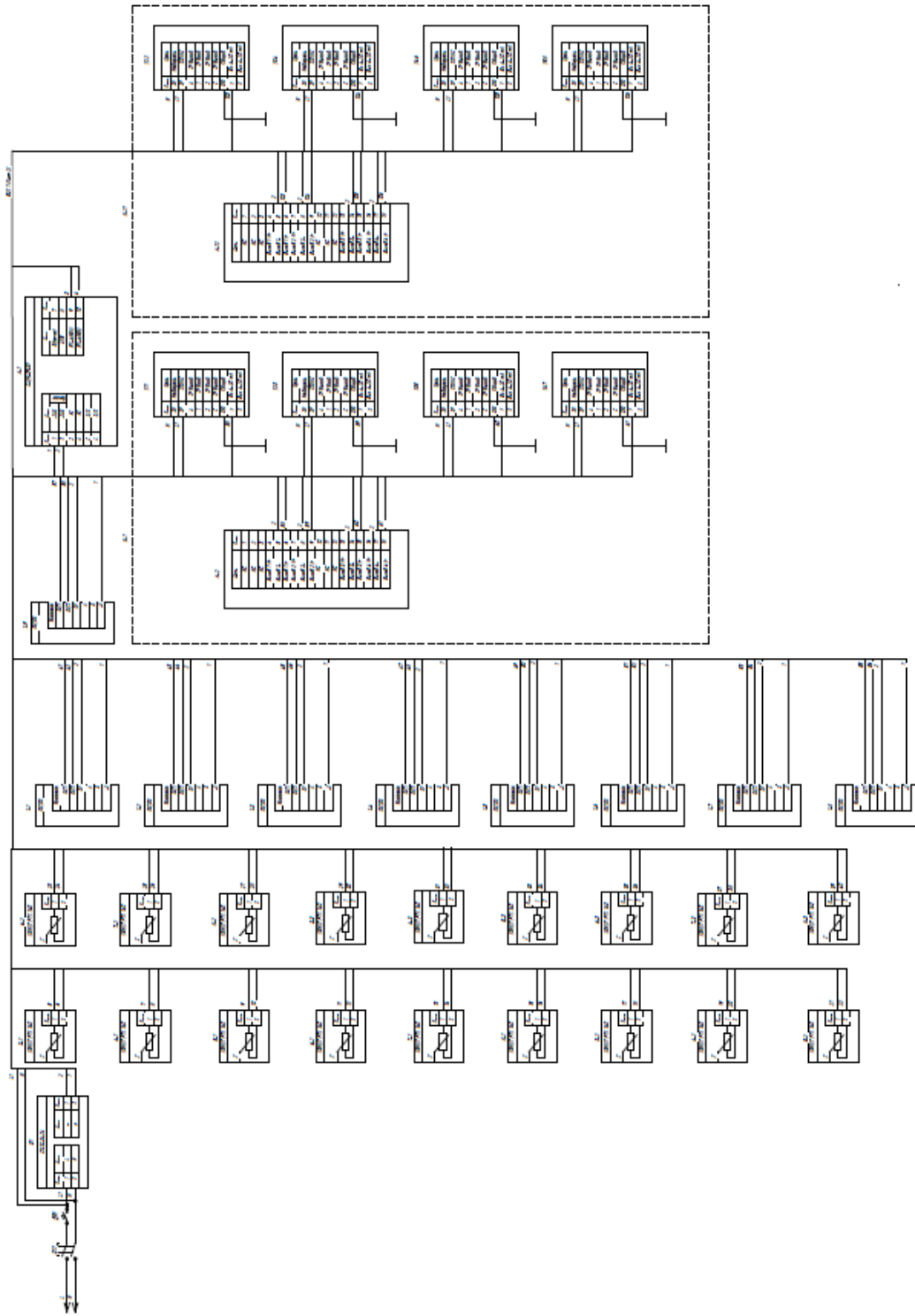


Рисунок В.1 – Электрическая принципиальная схема (Лист 1)

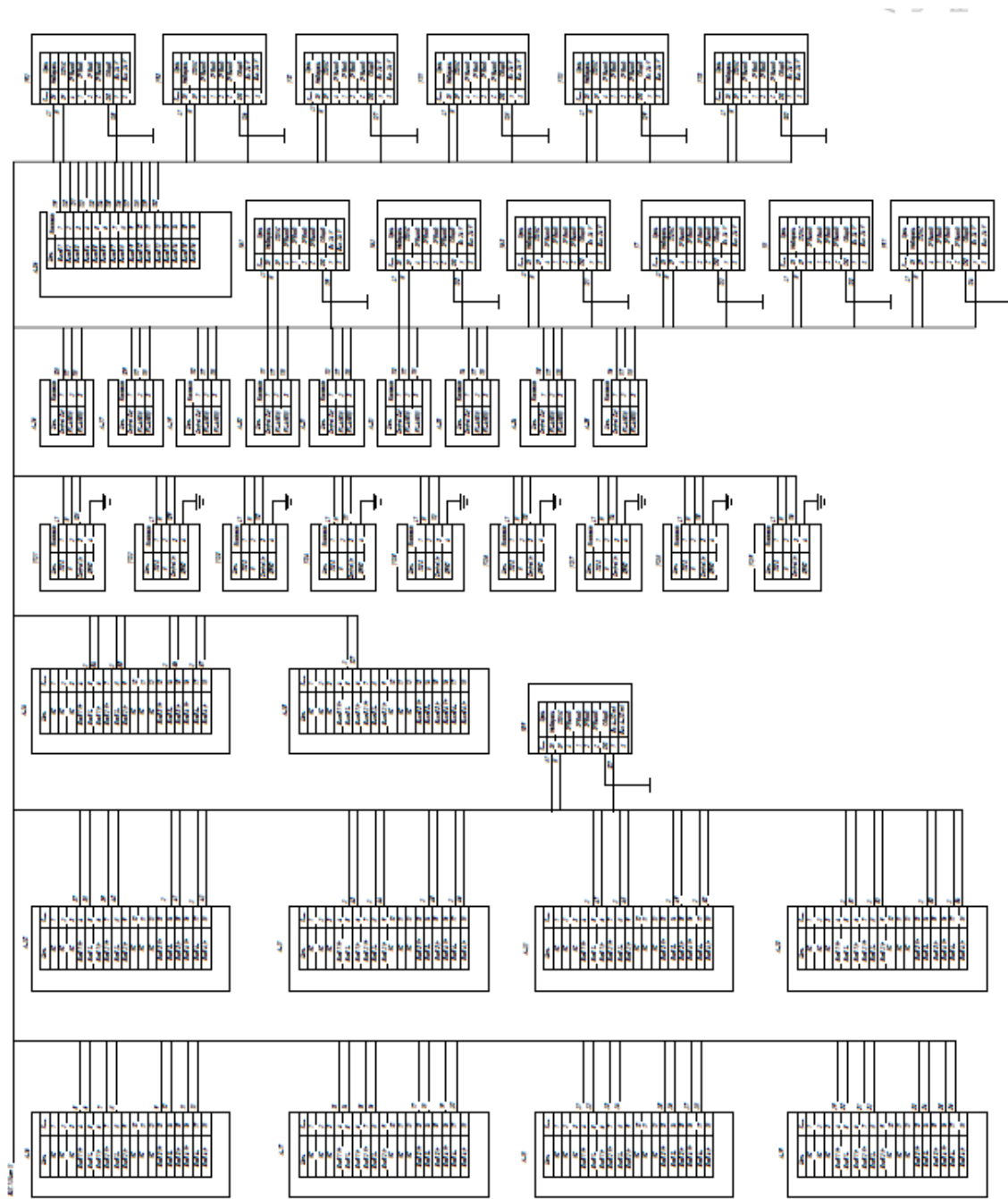


Рисунок В.2 – Электрическая принципиальная схема (Лист 2)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г Схема соединений

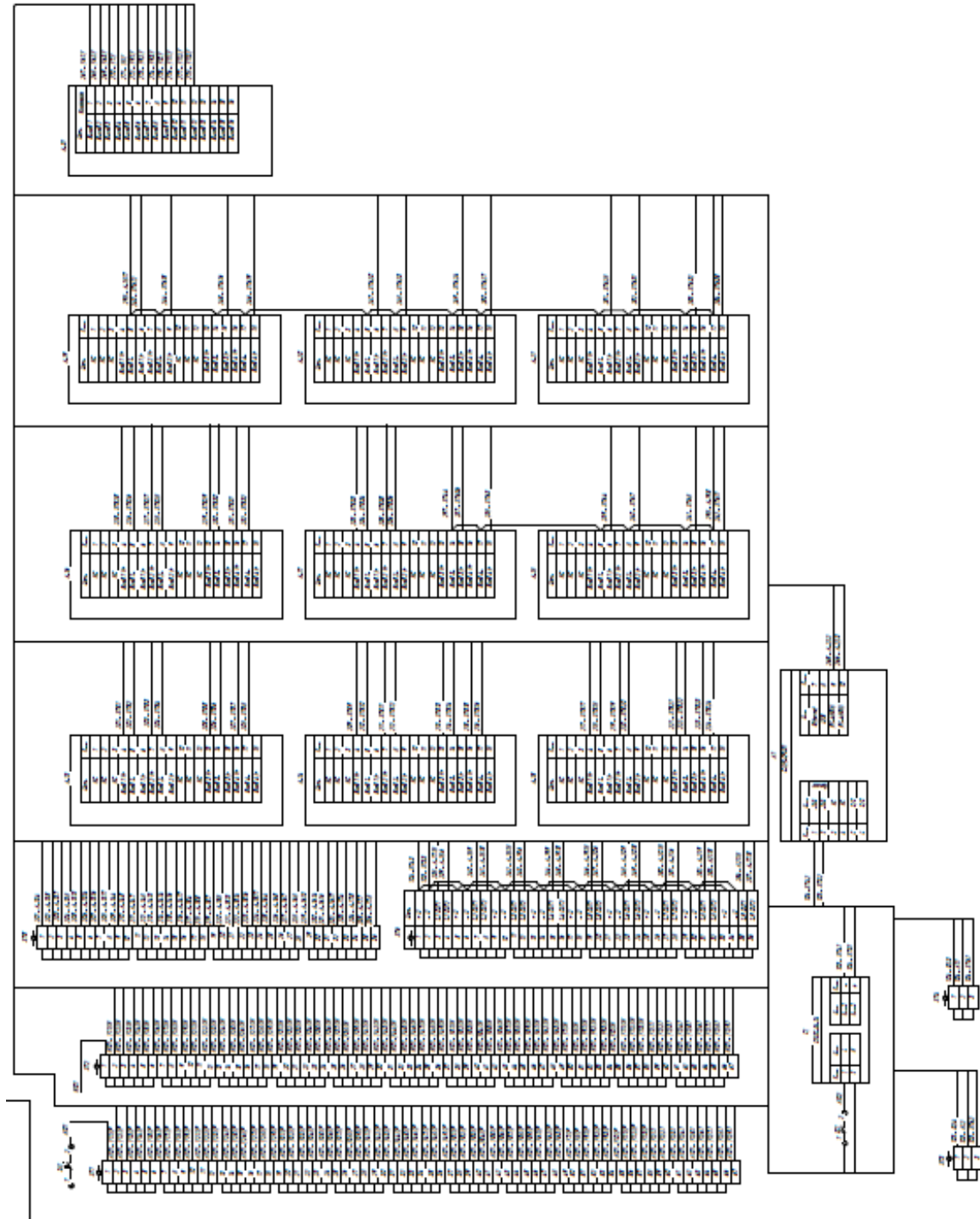


Рисунок Г.1 – Схема соединений (Лист 1)

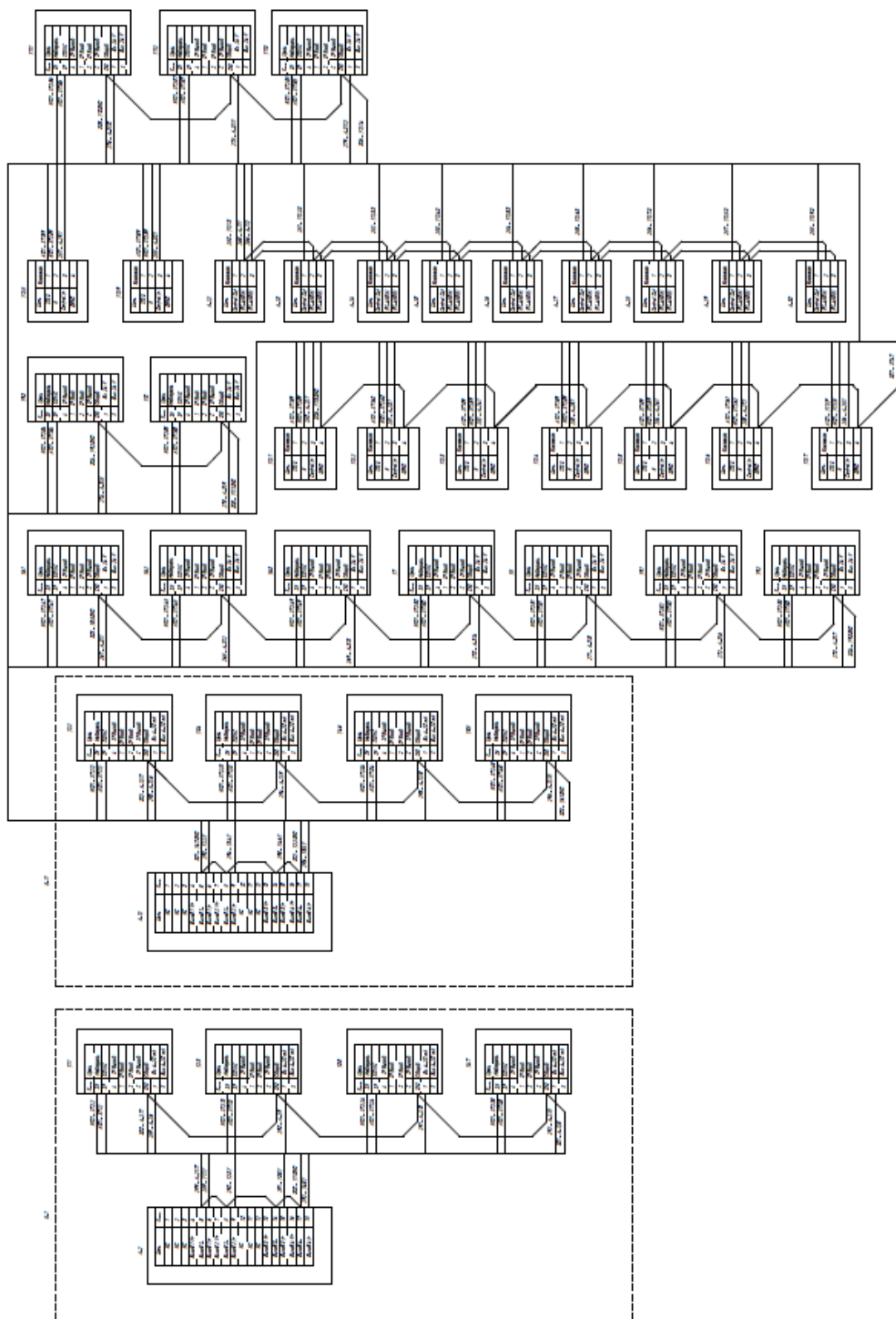


Рисунок Г.2 – Схема соединений (Лист 2)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д Алгоритм работы

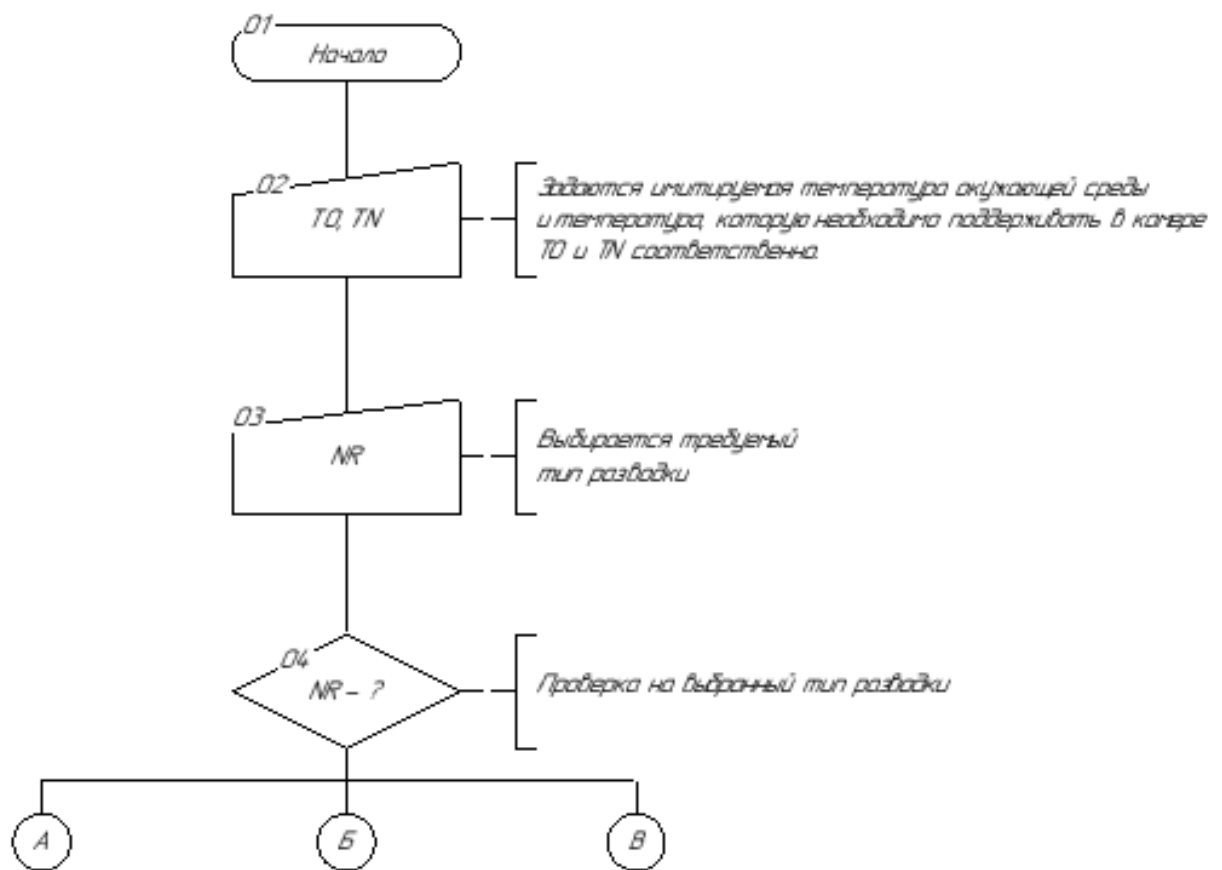


Рисунок Д.1 – Алгоритм работы (Лист 1)



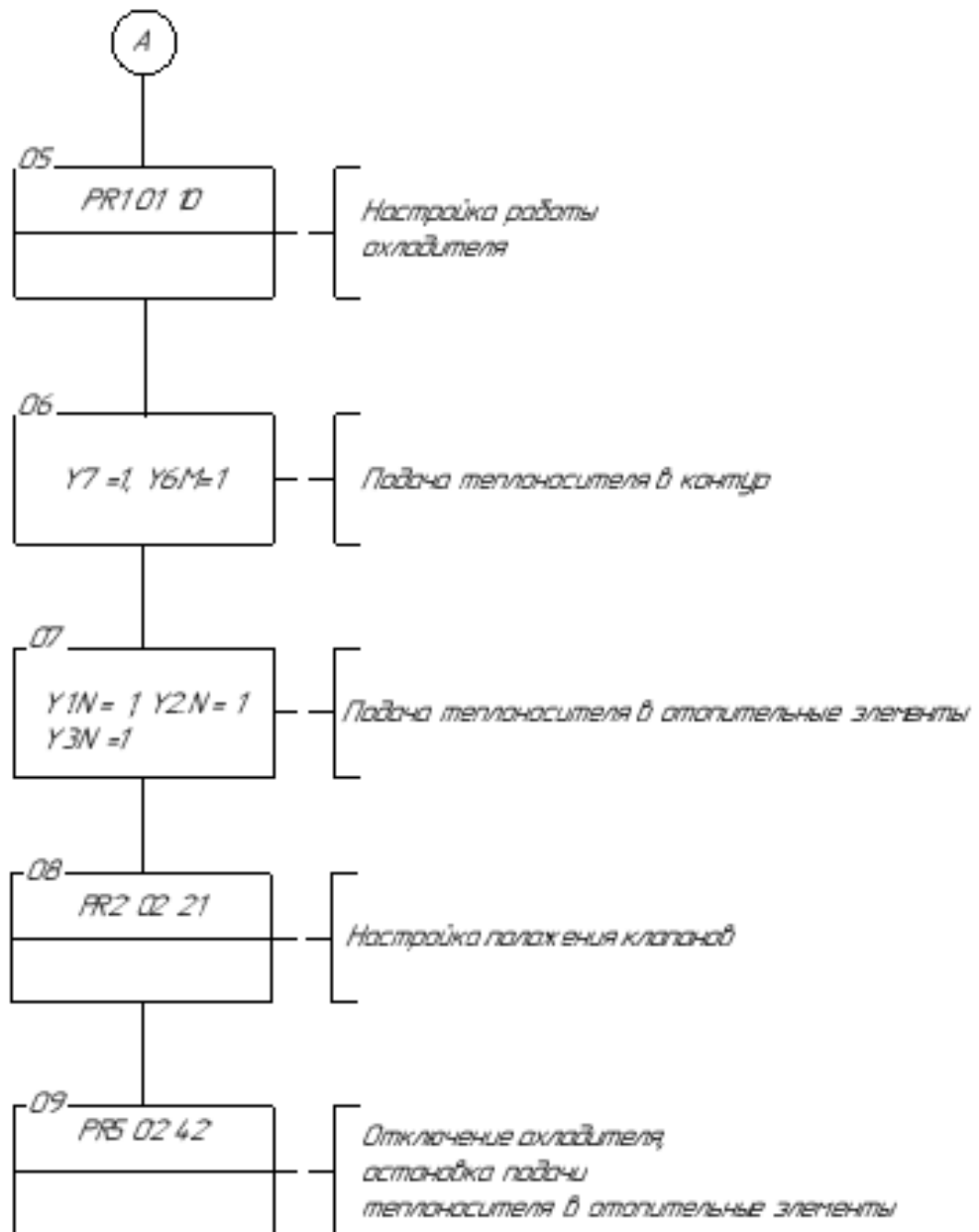


Рисунок Д.2 – Алгоритм работы (Лист 2)

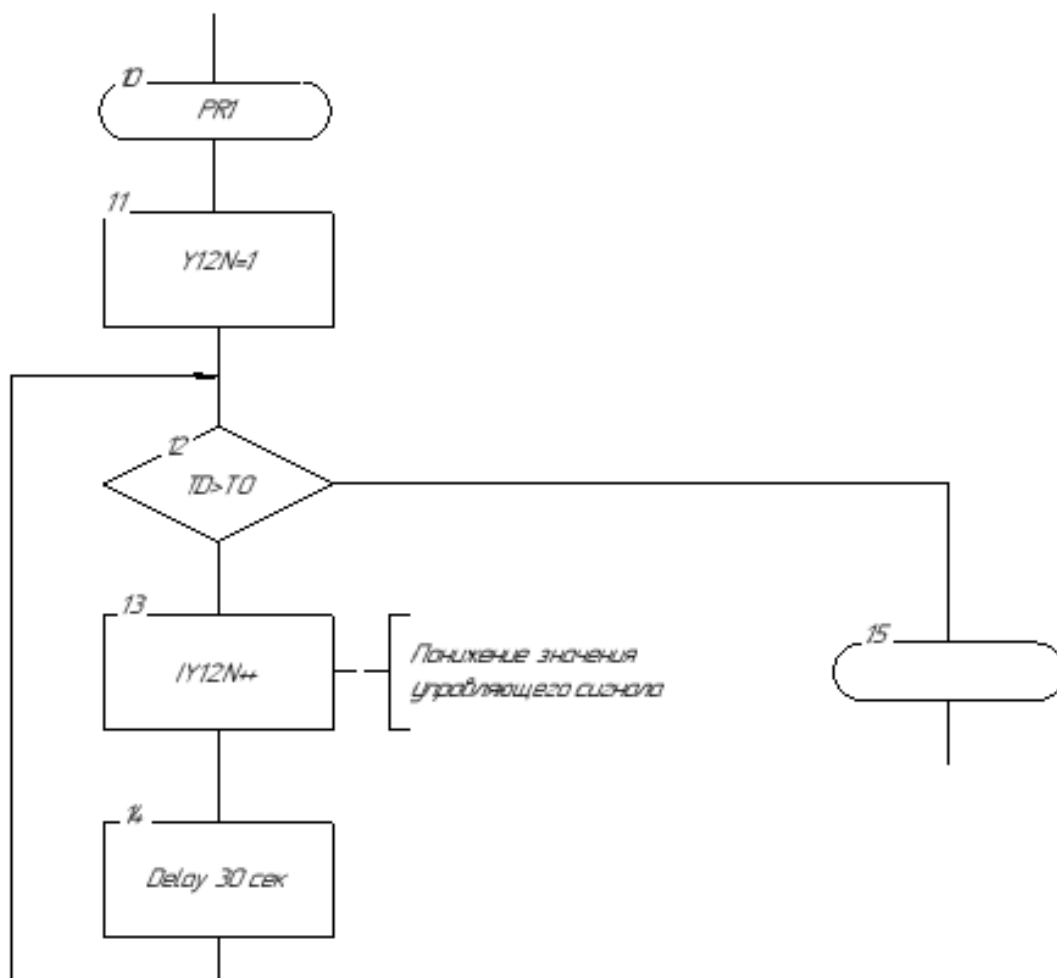


Рисунок Д.3 – Алгоритм работы (Лист 3)

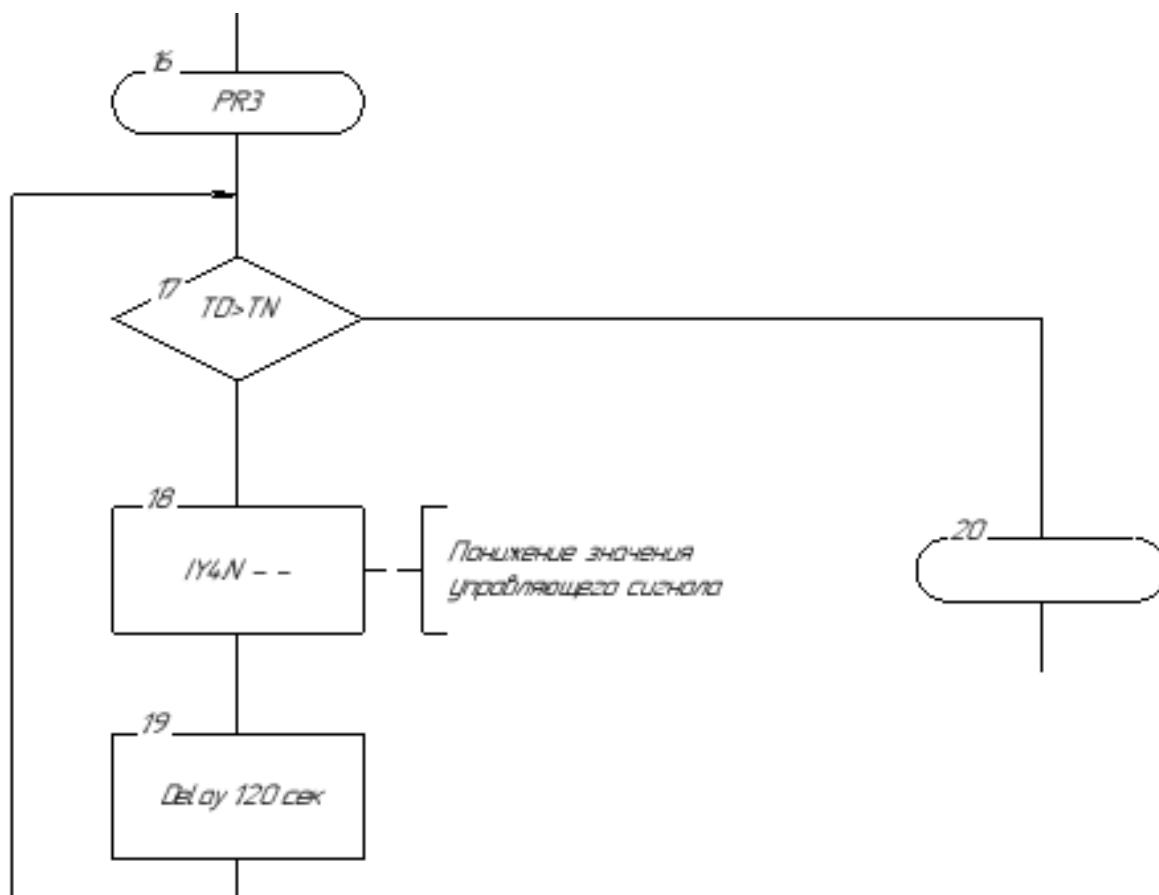


Рисунок Д.4 – Алгоритм работы (Лист 4)

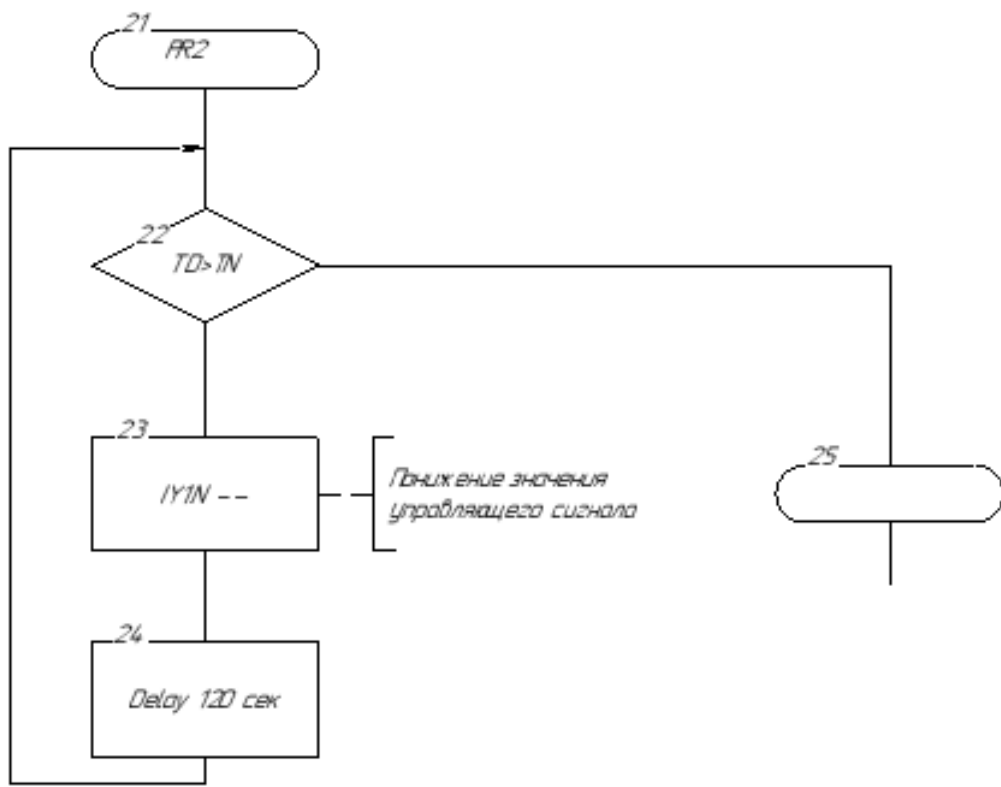


Рисунок Д.5 – Алгоритм работы (Лист 5)

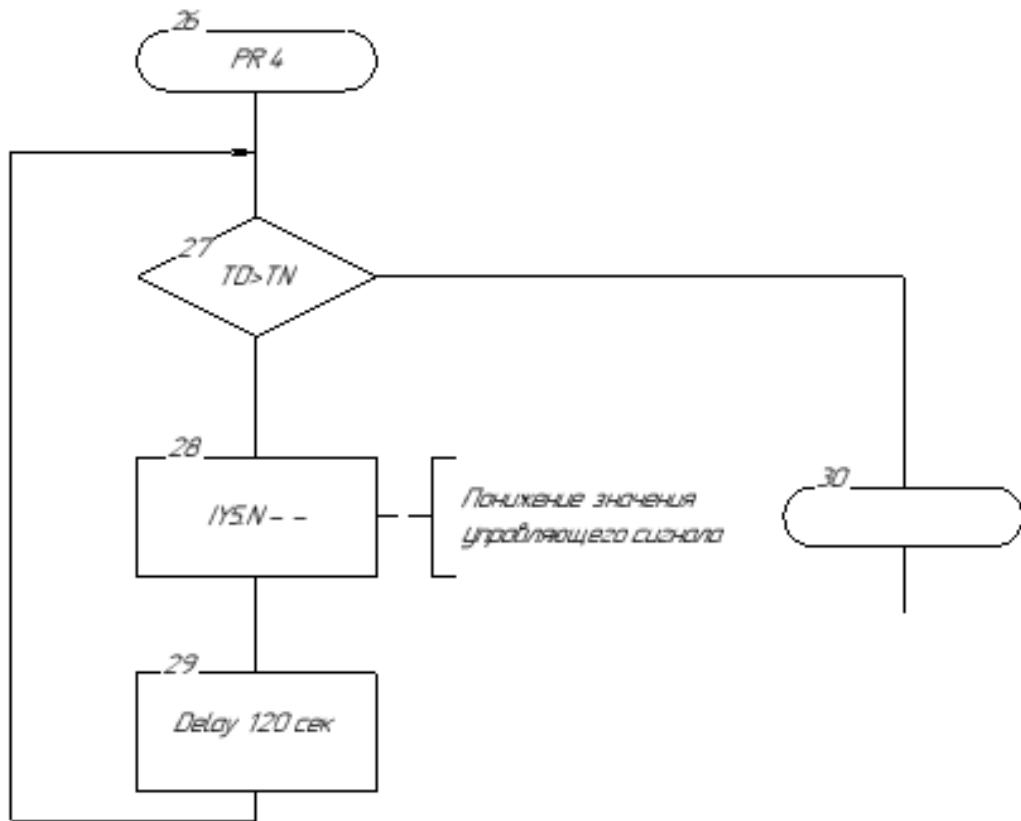


Рисунок Д.6 – Алгоритм работы (Лист 6)

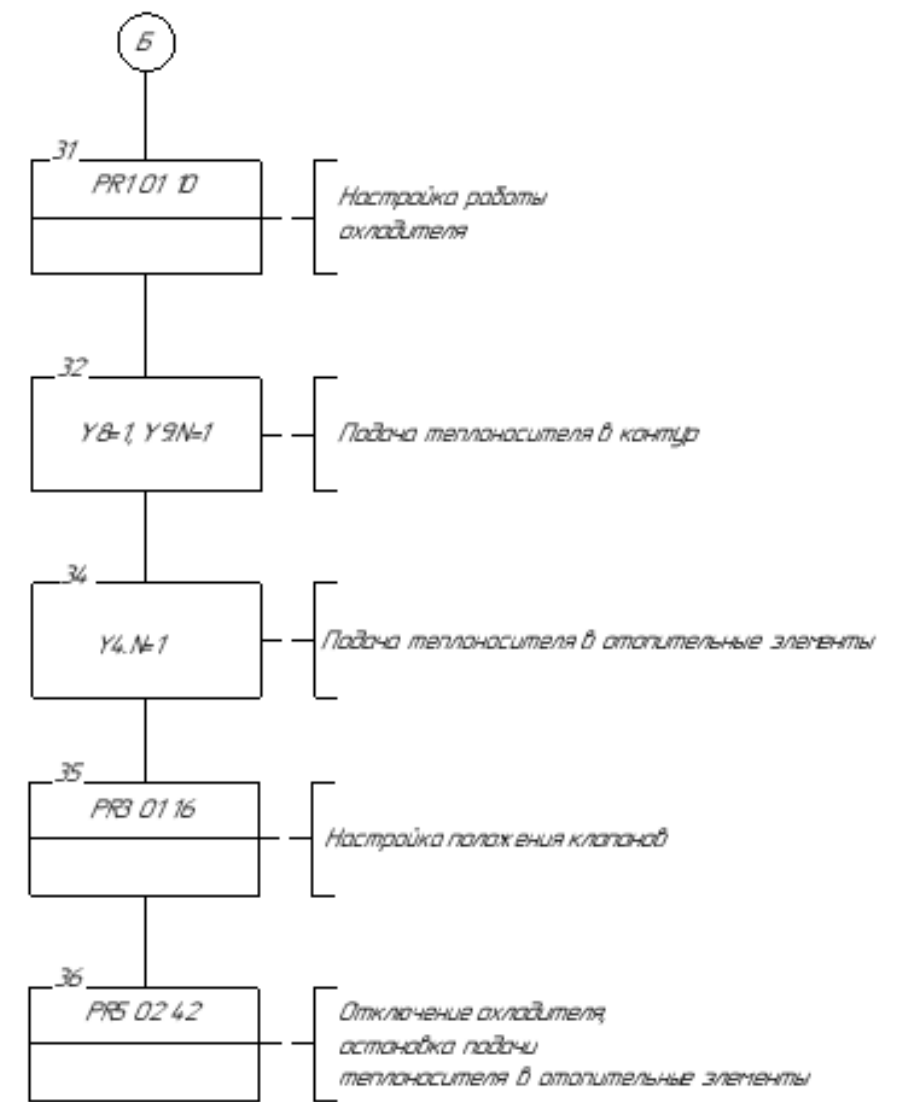


Рисунок Д.7 – Алгоритм работы (Лист 7)

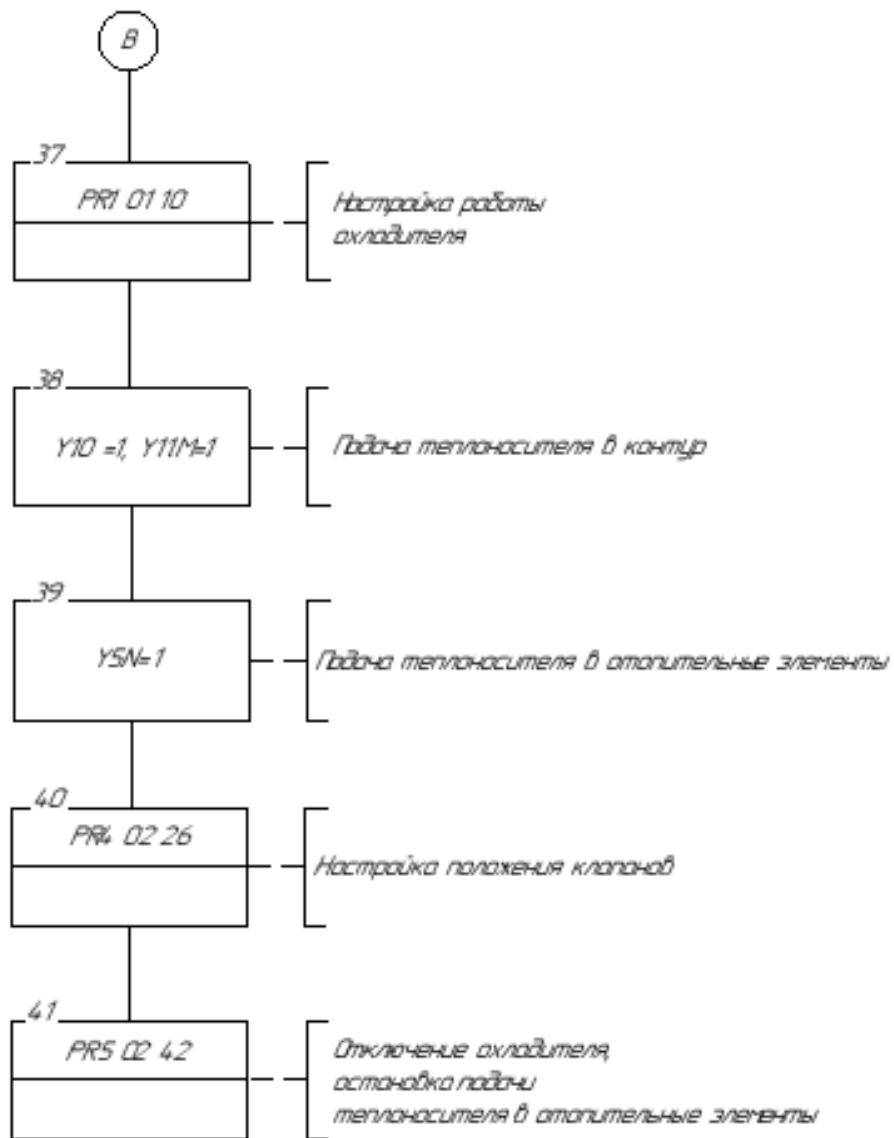


Рисунок Д.8 – Алгоритм работы (Лист 8)

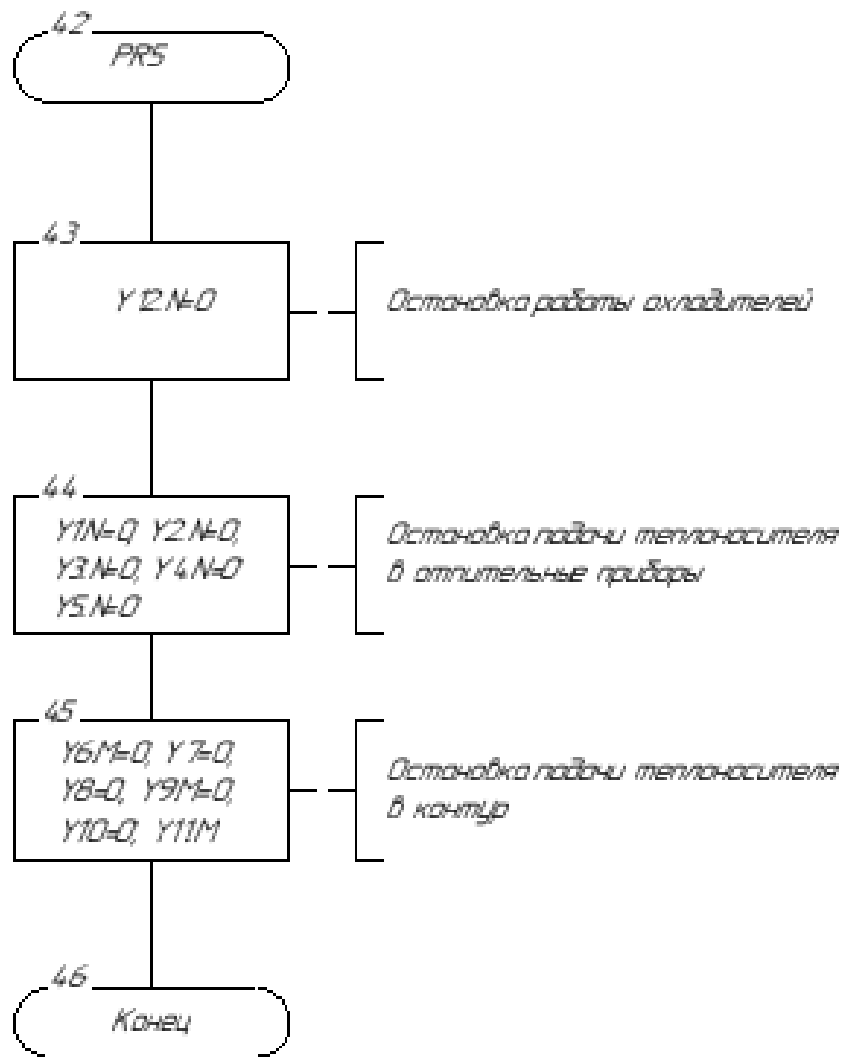


Рисунок Д.9 – Алгоритм работы (Лист 9)



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е Перечень элементов



## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж SCADA-система



Рисунок Ж.1 – Первый экран SCADA-системы

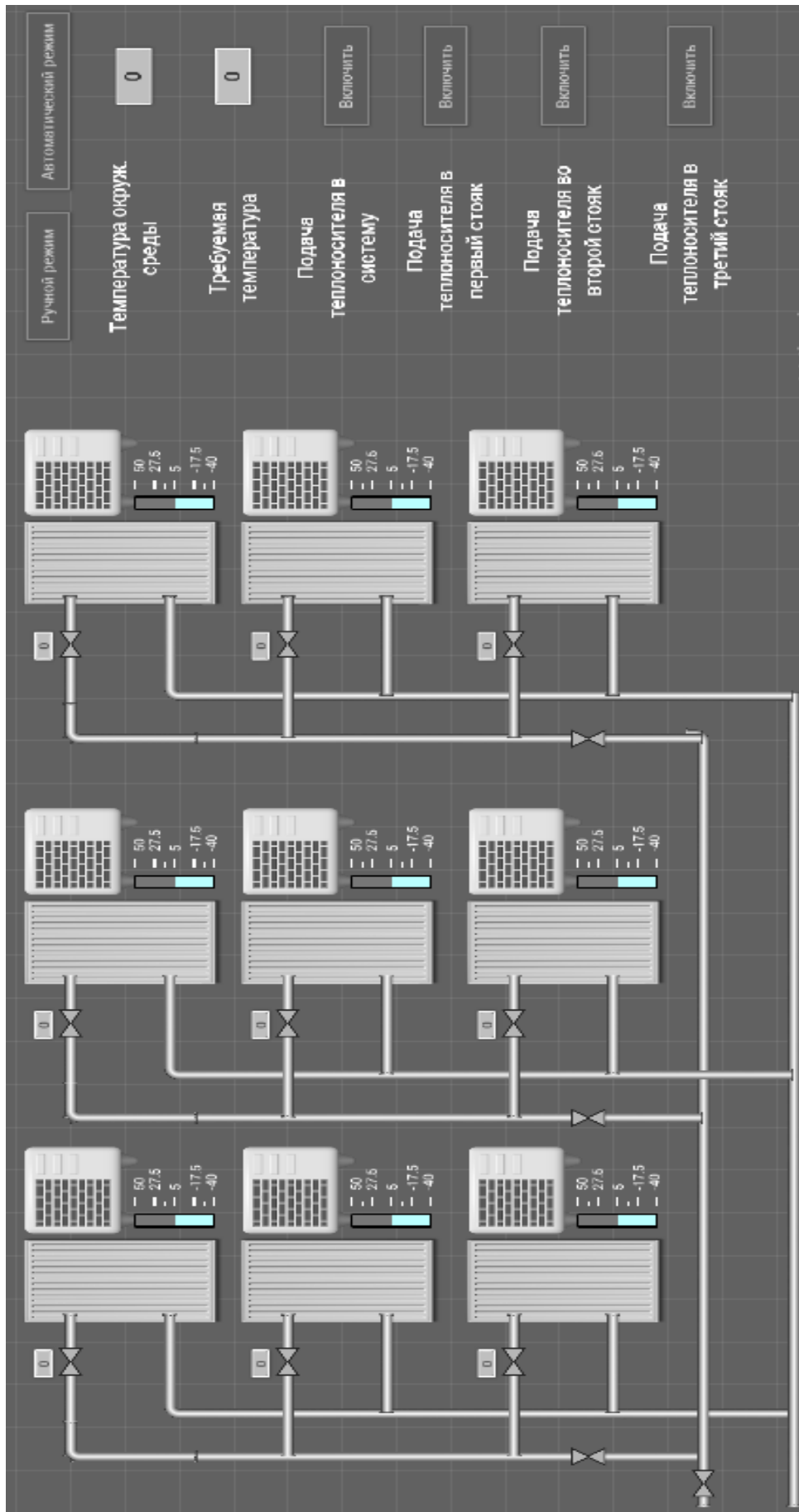


Рисунок Ж.2 – Второй экран SCADA-системы

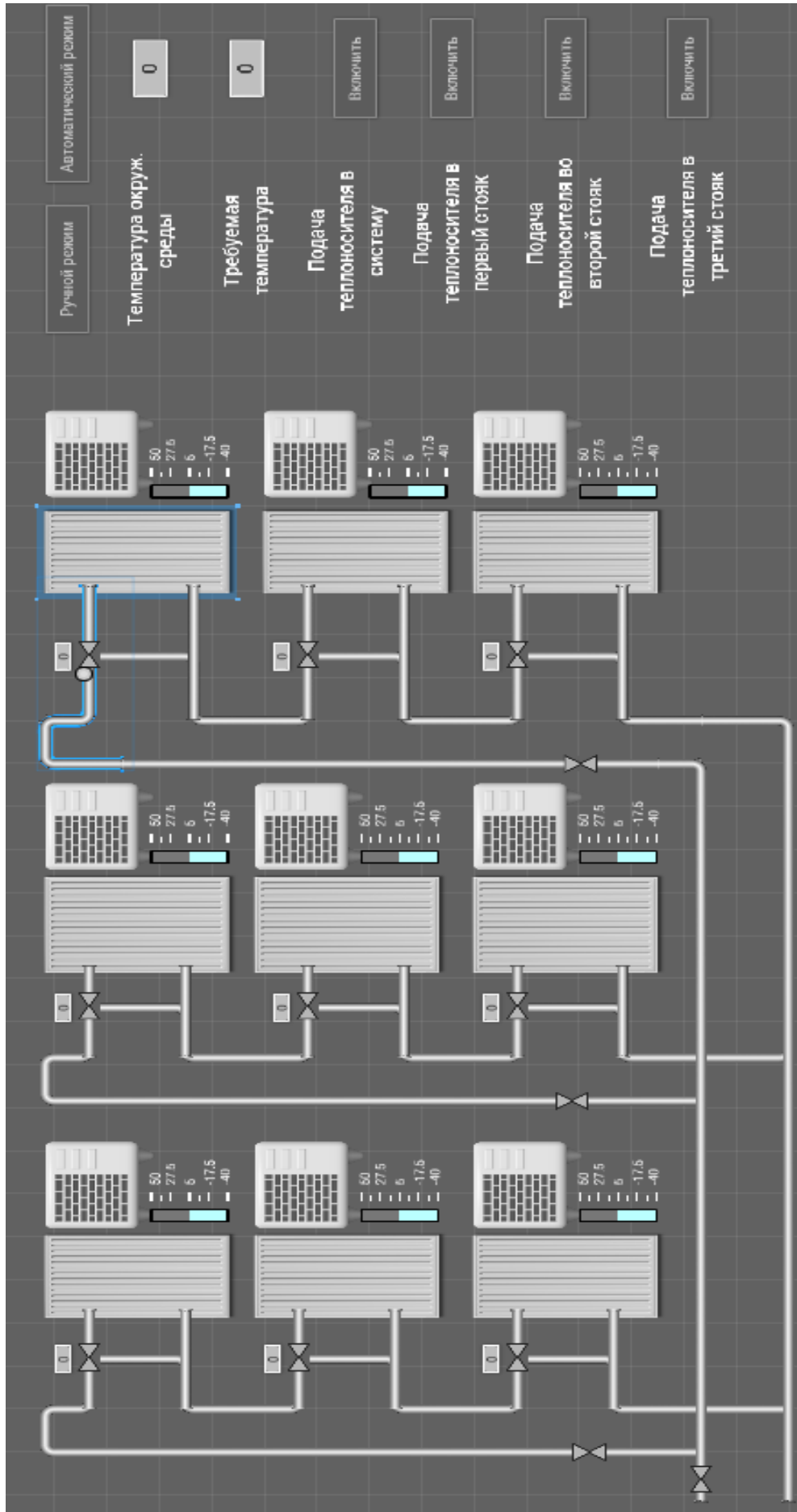


Рисунок Ж.3.3 – Третий экран SCADA-системы