

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Направление подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов
и производств

Направленность (профиль) образовательной программы Автоматизация техноло-
гических процессов и производств в энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

и.о. зав. кафедрой

 О.В. Скрипко
«25» июня 2025г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система управления котла Е-420-140, работаю-
щего на газе и угле

Исполнитель

студент группы 141-об


(подпись, дата)

К.В. Лозовик

Руководитель

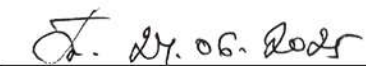
доцент, канд. техн. наук


(подпись, дата)

Д.А. Теличенко

Консультант по безопасности
и экологичности

доцент, канд. техн. наук


(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормконтроль

Профессор, д-р техн. наук


(подпись, дата)

О.В. Скрипко

Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

и.о. зав. кафедрой

 О.В. Скрипко
подпись И.О. Фамилия

«25» июня 2025г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Лозовик Кирилла Владимировича

1. Тема выпускной квалификационной работы Автоматизированная система управления котла Е-420-140, работающего на газе и угле

(утверждена приказом от 29.04.25 № 1104-уч)

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 26.06.2025 г.

3. Исходные данные выпускной квалификационной работе:

1) Рабочая документация Благовещенской ТЭЦ;

2) Приказ об утверждении темы бакалаврской работы;

3) Материалы, собранные в ходе практики.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

1) Описание объекта автоматизации;

2) Технические решения по автоматизации;

3) Программные решения по автоматизации;

4) Проектирование систем управления и моделирование работы АСУТП.

5. Перечень материалов приложения:

1) Техническое задание;

2) Полная электрическая схема;

3) Семь листов формата А1:

Лист 1: Принципиальная схема барабанного котла;

Лист 2: Функциональные схемы нескольких участков;

Лист 3, лист 4: Полная электрическая схема подключения оборудования;

Лист 5: Программные блоки, описывающие логику управления и регулирования системы;

Лист 6: Программные блоки, описывающие логику работы имитационной модели;

Лист 7: Некоторые окна человеко-машинного интерфейса SCADA-системы.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов):

Безопасности и экологичность – Булгаков А.Б., доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания: 01.02.2025 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Теличенко Денис Алексеевич, доцент, канд. техн. наук
(фамилия имя отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 01.02.2025 
(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 71 страницу, 51 рисунок, 3 таблицы, 32 источника, 2 приложения.

КОТЛОАГРЕГАТ, ПОЛНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, ТОПЛИВО, ПРОГРАМИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ, УГОЛЬ, ГАЗ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В работе описан процесс создания АСУТП котлоагрегата, работающего на двух видах топлива – уголь и газ; SCADA-системы для дистанционного управления процессом. Описаны различные системы регулирования котлоагрегата, составлены структурные схемы данных систем.

Также было подобрано необходимое оборудование, рассмотрены схемы и способы их подключения. По итогу была составлена схема подключения аппаратной части.

В программно-технологическом комплексе «Сура» была написана программа управления всеми разобранными системами. Программа управления каждой из систем работает в отдельном потоке и не имеет взаимосвязей с программами других систем.

Для проверки работы созданной SCADA-системы и алгоритмов управления были составлены упрощенные модели рассматриваемых систем. Вся модель работает в одном потоке, системы просчитываются последовательно друг за другом.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Описание объекта автоматизации	9
1.1 Устройство барабанного парового котлоагрегата	9
1.2 Регулирование подачи газовой смеси, горелок, первичного воздуха и тепловой нагрузки	10
1.3 Регулирование разрежения в топке	13
1.4 Регулирование питания котла	14
1.5 Регулирование температуры первичного воздуха за калорифером	15
1.6 Регулирование температуры перегретого пара	17
2 Технические решения по автоматизации	20
2.1 Выбор датчика давления	20
2.2 Выбор датчика измерения расхода	21
2.3 Выбор датчика уровня воды в барабане	22
2.4 Выбор датчика температуры	23
2.5 Выбор датчика наличия пламени	23
2.6 Выбор дополнительных устройств	24
2.7 Выбор реализации системы	27
2.8 Выбор контроллера	28
2.9 Схема подключения Эмис-Вихрь	30
2.10 Схема подключения Эмис-Бар	30
2.11 Схема подключения термопары	31
2.12 Схема подключения ФДСА-03М-01-IP65	31
2.13 Схема подключения исполнительного механизма	32
2.14 Внешний вид контроллера	32
3 Проектирование систем управления и моделирование работы асуп	33
3.1 Работа в приложении «Администратор БД»	33
3.2 Работа в приложении «Базис»	34
3.3 Создание имитационной модели в приложении «Полис»	35
4 Программные решения по автоматизации	43
4.1 Участок управления подачей воздуха	43
4.2 Участок управления газовыми горелками	45

4.3 Участок управления подогревом первичного воздуха	46
4.4 Участок управления уровнем воды в барабане	46
4.5 Участок управления пароперегревателем	48
4.6 Участок управления расходом перегретого пара	48
4.7 Логика смены топлива, растопки и останова	49
5 Создание человеко-машинного интерфейса для scada-системы	50
5.1 Общий вид	50
5.2 Окно подачи газового топлива	50
5.3 Окна пароперегревателя и воздухоподогревателя	52
5.4 Оставшиеся окна	53
6 Безопасность и экологичность	55
6.1 Безопасность	55
6.2 Экологичность	57
6.3 Чрезвычайные ситуации	58
Заключение	61
Библиографический список	62
Приложение А. Техническое задание	65
Приложение Б. Полная электрическая схема	70

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АСУ – автоматизированная система управления;

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ДВ – дутьевой вентилятор;

ДС – дымосос;

ГПЗ – главная паровая задвижка;

КНО – клапан нормально открытый;

КНЗ – клапан нормально закрытый;

ЗЗУ – запально-защитное устройство;

ЗРА – запорно-регулирующая арматура;

ЗУ – задающее устройство;

РТН – регулятор тепловой нагрузки;

РРГС – регулятор расхода газовой смеси;

РПВ – регулятор первичного воздуха;

АСР – автоматизированная система регулирования;

РОВ – регулятор воздуха;

РР – Регулятор разряжения;

РП – регулятор питания;

РТ – регулятор температуры;

МЭО – механизм электрический однооборотный;

МЭОФ – механизм электрический однооборотный фланцевый;

ПБР – пускатель бесконтактный реверсивный;

БП – блок питания;

ИТП – индикатор токовой петли;

БД – база данных;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

ИМ – имитационная модель.

ВВЕДЕНИЕ

АСУТП – это комплекс технических и программных средств, обеспечивающих выработку решений на основе автоматизации процессов и реализацию управляющих воздействий на технологический объект управления [1].

Управление технологическим процессом тепловых электростанций связано с изменением производительности котлов и турбогенераторов. В данной работе необходимо разработать автоматизированную систему управления котлом.

Управление паровым котлом, работающим на разном топливе это сложная техническая задача, ввиду нелинейности процессов горения и наличия переменных нагрузок. Также стоит учесть, что при переключении с одного вида топлива на другой, режим работы системы может отойти от оптимальных значений, что может привести к увеличению эксплуатационных затрат, снижению КПД, а также может сопровождаться резкими изменениями текущей выработки.

Разработка автоматизированной системы управления (АСУ) позволит избавиться от выше описанных проблем, позволит повысить энергоэффективность котла, оптимизировать процесс горения, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить защиты от возникновения аварийных ситуаций.

Для создания АСУ необходимо в первую очередь подобрать оборудование, различные измерительные преобразователи, управляющие органы, запорно-регулирующую арматуру и контроллер. Для обеспечения операторов необходимой и своевременной информацией необходимо разработать SCADA-систему, реализовать доступный и понятный интерфейс с возможностью управления различными частями большой системы.

Для отражения требований к системе, сроков реализации и другой информации было составлено техническое задание, которое представлено в приложении А.

подают воздух в количестве $Q_{\text{в}}$. Его нагнетают с помощью вентилятора ДВ и предварительно нагревают в воздухоподогревателе 9. Образовавшиеся в процессе горения дымовые газы $Q_{\text{г}}$ отсасывают из топki дымососом ДС. Попутно они проходят через поверхности нагрева пароперегревателей 5, 6, водяного экономайзера 8, воздухоподогревателя 9 и удаляются через дымовую трубу в атмосферу.

Процесс парообразования протекает в подъемных трубах циркуляционного контура 2, экранирующих камерную топку и снабжаемых водой из опускных труб 3. Насыщенный пар $G_{\text{б}}$ из барабана 4 поступает в пароперегреватель, где нагревается до установленной температуры за счет радиации факела и конвективного обогрева топочными газами. При этом температуру перегрева пара регулируют в пароохладителе 7 с помощью впрыска воды $G_{\text{впр}}$.

Основными управляемыми величинами котла являются: расход перегретого пара $G_{\text{пп}}$, давление перегретого пара $P_{\text{пп}}$ и температура перегретого пара $t_{\text{пп}}$. Расход пара является не постоянной величиной, в свою очередь давление и температуру стараются поддерживать в допустимых пределах отклонений, что необходимо по определенным требованиям эксплуатации турбины или различных потребителей тепловой энергии [2].

Исходя из данного технологического процесса можно выделить несколько систем регулирования в котлоагрегате: питание котла, непрерывная продувка, разрежение в топке, температура первичного воздуха за калорифером, температура перегретого пара, подача топлива, первичный воздух. Система должна работать на одном из двух видов топлива, использование их одновременно недопустимо. Из описанных выше систем видоизменяется лишь система топливоподачи. Рассмотрим ниже некоторые из систем.

1.2 Регулирование подачи газовой смеси, горелок, первичного воздуха и тепловой нагрузки

При использовании в качестве топлива газа, необходимо контролировать подачу газа на горелки, которые нужно зажигать и контролировать процесс их горения [3].

Автоматизированная система розжига газовых горелок должна обеспечивать безопасный розжиг горелок, правильную эксплуатацию, регулирование давления газа в газопроводе, подачу газа на горелки, в зависимости от текущего состояния всей системы и соответствовать требованиям ГОСТ EN 298-2015. «Автоматические системы контроля горения для горелок и аппаратов, сжигающих газообразное или жидкое топливо» [4]. Требования к взрывозащите, быстродействию системы защиты и параметрам используемого оборудования перечислены в приказе Ростехнадзора от 01.01.2020 № 531 Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления» [5], а также в технических условиях на выполнение технологических защит и блокировок при использовании мазута и природного газа в котельных установках в соответствии с требованиями взрывобезопасности [6].

Таким образом, примерный вид структурной схемы контроля горелок и подачи газа имеет следующий вид (рисунок 1.2) [3].

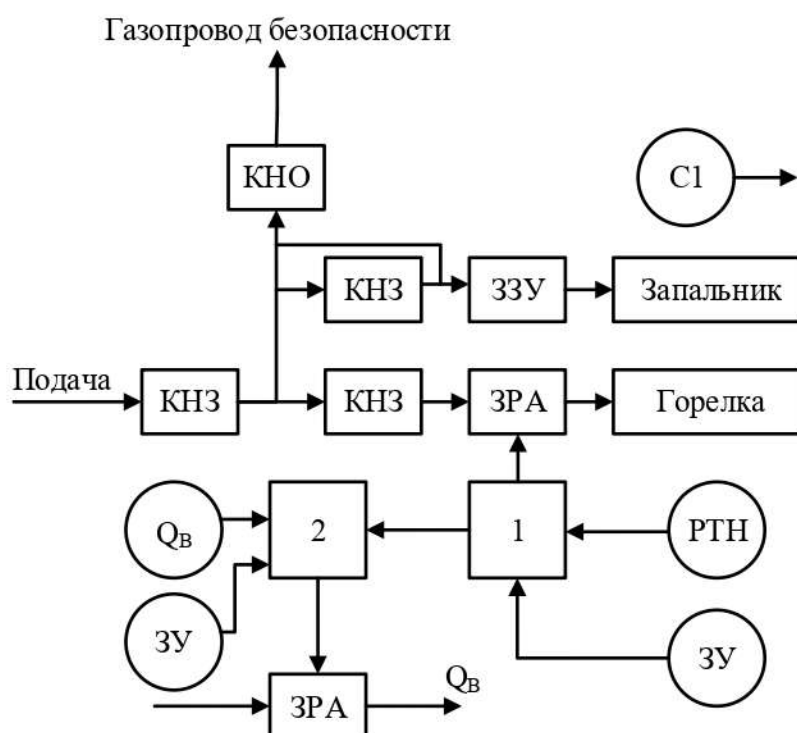


Рисунок 1.2 – Структурная схема регулирования подачи газовой смеси, горелок и первичного воздуха

На рисунке 1.2 приняты следующие обозначения:

- КНО – Клапан нормально открытый;
- КНЗ – Клапан нормально закрытый;
- С1 – Сигнал наличия пламени;
- ЗЗУ – Запально-защитное устройство;
- ЗРА – Запорно-регулирующая арматура;
- ЗУ – Задающее устройство;
- QB – Расход первичного воздуха;
- РТН – Выходной сигнал с регулятора тепловой нагрузки;
- 1 – Регулятор расхода газовой смеси (РРГС);
- 2 – Регулятор первичного воздуха (РПВ).

Сигнал с регулятора тепловой нагрузки (РТН) «по теплоте» поступает на регулятор расхода газовой смеси (РРГС), так же на него подается задание. Регулятор выдает управление на запорно-регулирующую арматуру (ЗРА) расхода. Далее сигнал с РРГС поступает на регулятор первичного воздуха (РПВ), который поддерживает расход первичного воздуха, подаваемого в газовую смесь, в соответствии с подачей в нее газа. На РПВ подаются сигналы по расходу текущего воздуха, задание и выходной сигнал по текущему расходу, тем самым на выходе формируется сигнал по управлению исполнительным механизмом на закрытие или открытие ЗРА первичного воздуха.

Сигнал тепловой нагрузки (сигнал «по теплоте») формируется в единицах расхода пара. из расхода пара за котлом и изменении давления в барабане. В формировании данного участвует главный регулятор, на который подается расход пара за котлом и давление в барабане [7]. Сигнал «по теплоте» был задействован в предыдущей системе, он поступил на РРГС (рисунок 1.2).

Схема формирования сигнала «по теплоте» представлена на рисунке 1.3.

На рисунке 1.3 приняты следующие обозначения:

- $G_{пп}$ – Датчик расхода перегретого пара;
- $P_{пп}$ – Датчик давления перегретого пара за котлом;
- $P_{б}$ – Датчик давления в барабане;

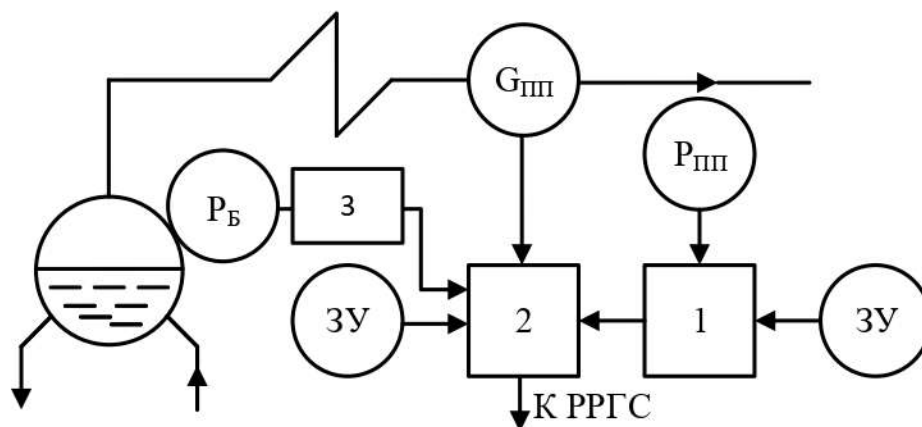


Рисунок 1.3 – Схема формирования сигнала «по теплоте»

- 3У – Задающее устройство;
- 1 – Главный регулятор;
- 2 – Регулятор тепловой нагрузки;
- 3 – Дифференциатор;
- РРГС – Регулятор расхода газовой смеси.

1.3 Регулирование разрежения в топке

АСР разрежения предназначена для поддержания материального соответствия между количеством газов, образующихся при сжигании топлива, и количеством газов, удаляемых из котла. Показателем этого соответствия служит разрежение в топке котла.

АСР разрежения должна обеспечить при стационарном режиме работы котла максимальное отклонение разрежения не более ± 20 Па, а при скачкообразном изменении нагрузки на 10 % исходное номинальное разрежение не должно изменяться более чем на 30 Па [8].

Регулирование разрежения обычно осуществляется посредством изменения количества уходящих газов, отсасываемых дымососами. Реализуя принцип управления по отклонению. Структурная схема представлена на рисунке 1.4.

На рисунке 1.4 приняты следующие обозначения:

- S_T – Датчик разрежения в верхней части топки;
- РОВ – Регулятор воздуха;

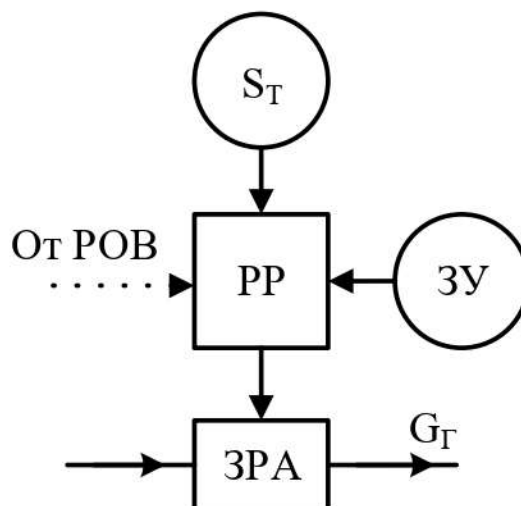


Рисунок 1.4 – АСР разрежения в топке

- РР – Регулятор разрежения;
- ЗУ – Задающее устройства;
- G_T – Расход уходящих газов.

Разрежение S_T в верхней части топки измеряется первичным измерительным преобразователем (датчиком) разрежения и подается на регулятор разрежения РР, дополнительно на РР может поступать сигнал от регулятора воздуха РОВ. РР воздействует на направляющий аппарат дымососа ДС (синхронно на оба дымососа «А», «Б»).

1.4 Регулирование питания котла

АСР регулирования питания котла регулирует уровень воды в барабане, путем открытия или закрытия регулирующего клапана. В зависимости от положения клапана изменяется текущий расход питательной воды. Структурная схема представлена на рисунке 1.5.

На рисунке 1.5 приняты следующие обозначения:

- G_{III} – Расход перегретого пара;
- Н – Уровень воды в барабане;
- ЗУ – Задающее устройство;
- 1 – Регулятор питания (РП);
- ЗРА – Запорно-регулирующая арматура;

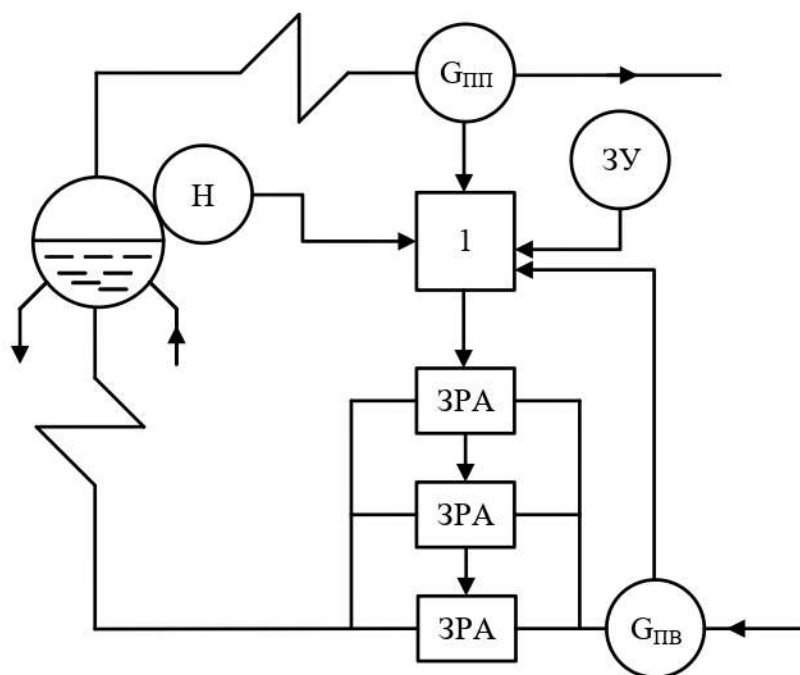


Рисунок 1.5 – АСР питания водой барабана

– $G_{ПВ}$ – Расход питательной воды.

На Регулятор питания (РП) поступают три сигнала: уровень воды в барабане, расход питательной воды и расход перегретого пара. Задача РП – поддержание баланса между расходами воды и пара. Изменение уровня воды в барабане – следствие нарушения этого баланса. В зависимости от текущих состояний РП воздействует на основной регулирующий клапан питательной воды и на вспомогательные при необходимости. Также необходимо учитывать явление под названием «набухание уровня». Данное явление возникает в первые моменты увеличения расхода пара и появлению возмущения. Уровень воды в барабане возрастает в результате резкого уменьшения давления пара, что в свою очередь приводит к увеличению паросодержания в подъемных трубах циркуляционного контура и росту уровня [9].

1.5 Регулирование температуры первичного воздуха за калорифером

Для подогрева воздуха, поступающего в котел, используют воздухоподогреватель. Проходящий по трубам воздух обогревается дымовыми газами. При сжигании же топлива образуется сера и ее соединения. Данные соединения, вступаю в реакция с водяными парами или конденсатом на трубах (возникающем при

слишком низкой температуре поступающего воздуха) образуют серную кислоту, которая вызывает коррозию. Коррозия разрушает металл поверхностей нагрева, приводит к образованию трудно удаляемых отложений и, в конечном счете, уменьшает время безотказной работы котлоагрегата, увеличивает стоимость и сложность ремонта.

Для защиты от подобного исхода производят первичный подогрев воздуха, подаваемого в воздухоподогреватели до температуры, превышающей температуру точки росы продуктов горения на 10-15°C. Для этих целей используются калориферные установки, на выходе из которых воздух должен иметь температуру не менее 50°C. Сами калориферы относят к первой ступени воздухоподогревателя (будет рассмотрен далее) [6]. Структурная схема данного участка представлена на рисунке 1.6.

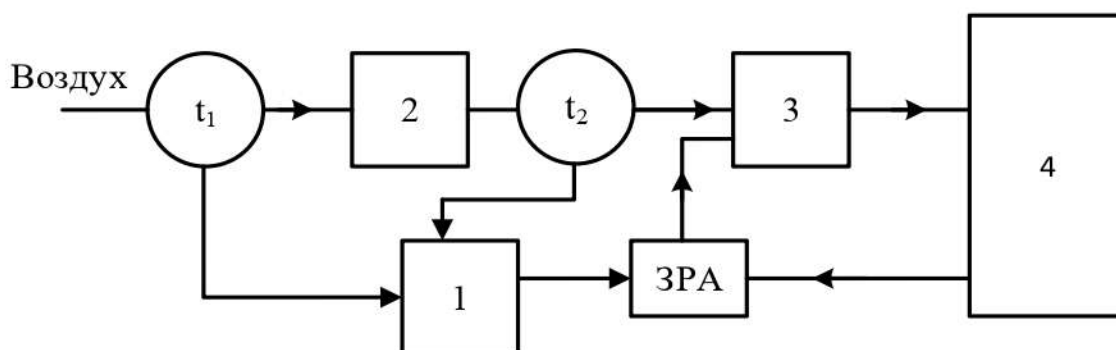


Рисунок 1.6 – АСР температуры за калорифером

На данном рисунке приняты следующие обозначения:

- t_1 , t_2 – Температуры воздуха по «фронту» и «тылу» соответственно;
- ЗРА – Запорно-регулирующая арматура;
- 1 – Регулятор температуры (РТ);
- 2 – Калорифер;
- 3 – Дутьевой вентилятор;
- 4 – Вторая ступень воздухоподогревателя.

Регулирование температуры воздуха осуществляется измерением температуры, по «тылу» и «фронту» котла справа и слева, и подачи на всас дутьевого вентилятора отбора горячего воздуха из второй ступени воздухоподогревателя с

помощью регулирующего клапана, приводимого в движение исполнительным механизмом МЭО [8].

1.6 Регулирование температуры перегретого пара

АСР температуры перегретого пара должна поддерживать заданный температурный режим в паровом тракте котла. С этой целью весь тракт разбивают на несколько участков, на выходе каждого из которых должна поддерживаться определенная температура, которую определяет завод-изготовитель или наладочная организация.

Регулирование температуры первичного перегрева пара. Для барабанных котлов наиболее распространен способ регулирования температуры пара на выходе с помощью пароохладителей. Конструктивно участок регулирования первичного перегрева образует часть поверхности нагрева пароперегревателя, включая обогреваемые и необогреваемые трубы, от места ввода охлаждающего агента до выходного коллектора, в котором необходимо поддерживать заданную температуру [2, 8].

Существуют различные методы регулирования температуры пара такие как: смешивание, поверхностное охлаждение, изменение теплового воздействия на пароперегреватель. Данные способы имеют как свои преимущества, так и недостатки. К примеру: при регулировании температуры изменением теплового воздействия достигается либо изменением положения факела, что приводит к снижению экономичности сжигания топлива ввиду нарушения настроенного топочного режима; либо рециркуляцией дымовых газов, что усложняет конструкцию котла, уменьшает его экономичность, ввиду траты энергии на собственные нужды и увеличивает потери теплоты; при перераспределении дымовых газов по газоходам с помощью специальных заслонок недостатком является то, что заслонки работают в очень тяжелых условиях.

При регулировании температуры смешиванием необходимо проводить впрыск в пар либо питательной воды, либо собственного конденсата. Недостатком такого метода является необходимость создания специальной установки для приготовления собственного конденсата и уменьшение располагаемого перепада

давлений на клапане впрыска, с уменьшением нагрузки котла. Также, даже при наличии установок собственного конденсата, впрыск питательной воды все еще является резервным способом, ввиду чего возникает вопрос солесодержания этой воды. Брать воду целесообразно не из напорной линии насоса, а либо из его промежуточной ступени, либо вводить дополнительную АСР давления воды на впрыск перед клапанами впрыска.

При поверхностном охлаждении недостатком является конструктивно более сложное исполнение и более высокая инерционность, в сравнении с впрыскивающим пароохладителем. Ввиду этого поверхностные пароохладители не имеют широкого применения, их используют при слишком высоком солесодержании питательной воды, из-за чего ее нельзя использовать на впрыск и только на котлах среднего давления паропроизводительностью до 75 т/ч [8].

Несмотря на свои недостатки, наиболее широко применяется метод регулирования впрыском собственного конденсата. Существуют различные методы реализации АСР перегретого пара, приняв их во внимание, составим структурную схему регулирования перегретого пара, представленную на рисунке 1.7.

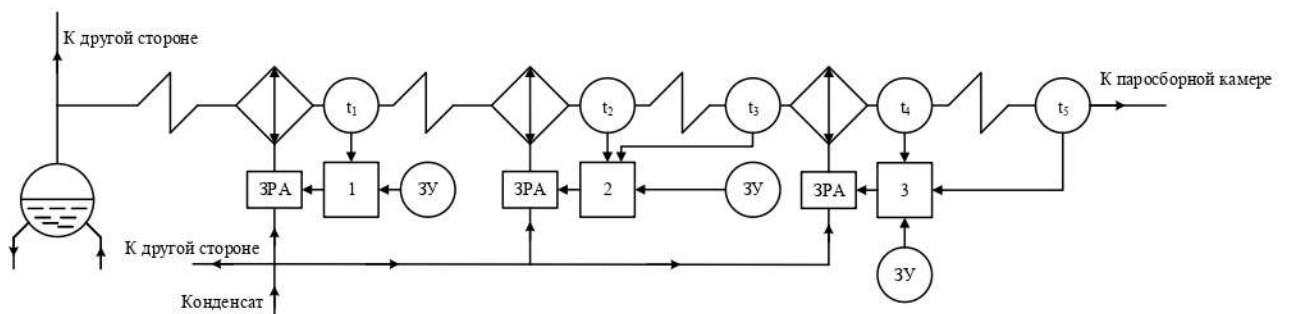


Рисунок 1.7 – АСР температуры перегретого пара и давления воды на впрыск

На данном рисунке приняты следующие обозначения:

- t_1 – Температура пара за растопочным впрыском;
- t_2 – Температура пара за впрыском I ступени;
- t_3 – Регулируемая температура I ступени;
- t_4 – Температура пара за впрыском II ступени;
- t_5 – Температура пара на выходе из котла;

- 1 – Регулятор растопочного впрыска;
- 2 – Регулятор впрыска I ступени;
- 3 – Регулятор впрыска II ступени;
- ЗУ – Задающее устройство;
- ЗРА – Запорно-регулирующая арматура;
- Н – Уровень конденсата в сборнике.

Показана только левая сторона пароперегревателя, так как правая полностью идентична ей. Каждый регулятор воздействует на соответствующий клапан впрыска, изменяя расход конденсата на впрыск, в зависимости от текущего значения температуры. При увеличении впрыска температура пара снижается, при уменьшении – возрастает. Также регулятор получает значение температуры непосредственно за впрыском для компенсации запаздывания [8].

2 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ

Исходя из описания участков сделаем вывод что нам необходимы: датчики температуры, давления, расхода, уровня, наличия факела. Также необходимы исполнительные механизмы, запорно-регулирующая арматура, запальное устройство и контроллер. Стоит отметить, что выбираемое оборудование должно обладать искробезопасным и взрывозащищенным исполнением.

2.1 Выбор датчика давления

В качестве датчика давления может быть предложен Метран-150. Для измерения давления пара и газа в системе был выбран датчик – МЕТРАН-150-TG4 с максимальным верхним пределом измерений – 25 МПа. Для измерения разряжения был выбран Метран-150-TGR0 с верхним пределом измерений – 34,47 кПа. Схема подключения представлена на рисунке 2.1 [10, 11].

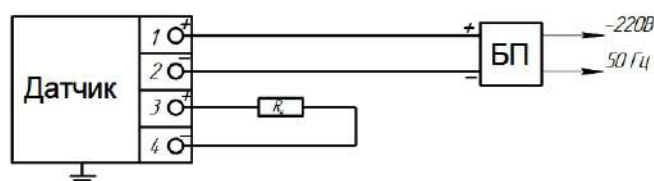


Рисунок 2.1 – Схема подключения датчика Метран-150-TG4

Из рисунка видно, что клеммы 1 и 2 используются для питания, а клеммы 3 и 4 для передачи сигнала (при четырехпроводной линии связи), также имеется возможность подключения через двухпроводную линию связи и с использование HART модема, для передачи данных по HART протоколу.

Также на рисунке присутствует нагрузочное сопротивление R_H , его допустимые значения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Допускаемые нагрузочные сопротивления датчиков

Выходной сигнал, мА	Сопротивление нагрузки	
	R_{min} , Ом	R_{max} , Ом
0-5	0	$R_{max} \leq 100(U-10)$
4-20	0* при $U \leq 36$ В $R_{min} \geq 50(U-36)$ при $U > 36$ В	$R_{max} \leq 42(U-12)$
* - для датчиков с HART-сигналом $R_{min}=250$ Ом при напряжении питания от 18,5 В до 41 В.		

Другим вариантом датчика может послужить Эмис-Бар. Его преимущество в том, что он рассчитан на высокотемпературные среды до $+700^{\circ}\text{C}$ (при том что Метран-150 рассчитан на температуры до 454°C). Для наших нужд подойдет датчик избыточного давления/давления разряжения DIN 19213 в разных вариантах исполнения. Для измерения разряжения более подходящим будет модель 105.1 с диапазоном от -2 до 2 кПа и минимальной разностью между верхним и нижним пределом 0,1 кПа. Для измерения давления в системе подойдет модель 103.9 с диапазоном от -0,1013 до 40 МПа с разностью между пределами от 0,4 до 40 МПа. При этом также необходимо выбрать исполнение датчика (возможность использования модификации M1). У данного датчика также предусмотрена возможность использования протокола Modbus и HART [12]. Схема подключения представлена на рисунке 2.2.

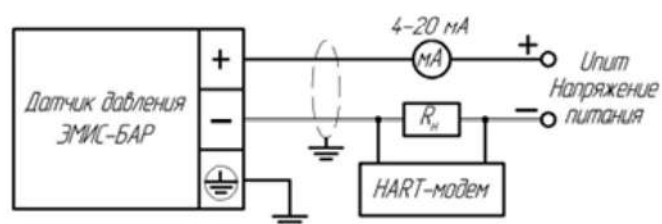


Рисунок 2.2 – Подключение датчика Эми-Бар через HART-модем.

2.2 Выбор датчика измерения расхода

В качестве датчика расхода выбран вихревой расходомер Метран-390М, предназначенный для измерения объемного расхода как жидкостей, так и газа, и пара при допустимом максимально давлении среды – 32 МПа [13]. Схема его подключения представлены на рисунках 2.3.

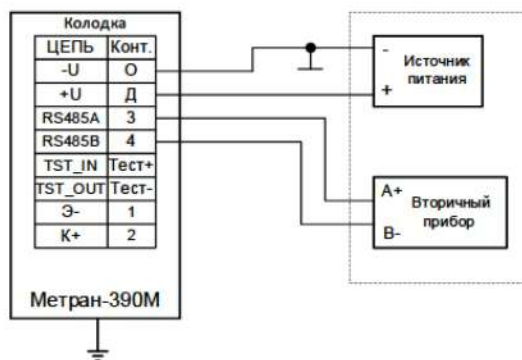


Рисунок 2.3 – Схема подключения Метран-390М

Данный датчик поддерживает использование Modbus и HART, а также имеет возможность подключения с выходным сигналом типа «открытый коллектор» (оптопара).

Аналогом может послужить Эмис-Вихрь 200. Он рассчитан на немного большую температуру рабочей среды и также поддерживает использование Modbus и HART и имеет большую разновидность типоразмера [14]. Схема подключения разъемов представлена на рисунке 2.4.

Цепь	Конт
	1
	2
Заземление	3
Част./имп. выход PN+	4
	5
	6
Питание I-	7
Питание I+	8
Част./имп. выход P-	9
Част./имп. выход P+	10

Рисунок 2.4 – Схема подключения разъемов преобразователя Эмис-Вихрь 200

2.3 Выбор датчика уровня воды в барабане

В качестве датчика уровня можно выбрать уровнемер волноводный Эмис-Пульс 540. Выходной сигнал – аналоговый 4-20 мА или цифровой HART. Допустимые температуры рабочей среды от -196 до +445°C. Давление измеряемой среды не должно превышать 4 МПа (42 МПа при специальном исполнении).

Диапазон измерений данного датчика зависит от типа зонд. При стержневом зонде диапазон от 0 до 10 м, при тросовом от 0 до 75 м, при коаксиальном от 0 до 6 м [15]. В нашем случае подойдет любое исполнение, ввиду небольшой высоты барабана котла. Схема подключения не отличается от ранее представленных схем.

2.4 Выбор датчика температуры

В качестве первичного средства измерения температуры была выбрана термопара ТХА-К на основе КТМС, что обеспечивает ей увеличение срока службы, ввиду большей защищенности чувствительного элемента, благодаря минеральной изоляции под металлической защитной оболочкой. Термопара ТХА отличается стойкостью к окислению при высоких температурах до 1100°C.

В качестве преобразователя был выбран Олил Mirkip 248 для преобразования по протоколу HART; и ДТП для преобразования в обычный унифицированный сигнал.

2.5 Выбор датчика наличия пламени

При розжиге горелок необходимо понимать зажглась ли она, для это необходимо использовать датчик наличия пламени. Было выбрано устройство селективного контроля пламени Прома ФДСА-03М-01-IP65. Схема подключения представлена на рисунке 2.5.

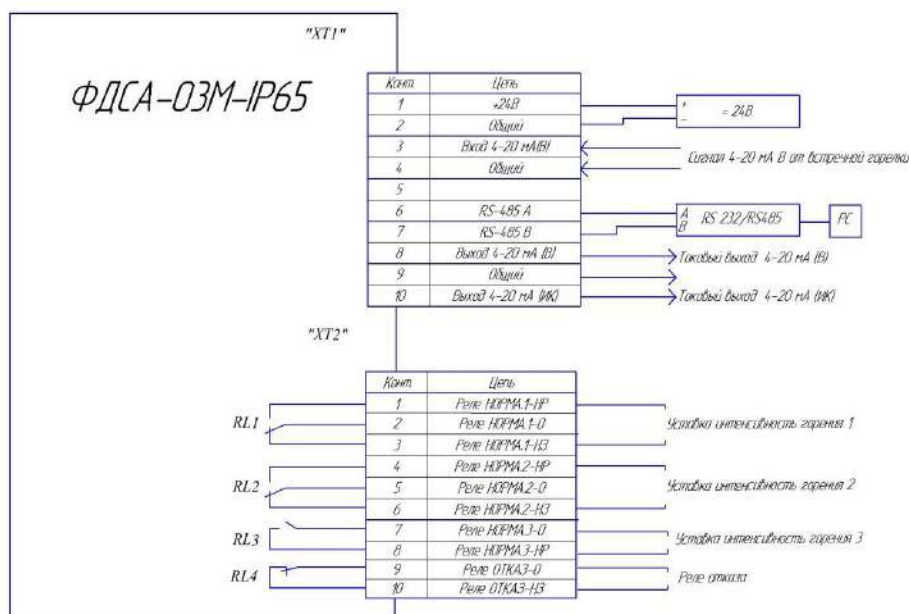


Рисунок 2.5 – Схема подключения Прома ФДСА-03М

Исходя из рисунка видно, что у устройства есть два токовых выхода с двух каналов измерения и, следовательно, имеет два датчика: ультрафиолетового и инфракрасного (или видимого) спектра. Также имеется возможность подключе-

ния выходного сигнала подобного устройства от встречной горелки, которая может вносить неточность в получаемые данные. Также устройство оснащено четырьмя реле, работающим по уставкам и отказу, которые можно использовать в схемах защиты [16].

2.6 Выбор дополнительных устройств

2.6.1 Выбор запально-защитного устройства и запальника

В качестве ЗЗУ было выбрано запально-сигнализирующее устройство ЗСУ-ПИ-60. Данное устройство отличается более мощным и устойчивым факелом, надежным розжигом на различных режимах давления газа, разрежения и наддува в топке. Наличие эжекторов на торцевом срезе запальника позволяет избежать проскоков пламени и горения внутри запальника.

Также можно брать сигнал с его собственного ионизационного датчика, но в этом нет необходимости, ввиду уже выбранного датчика наличия пламени, который можно использовать как для основной горелки, так и для запальника.

2.6.2 Выбор исполнительного механизма

В качестве исполнительного механизма для управления ЗРА были подобраны МЭОФ-160 фирмы Пэк. Для подключения самого механизма используем ПБР МСТ-300Р фирмы Битек. Диаграмма работы микро выключателей МЭОФ-260 представлена ниже (таблица 2.2) [17].

Таблица 2.2 –Контакты соединителя микро выключателей МЭОФ-260

Микро выключатель	Контакт соединителя	Положение арматуры		
		Открыто	Промежуточное	Закрыто
SA1	1-3	■	■	
	2-3			■
SA2	4-6	■	■	
	5-6			■
SA3	7-9		■	■
	8-9	■	■	
SA4	10-12		■	■
	11-12	■		

Схемы подключения МЭОФ и ПБР представлены на рисунках 2.7 и 2.8 соответственно [17, 18].



Рисунок 2.7 – Схема подключения МЭОФ-260

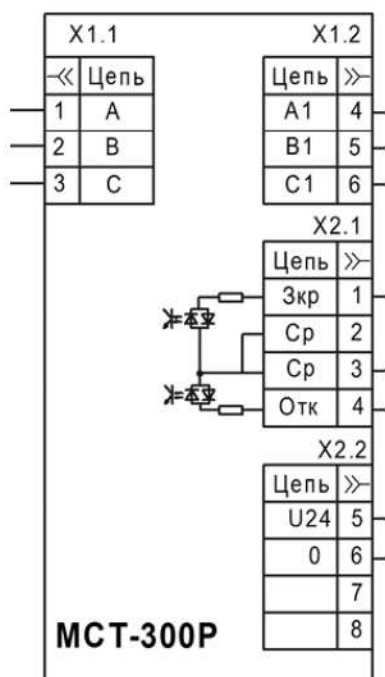


Рисунок 2.8 – Схема подключения ПБР МСТ-300Р

2.6.3 Выбор блока питания

При выборе блока питания необходимо учитывать, что в нашей системе необходимо стабильное выходное напряжение, также необходим низкий уровень пульсаций напряжения. Также не лишней будет защита от перегрузок.

По итогу был выбран БП30Б-С с максимальным выходным током 1,25 А, чего вполне достаточно для наших нужд. Также данный блок питания защищает от КЗ в цепях 24 В постоянного тока, обеспечивает высокий КПД (более 85%) и не требует дополнительного охлаждения [19].

2.6.4 Выбор средств дополнительной индикации

Для вывода информации с датчиков и текущего положения МЭО в щитах и пультах управления или в каких-либо других местах необходимо использовать какие-либо средства индикации с дисплеем. Таким может послужить индикатор токовой петли, который последовательно включается в цепь сигнала 4-20 мА и выводит информацию на дисплей, согласно заданным настройкам. В данной работе был выбран ИТП-11.НЗ от компании Овен.

2.6.4 Выбор газоанализатора

Для контроля содержания кислорода в уходящих газах будем использовать газоанализатор ССС-903. Данный прибор отличается высокой чувствительностью, самостоятельной подстройкой, автовосстановлением при перегрузках и устойчивостью к коррозии [20]. Схема подключения представлена на рисунке 2.9

Pin	Circuit
1	+24V
2	-24V
3	PБ
4	PБ
5	P1П
6	P1П
7	P2П
8	P2П
9	+4-20mA
10	- 4-20mA
11	0-RS485
12	A-RS485
13	B-RS485

Рисунок 2.9 – Схема подключения ССС-903

Для контроля утечек газа необходим газоанализатор, к примеру СИГМА-03 от компании газ-аналитик. Он нацелен на контроль содержания в воздухе различных газов. Прибор является стационарным, многоканальным, многоблочным

газоанализатором. Конструкция газоанализатора включает в себя информационный блок и выносные датчики в количестве от одного до восьми. Сам блок отвечает за искробезопасность питания датчиков. В дальнейшем подключение к контроллеру обеспечивается через RS-485 [21].

2.7 Выбор реализации системы

Для реализации системы был выбран протокол HART. Где его использование невозможно будут использованы аналоговые и дискретные входы-выходы контроллера. В качестве мастер-устройства будем использовать контроллер КР-HART.M2 от компании Промавтоматика.

Теперь необходимо подсчитать нужное количество оборудования каждого типа, опираясь на составленные структурные схемы (рисунки 1.2-1.7). Итоги расчета представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.3 – Количество оборудования

Оборудование	Сигнал «по теплоте»	Подача топлива	Подача первичного воздуха	Разряжение в топке	Питание котла	t воздуха за калорифером	t перегретого пара	Итого
Датчик температуры	0	0	0	0	2	4	11	17
Датчик давления	2	9	6	1	0	0	0	18
МЭО	0	10	7	1	1	2	6	27
ПБР	0	10	7	1	1	2	6	27
ЗЗУ	0	6	0	0	0	0	0	6
Датчик наличия пламени	0	6	0	0	0	0	0	6
Датчик расхода	1	8	1	1	2	1	1	15
Датчик уровня	0	0	0	0	1	0	0	1
Дискретные клапаны	0	25	0	0	1	0	0	26
Подключение по HART	3	23	7	2	4	5	12	56

По полученным данным можно провести расчет необходимого количества входов-выходов подбираемого контроллера. От каждого МЭО необходимо пода-

вать сигнал на аналоговый вход контроллера, для получения текущего положения механизма. Для управления самим МЭО необходимо по 2 дискретных сигнала с дискретных выходов. Также от дискретных выходов исходят сигналы на клапана, от них же на дискретные входы приходит сигнал состояния клапана.

Исходя из расчетов и описаний выше становится ясно, что выбираемому контроллеру необходимо 32 дискретных входов, 92 дискретных выходов и 78 аналоговых входов. Также необходимы входы RS-485.

2.8 Выбор контроллера

За управление системой отвечает программируемый логический контроллер (ПЛК) Он отдает команды исполнительным механизмам, снимает показания с датчиков, формирует различные управляющие сигналы в соответствии с законами регулирования, описанными в рабочей программе.

При выборе ПЛК необходимо учитывать различные аспекты. Выше был произведен расчет необходимого количества входов-выходов контроллера. Опираясь на это необходимо подобрать контроллер также нужно учитывать внутреннюю память контроллера, которой должно хватить на рабочую программу.

Выбор пал на контроллер компании Элара, под названием Эликонт-100. Конструкция контроллера имеет модульную архитектуру и позволяет использовать в своем составе разнообразный набор модулей. Конструкция модулей контроллера и принятые схемотехнические решения соответствуют высоким требованиям стойкости к электромагнитным и механическим воздействиям. Все модули работают при естественном охлаждении и не имеют подвижных частей [22].

В основе лежит процессорный модуль CP1XX. Выбор среди его типов заключен в количестве LAN-портов и наличии или отсутствии шины RS-485. Таким образом, конкретный выбор остановлен на модуле CP114. Данный модуль имеет блок индикации с табло и клавишами управления для настройки контроллера и вывода его диагностической информации. Модуль имеет дополнительно четыре разъёма (независимых порта) для подключения к интерфейсу RS-485.

Ширина данного модуля больше, чем у модулей CP101/CP113. Из-за этого в крейте контроллера остается меньше места [22].

Таким образом можно использовать лишь один модуль связи по шине INEL master. Также нам необходим модуль IM101, он тоже работает по шине INEL и обеспечивает связь с дополнительной подсистемой YCO, это может понадобиться, если нам не хватит места на основном крейте [22].

Следующим необходимым модулем является модуль PS101, он обеспечивает электропитание подсистемы процессора от сети 24В DC. Теперь можно установить до 11 модулей YCO в крейт, выберем нужные нам [22].

Для начала подберем необходимое количество модулей дискретного ввода. В стандартный крейт можно добавить дискретный модуль DI101 с полевым адаптером TAD24, для приема сигналов 24 В. Данный модуль имеет 16 каналов, в крейт расширения модулей YCO есть возможность добавить модуль DI102 на 32 канала [23]. Нашей системе необходимо 32 дискретных входа, таким образом нам понадобится два модуля DI101.

Следующим шагом будет подбор необходимого количества модулей дискретного вывода, для наибольшего количества выходов, выберем тип DO102 с полевым адаптером TAD50, в нем 16 выходных каналов [23]. Нашей системе необходимо 92 дискретных выхода для подачи управляющих сигналов. Таким образом нам понадобится шесть модулей DO102.

Модули аналогового ввода разделяются не только по количеству каналов, но и по типу подключаемых сигналов. В нашей системе на понадобятся модули AI101 и AI102. Модуль AI101 с полевым адаптером TAA20 собирает нормированные сигналы постоянного тока 4-20 мА, в одном таком модуле 8 каналов. Модуль AI102 с полевым адаптером TAA30 предназначен для сбора сигналов от термопар [23]. В нашей системе необходимы 59 входов для унифицированных сигналов 4-20 мА и 17 входов для сигналов от термопар. Итого необходимо восемь модулей AI101 и три модуля AI102.

При использовании HART-протокола в Multidrop-режиме можно подключить до 15 аналоговых датчиков к одной HART-линии, это позволит сократить

необходимое количество модулей AI101 до четырех, а количество необходимых разъемов RS-485 увеличиться на три.

Итоговое количество модулей равно 18 или 14. Воспользуемся крейтом CA202, на нем можно разместить до 15 дополнительных модулей УСО, таким образом можно будет разместить до 25 модулей (одно из мест займет модуль IM101), т.е. все необходимые модули будут подключены к контроллеру.

2.9 Схема подключения Эмис-Вихрь

Для подключения датчика давления Эмис-Вихрь необходимо подать на него напряжение с блока питания. Все датчики подключаются параллельной связью. В цепи необходимо наличие сопротивления минимум 250 Ом. После этого необходимо подать сигнал на мастер-устройство HART. Схема подключения двух датчиков показана на рисунке 2.10.

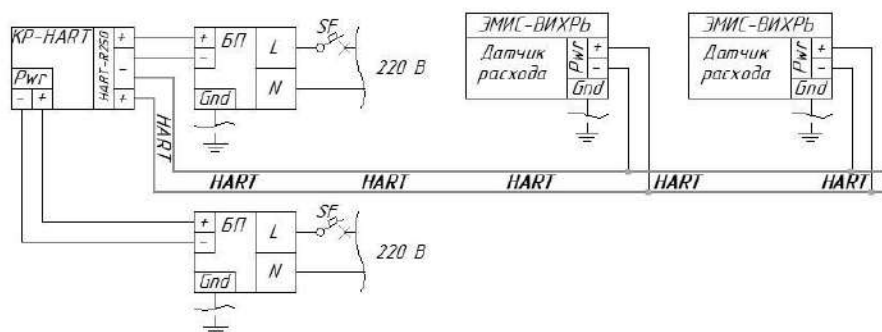


Рисунок 2.10 – Схема подключения датчиков Эмис-Вихрь по протоколу HART

2.10 Схема подключения Эмис-Бар

Принцип подключения идентичен предыдущему случаю. Схема подключения линий к контроллеру представлена на рисунке 2.11.

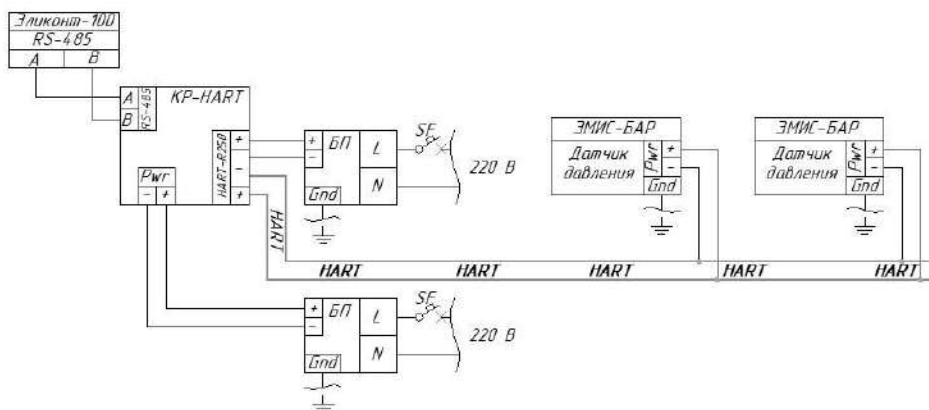


Рисунок 2.11 – Схема подключения датчиков Эмис-Бар по протоколу HART

2.11 Схема подключения термопары

Для считывания данных с термопар необходимо воспользоваться специальным преобразователем Олил-Mirkip 250, который на выходе формирует сигнал 4-20 мА и поддерживает подключение через HART протокол. Схема подключения выходного сигнала с преобразователя идентично подключению датчиков выше, а схема подключения термопары к преобразователю представлена на рисунке 2.12.

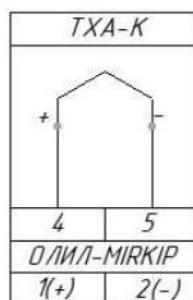


Рисунок 2.12 – Схема подключения термопары к преобразователю

Если же использовать вариант с подключением напрямую к контроллеру, то использовать преобразователь не нужно.

2.12 Схема подключения ФДСА-03М-01-IP65

Для подключения ФДСА-03, необходимо получать дискретный сигнал о наличии пламени на дискретный ввод контроллера. Еще необходимо подать выходной сигнал 4-20 мА на датчики, находящиеся напротив. В нашей системе горелки располагаются по три с каждой стороны. Схема представлена на рисунке 2.13.

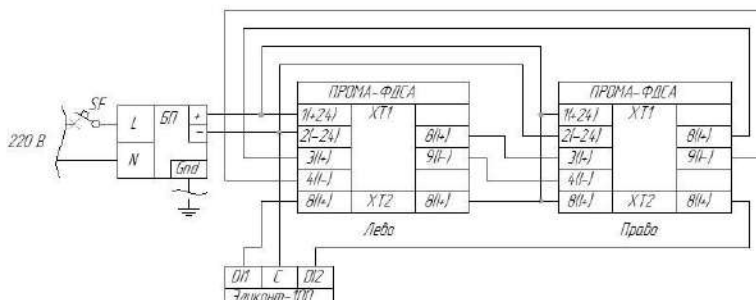


Рисунок 2.13 – Схема подключения ФДСА-03М-01-IP65

2.13 Схема подключения исполнительного механизма

Перед подключением фаз к МЭО их необходимо пропустить через ПБР, который под управлением дискретных сигналов от контроллера, будет менять порядок фаз, чем будет обеспечивать вращение механизма в разные стороны. Текущее положение МЭО будет передаваться на аналоговый вход контроллера сигналом 4-20 мА. Схема представлена на рисунке 2.14.

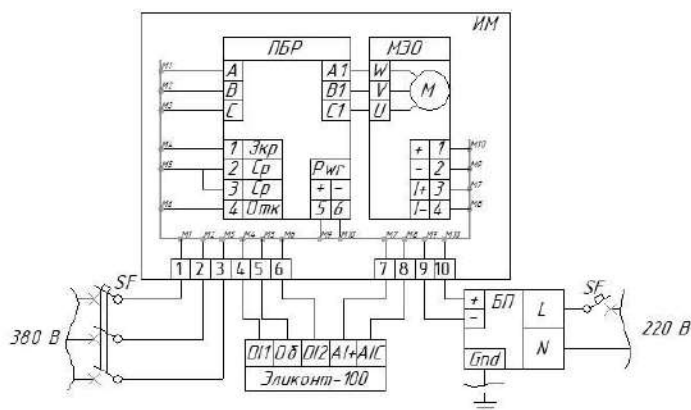


Рисунок 2.14 – Схема подключения МЭО и ПБР

2.14 Внешний вид контроллера

Исходя из выбранных модулей для подобранного контроллера была составлена его схема портов подключения [24]. Внешний вид контроллера на полной электрической схеме представлен на рисунке 2.15



Рисунок 2.15 – Внешний вид контроллера

Готовая схема представлена в приложении Б.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АСУТП

Для сообщения необходимой информации диспетчерам, а также для обеспечения возможности управления системой управления необходимо разработать SCADA-систему. Ее создание будет производиться в специализированной для контроллера среде разработки «СФЕРА», являющейся общим менеджером приложений ПТК «Сура».

3.1 Работа в приложении «Администратор БД»

Для создания проекта, необходимых узлов, пользователей, базы данных, АРМ и других основных элементов проекта по созданию SCADA-системы необходимо воспользоваться приложением Администратор БД [25].

При создании системы необходимо добавить все используемые компьютеры и контроллеры, создать пользователей, с различными правами и функциями. В нашем случае, для моделирования реальной системы, добавим лишь один компьютер, который назовем АРМ; и одного пользователя со всеми правами для выполнения всех работ.

В дальнейшем, при использовании системы на реальном объекте будет необходимо добавить компьютеры, используемые в системе и пользователей, со своими правами и задачами.

В используемых контроллерах добавим выбранный ранее «Эликонт101».

Следующим этапом будет создание узлов проекта. Для упрощения работы по созданию системы и наглядности работы, создадим узлы на основе разбиения системы на участки регулирования. В дальнейшем это поможет добавлять необходимые элементы и облегчит их группирование. Итог создания узлов проекта представлен на рисунке 3.1.

Также в окне администратора можно настроить архивирование БД, ручным архивированием будем пользоваться при выполнении определенных шагов по созданию, для сохранения прогресса создания. Также настроим автоматическое архивирование БД на 20:00 для сохранения итога дня.

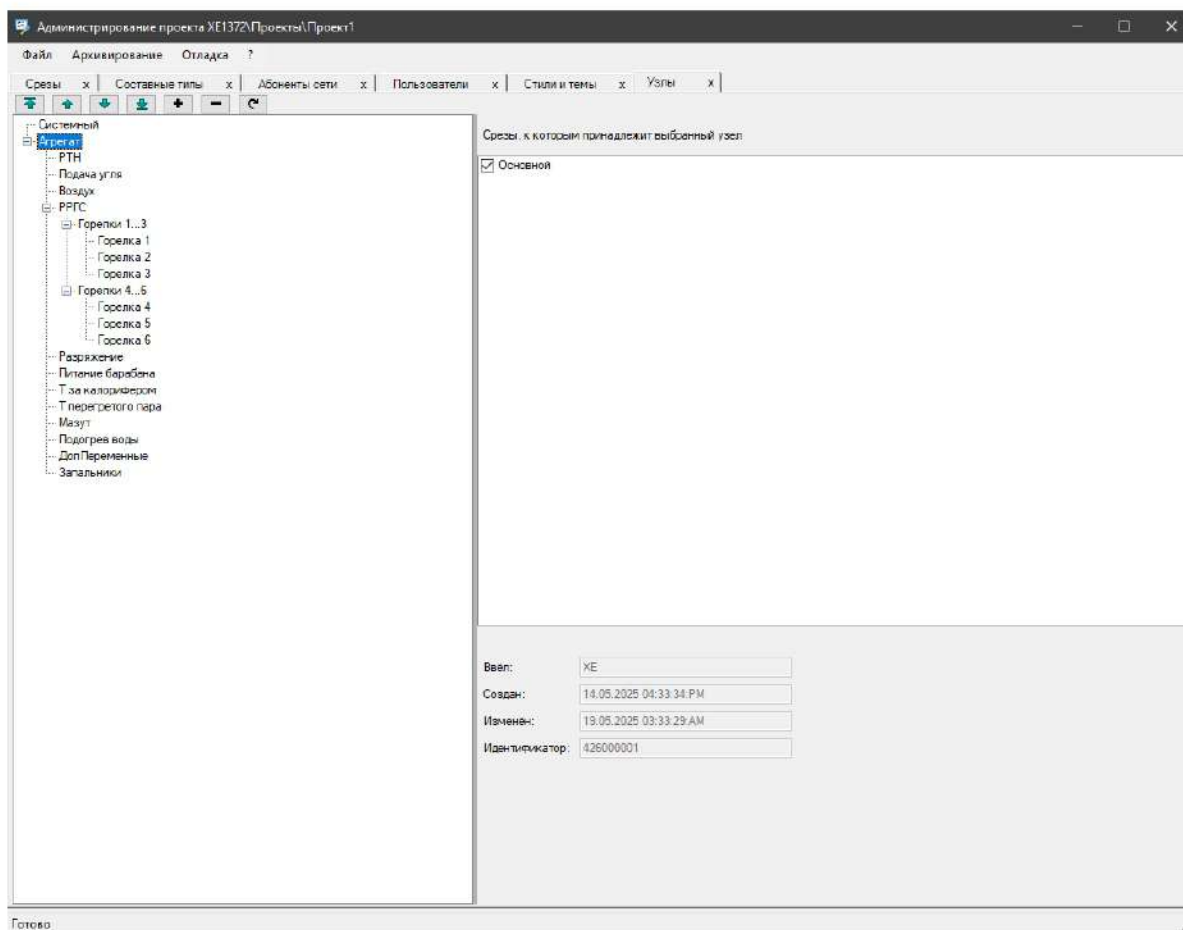


Рисунок 3.1 – Окно «Администратор БД»

3.2 Работа в приложении «Базис»

В данном приложении добавляются основные элементы системы, такие как клапаны, задвижки, различные аналоговые и дискретные датчики и др.

Для аналоговых датчиков будем использовать элемент «Аналоговый ввод», для дискретных – «Дискретный ввод». Для клапанов, управляемых МЭО будем использовать элемент «Задвижка», для двухпозиционных клапанов – «Клапан Дискретный».

Для имитации посылаемого сигнала на включение чего-либо, будет использован элемент «Выключатель». Также он будет эмулировать включение неконтролируемых объектов.

Исходя из необходимого оборудования на каждом участке, добавим в узлы нужные элементы и свяжем их с контроллером. Элементам зададим имя, отражающее их принадлежность.

Теперь, выбранный нами компьютер будет эмулировать и базу данных, и работу контроллера, и работу системы. В нашем случае у нас добавлен только один компьютер, и он будет выбран автоматически.

В момент первого открытия окна Полис в виртуальном режиме, в обзоре проекта в графе контроллеры, помимо добавленного контроллера Эликонт, также появится имя добавленного компьютера «АРМ». Все созданные под ним потоки и подзадачи будут формировать необходимую нам имитационную модель.

Разделение модели на несколько потоков излишне, каждый участок будет просчитываться последовательно, друг за другом, параллельный расчет в данном случае не нужен. Поэтому создадим в узле «АРМ» один поток «Модель», в котором будем создавать подзадачи для расчета различных участков. В качестве языка программирования будем использовать FBD для большей наглядности, альтернативой является язык ST, другие языки в данной версии Полис не предусмотрены.

3.3.1 Создание имитационной модели горелок

Создадим подзадачи для горелок, главную – «М_РРГС», под ней две подзадачи для двух сторон горелок – «М_Гор1_3» и «М_Гор4_6», в каждой из которых создадим подзадачу для каждой горелки – «М_Гор1» ... «М_Гор6».

Для розжига горелок также необходимы запальные устройства, создадим подзадачу «М_Запальники» и создадим в ней модель запальных устройств всех горелок.

Для контроля сигнала наличия пламени, будем использовать триггер RS. Данный триггер с приоритетным сбросом, что обеспечит выключение запальника при отсутствии подачи газовой смеси, даже если сигнал о включении запальника подан. Имитацией подачи сигнала включения запальника послужит элемент «Выключатель», управление им может быть реализовано с помощью кнопок. Имитационная модель включения/отключения одного из шести запальных устройств представлена на рисунке 3.3.

Для горелки наличие пламени устанавливается аналогично запальному устройству, только сигнал на включение подается от имитатора датчика наличия пламени на запальном устройстве конкретной горелки.



Рисунок 3.3 – ИМ включения/отключения запального устройства

Для расчета текущего расхода горелки необходимо перемножить процент открытия всех клапанов и учесть закрытое состояние клапана на газопроводе безопасности. Давление перед конкретной горелкой будет равно давлению в общем газопроводе, за вычетом потерь на тройниках и развилках газопровода к разным горелкам. В реальной системе у газопровода изменяется размер трубы для уравнивания давления на всех горелках, для имитации вычтем небольшую константу из давления и дальнейшую зависимость рассчитаем исходя из степени открытия ЗРА. Имитационная модель одной из шести представлена на рисунке 3.4.

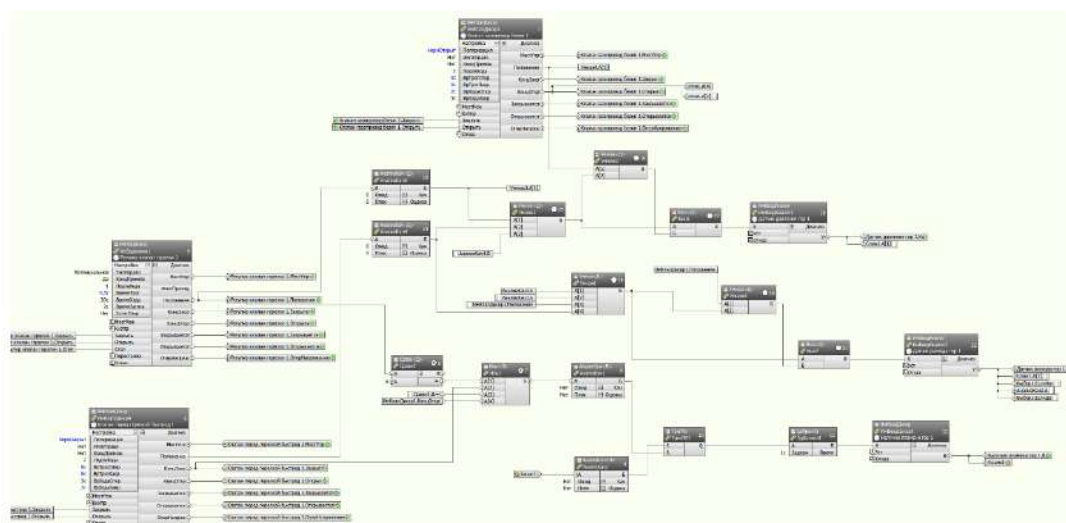


Рисунок 3.4 – ИМ работы горелки

Для расчета общего расхода трех горелок необходимо также учесть расход газа на запальные устройства, его расчет аналогичен расчету расхода горелок, в конце лишь полностью сложим все расходы. Модель представлена на рисунке 3.5.

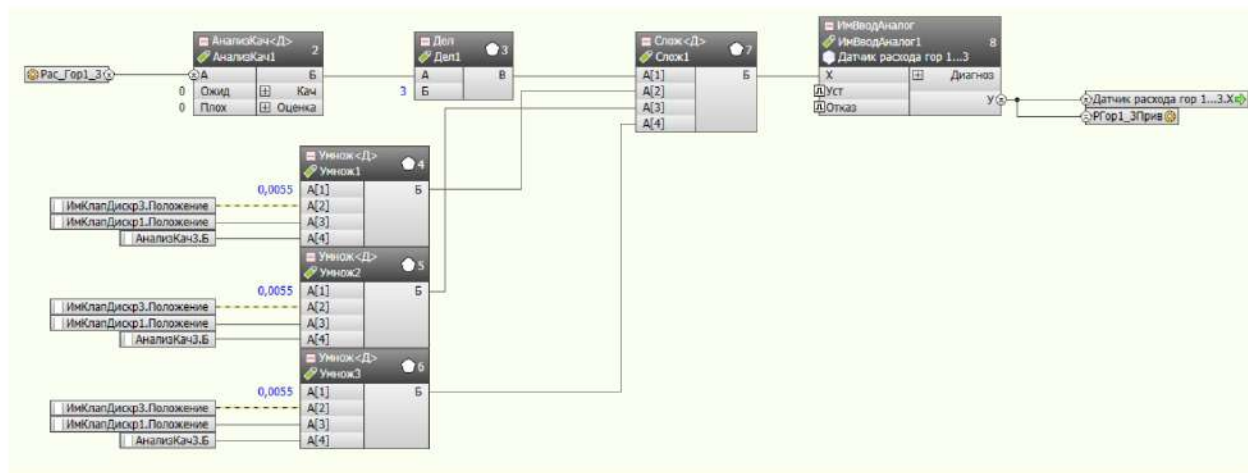


Рисунок 3.5 – ИМ расхода первых трех горелок

На данном рисунке видны введенные программные переменные, они нужны для использования на более ранних этапах выполнения программы, без их введения в модели начали бы появляться обратные связи, этого при возможности стоит избегать. Также это упрощает работу с часто необходимыми значениями.

3.3.2 Создание имитационной модели подачи воздуха и отсоса уходящих газов

Давление воздуха перед горелкой также, как и у газа, будет зависеть от открытия регулирующего клапана. Расход воздуха получим, просуммировав расход и разделив его на 6, что сохранит значение в пределах от 0 до 1. Также рассчитаем текущий расход смеси газа и воздуха, просуммировав их и вновь приводя к относительным единицам.

Также необходимо рассчитать разницу между приходящим воздухом с топливом и уходящими газами, ограничим минимальное значение до «0», чтобы оставаться в граница относительных единиц. Сами значения прихода и расхода

были прописаны в Базисе, благодаря чему расчет в относительных единицах возможен без приведения. Модель представлена на рисунке 3.6.

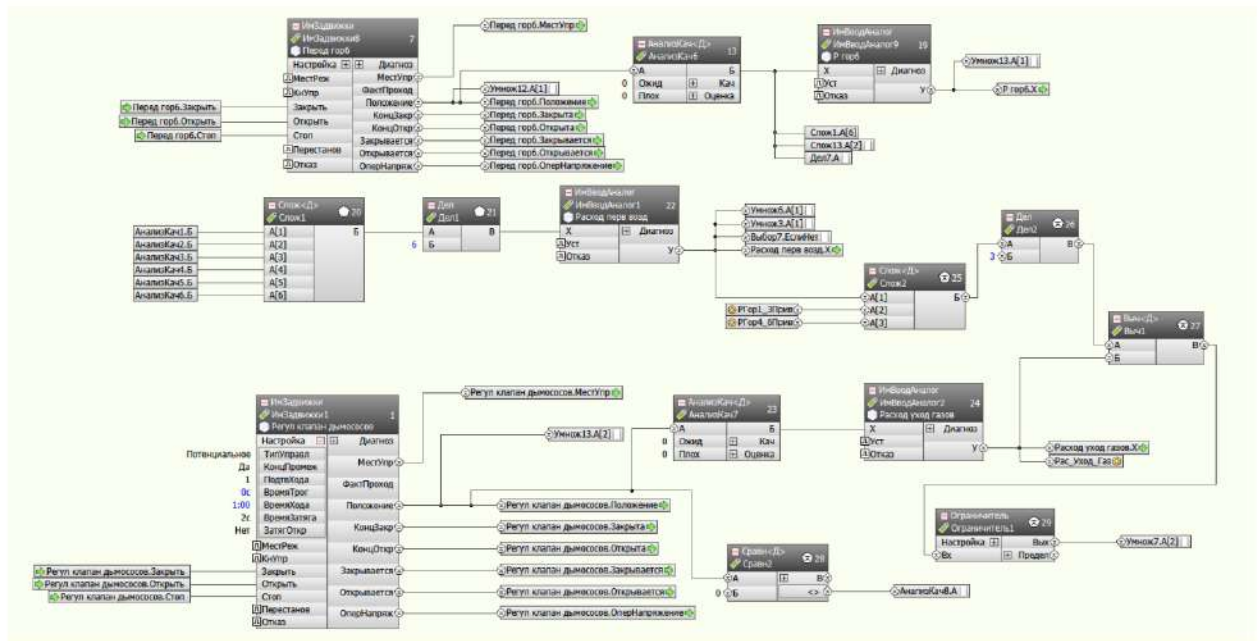


Рисунок 3.6 – ИМ расчета приходящих и уходящих газов, давления воздуха перед горелкой

3.3.3 Создание имитационной модели разряжения и содержания кислорода в уходящих газах

Расчет разряжения будет зависеть от давления газа и воздуха перед горелками, разницы между приходящими и уходящими газами. Значения должны быть получены для обоих видов топлива, между собой их можно сложить, т.к. работать система должна на одном из двух видов топлива. Само подключение мало чем отличается от ранее предоставленных связей и не будет представлено в качестве рисунка.

Для расчета содержания кислорода в уходящих газах найдем процент содержания кислорода в газовой смеси, обязательно учтем случай нулевого расхода, чтобы не поделить значения на «0». С помощью блока «Сравнение» сравним сумму расхода топлива и воздуха с значением «0», от выхода «<=» подадим логический сигнал на вход «Условие» блока «Выбор». На вход «Если нет» подадим расчетное значение, на вход «Если да» подадим любое значение, отличное

от «0», например, «1». В дальнейшем с помощью таких же блоков реализуем изменение нужного значения по различному закону, в зависимости от предыдущего значения. Модель представлена на рисунке 3.7.

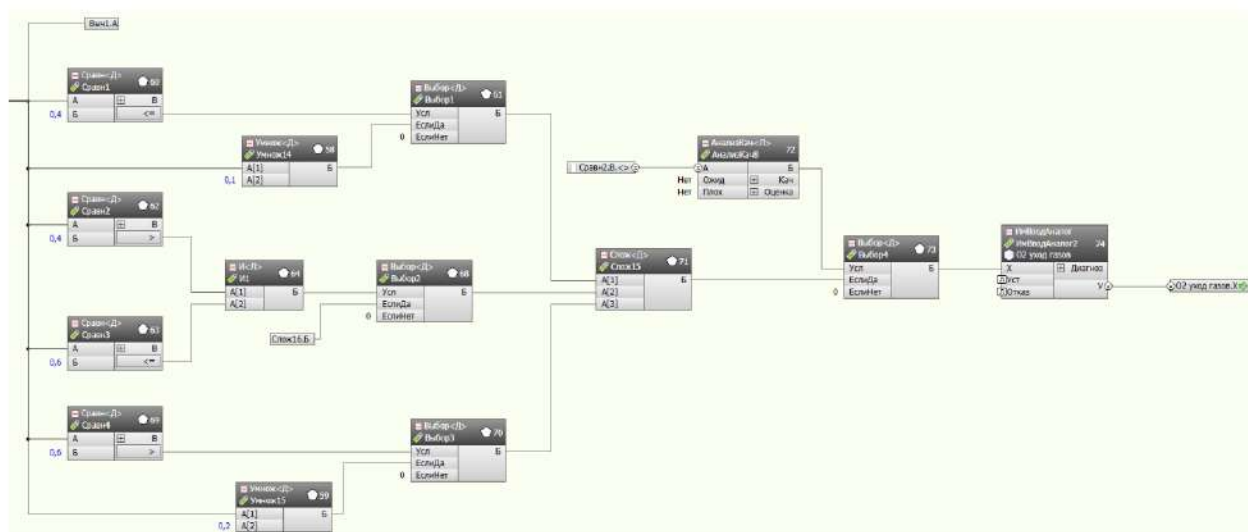


Рисунок 3.7 – ИМ содержания кислорода в уходящих газах

3.3.4 Создание имитационной модели питания котла

Расход питательной воды складывается из суммы степени открытия трех клапанов, значение этой величины поступает на плюс управления уровнем воды в барабане, на минус придут сигналы от нагрева и аварийного сливного клапана. Чтобы уровень воды изменялся не мгновенно необходимо использовать интегратор, в котором выставим границы от «0» до «1» и включим ограничение.

Давление в барабане будет изменяться также, с помощью интегратора, однако его границы будут изменяться, в зависимости от текущего расхода. Перед подачей на вход интегратора управляющего сигнала поставим блок «Задержка». Таким образом сравнивая значения до и после задержки найдем момент, когда управляющий сигнал становится отрицательным и начнем подавать ограничение не на верхний, а на нижний предел (подавать одновременно нельзя, т.к. значение будет всегда установленным на границе предела). Модель представлена на рисунке 3.8.

Сигнал по нагреву формируется исходя из используемых горелок и их расхода, при наличии сигнала о наличии пламени на горелке, расход данной горелки

учитывается при расчете. Также ведется учет количества используемого воздуха, с помощью данного значения увеличиваем или уменьшаем значение, подаваемое на формирование сигнала управления уровнем воды.

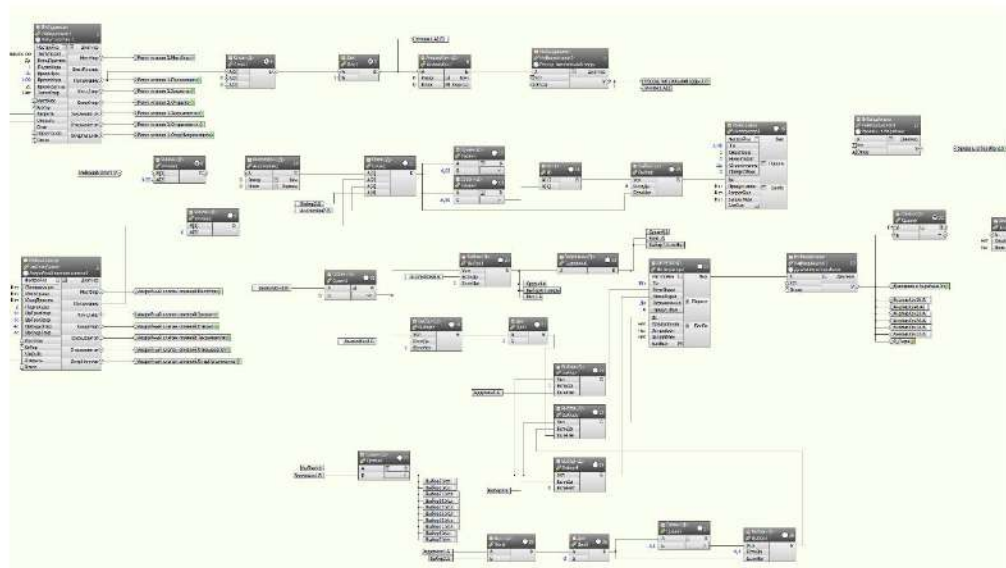


Рисунок 3.8 – ИМ питания котла

3.3.5 Создание имитационной модели пароперегревателя

Пароперегреватель разделен на две идентичные части, левую и правую стороны. Температура ступени зависит от температуры на предыдущей. Первая температура формируется на основе значения давления пара в барабане, т.к. оно приблизительно отражает процесс нагрева. Каждый расчет происходит благодаря интегратору, верхнее ограничение которого изменяется за счет положения задвижки соответствующего впрыска, либо зависит от предыдущего максимума (на местах где нет впрыска). Сумма положений всех задвижек формирует сигнал по расходу конденсата. Модель представлена на рисунке 3.9.

Представленная модель не является полной, однако остальные ее части схожи между собой или другими представленными моделями. Используемые коэффициенты исходят из разницы между необходимыми значениями и выставленными в базе, для того чтобы ввод конденсата был необходим. Все коэффициенты приведены так, чтобы оставлять числа в необходимом диапазоне от «0» до «1».

Остальные модели схожи с уже приведенными и будут показаны на листе 5. Итоговое дерево модели представлено на рисунке 3.10.

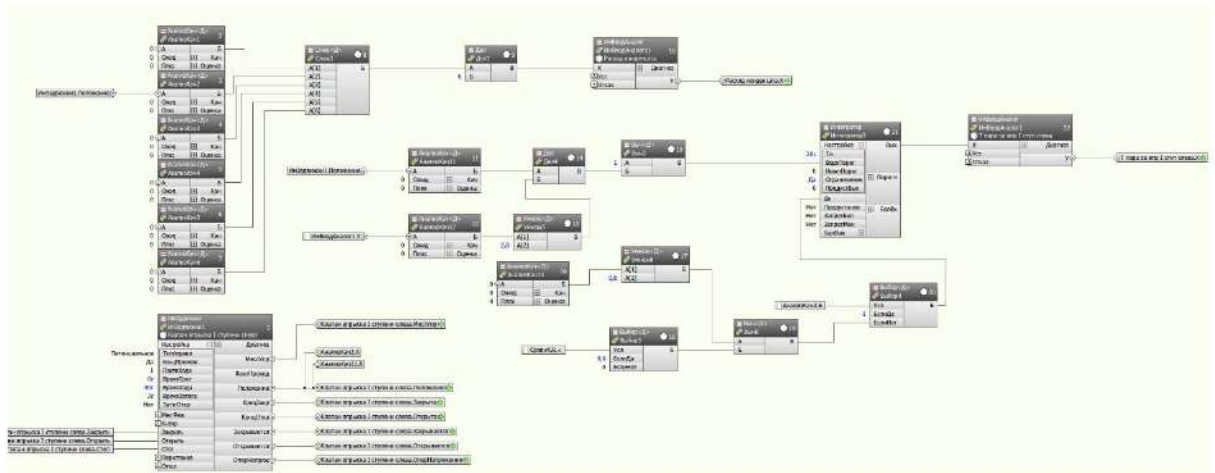


Рисунок 3.9 – ИМ первой ступени пароперегревателя

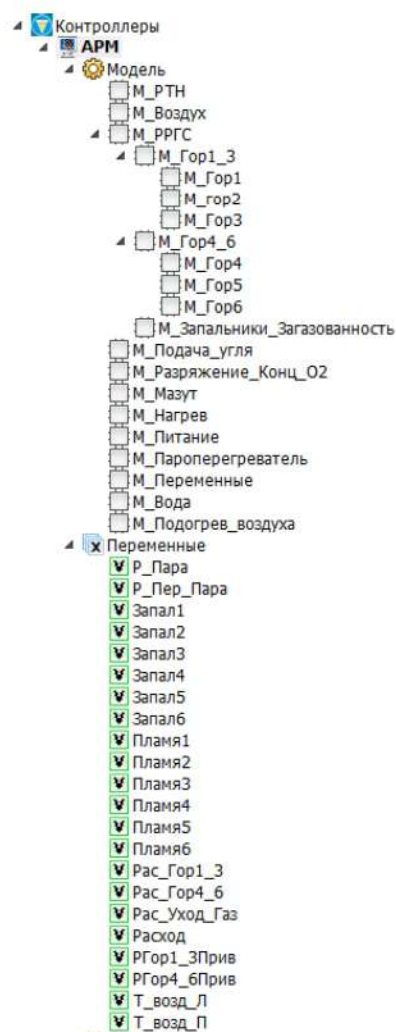


Рисунок 3.10 – Итоговый вид дерева имитационной модели на базе АРМ

4 ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ

В данном пункте разберем создание логики управления системой, создаваемой в приложении «Полис». Каждый участок будет работать в отдельно созданном потоке, которые будут разбиты на подзадачи. Примерный вид подзадач: «Датчики», «Управление», «Клапаны», «Защита» и т.п.

Все управление будет работать только при включенном автоматическом режиме, все клапаны на которые будет подаваться управление будут заблокированы. Клапаны, которые постоянно не регулируются, а к примеру, используются при активации защит, блокировки необходимо будет выставить вручную.

Каждый датчик необходимо будет настроить, выставив предупредительные и аварийные уровни, значения рассчитываются из пропорции значение уровня/максимальное значение из «Базис».

4.1 Участок управления подачей воздуха

Управление подачей воздуха, а также защиты должны поддерживать давление перед горелками на допустимом уровне, согласно документации по горелке, это 2,0 кПа [28]. Также необходимо поддерживать содержание кислорода в уходящих газах в границах от 12 до 4%, согласно инструкции по эксплуатации, это обеспечит наилучшее сгорание топлива, без образования химического недожога [27].

Управление реализовано путем слежения за значениями датчиков, при их выходе за предупредительные пределы, необходимо подавать управляющий сигнал на соответствующие регулирующие клапана. Когда значение войдет в допустимый порог, будет подан сигнал на остановку движения клапана. Все управляющие сигналы – дискретные, поэтому их можно провести на блок логического сложения «И», на второй вход данного блока подадим переменную «Авт», это обеспечит работу управления только при включенном автоматическом режиме.

Защита должна принудительно прикрывать клапана при выходе значения давления за аварийный предел. При срабатывании, блок защита подает управляющий сигнал от выхода «Команда», однако данный сигнал пропадет при выходе

значения параметра обратно внутрь аварийного предела, сигнал закрытия же должен подаваться до входа значения в допустимые пределы. Также необходимо подавать управления на другие клапаны, отвечающие за контроль над вышедшими за пределы параметры. Для того, чтобы все правильно срабатывало, добавим SR-триггер (триггер с принудительной установкой) перед блоком защиты для поддержания сигнала тревоги, сброс триггера будет при входе всех значений в допустимые пределы, формирование будет происходить при выходе одного из них за аварийный предел. Сигнал от защиты будем подавать на те клапаны, которые отвечают за управление вышедшими за предупредительные пределы параметрами.

Также необходимо дополнительно проверять на каком виде топлива работает котлоагрегат в данный момент чтобы управлять нужным видом регулирующих клапанов, для отслеживания заведем еще две логические переменные без качества: «Топ_уголь» и «Топ_газ». Управление ими реализуем в будущем с кнопки. Схемы управления и защиты представлены на рисунках 4.1 и 4.2 соответственно.

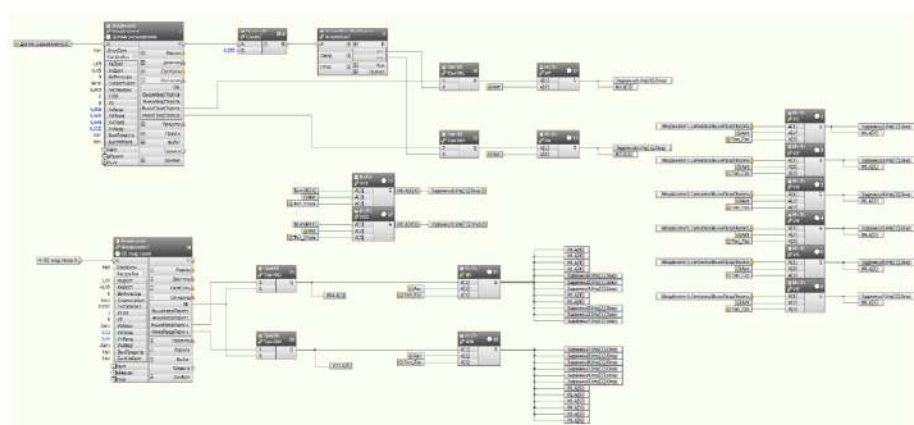


Рисунок 4.1 – Схема управления подачей воздуха на горелки

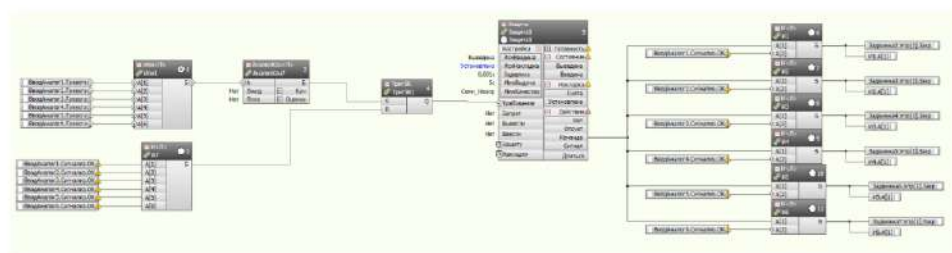


Рисунок 4.2 – Схема защиты от излишнего давления воздуха перед горелкой

4.2 Участок управления газовыми горелками

На данном участке необходимо поддерживать расход газа на горелке в пределах 4,52 т/час и давление газа перед горелкой в пределах 35 кПа, согласно документации по горелке [28]. Данные значения контролируются также, как и давление воздуха перед горелкой. В отличие от предыдущего участка, на этом защита перекрывает доступ газа к горелке быстродействующим запорным клапаном. При перекрытой одной из горелок нужно с помощью регулируемых клапанов перед горелками, выровнять расход топлива с каждой из сторон.

Также в данной системе необходима защита от загазованности. Если в процессе открытия подачи газа, долго не разжигать горелки, скопятся излишки газа, розжиг в которых становится небезопасным, ввиду возможности хлопков или взрыва, необходимо перекрыть клапан на подаче газа, открыть продувочные газопроводы и ждать пропадания сигнала о загазованности. После это необходимо перекрыть клапаны перед горелками, завершить продувку и закрыть продувочный газопровод. Схема представлена на рисунке 4.3.

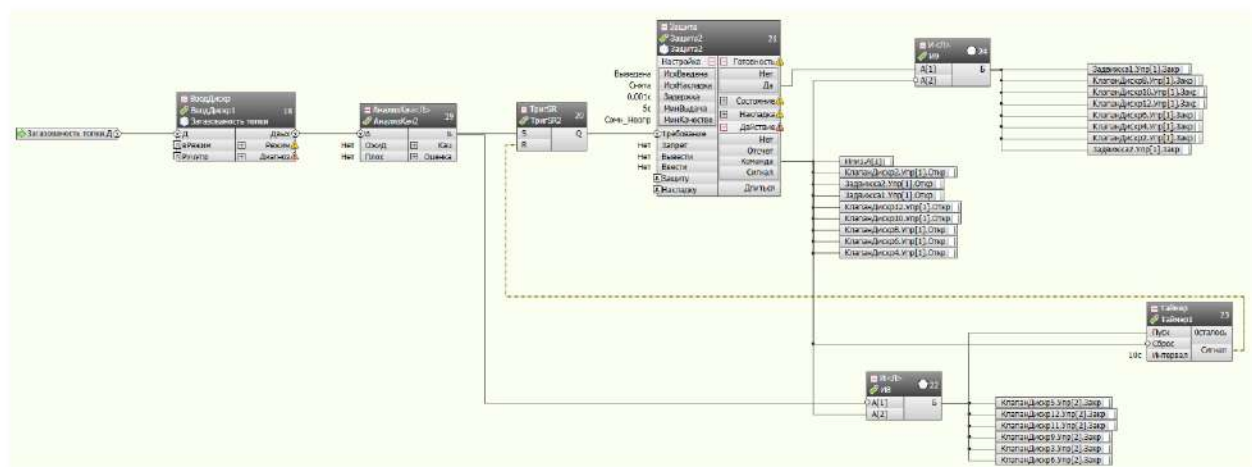


Рисунок 4.3 – Схема защиты от загазованности

Также необходимо добавить управление запальными устройствами, а именно отключения напряжения для розжига запальника, если оно было включено более 10 с. Также отключение происходит после получения сигнала о наличии пламени на запальнике. При наличии пламени на горелке необходимо перекрыть клапаны перед запальниками и потушить их. Перед каждым запальником

Необходима защита от переполнения барабана. Для этого введем дополнительный сигнал по уровню, чтобы добавить аварийный сливной уровень, выше уже установленных. При достижении данного уровня будет необходимо открыть аварийный сливной клапан, закрыть который можно при достижении уровнем воды предупредительного предела.

Регулирование будет происходить с помощью ПИД-регулятора, подаваемое от него управление будем сравнивать с текущим расходом питательной воды и в зависимости от результата, открывать или закрывать регулирующий клапан. Схемы управления и защиты представлены на рисунках 4.6 и 4.7 соответственно.

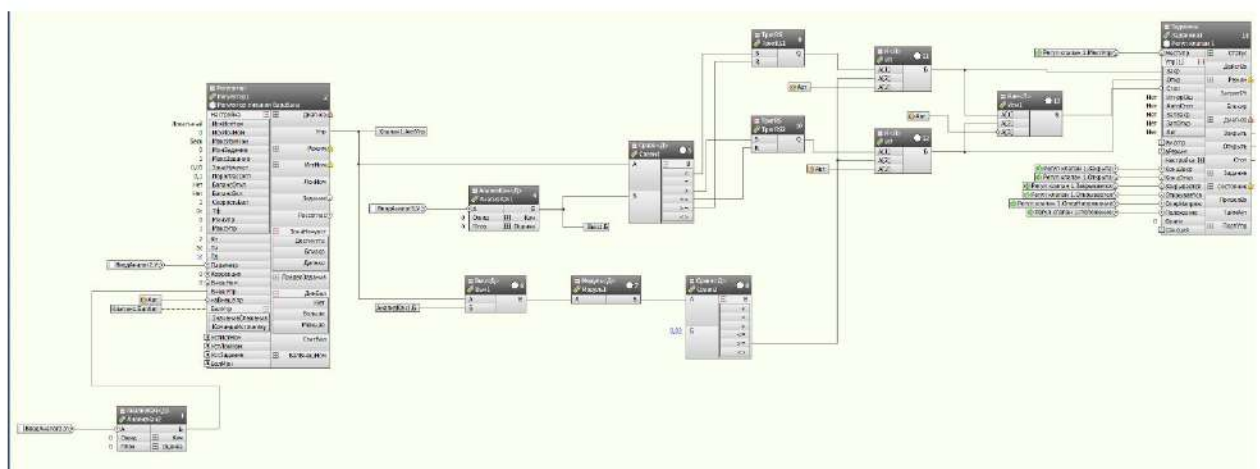


Рисунок 4.6 – Схема контроля уровня воды в барабане

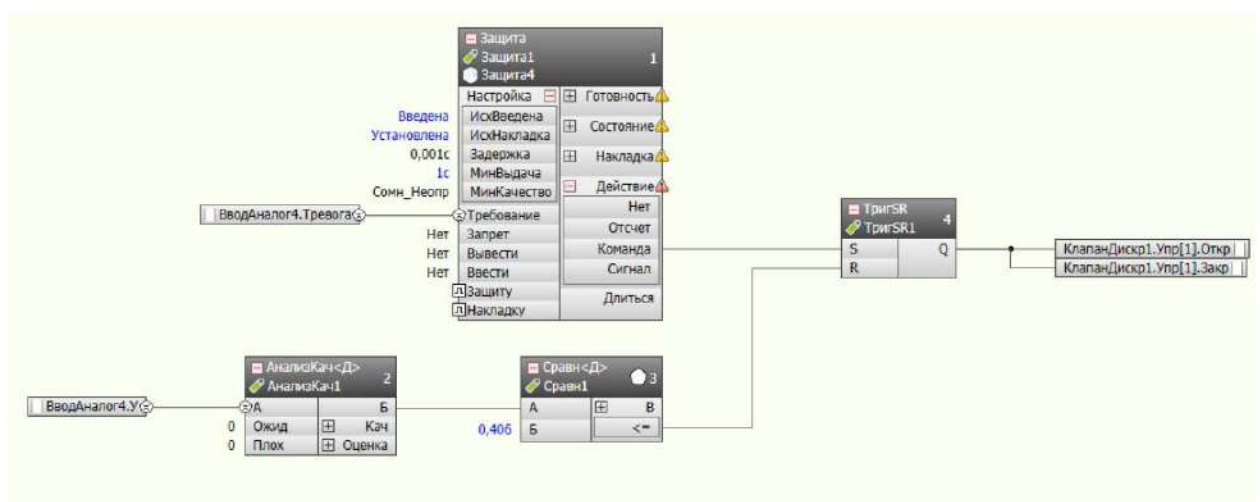


Рисунок 4.7 – Схема защиты от переполнения барабана

4.5 Участок управления пароперегревателем

На данном участке необходимо осуществлять впрыск конденсата, для уменьшения температуры пара на различных ступенях пароперегревателя. Все необходимые значения взяты из инструкции по эксплуатации [27].

Само управление будет открывать и закрывать клапан, при выходе температуры за предупредительные пределы, при этом останавливать открытие или закрытие клапана можно при достижении температурой среднего значения. Схема управления представлена на рисунке 4.8.

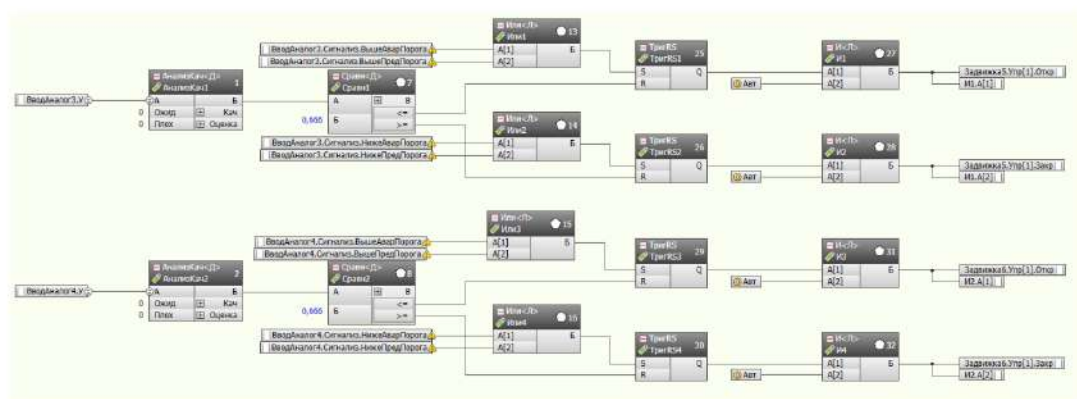


Рисунок 4.8 – Схема управления клапанами подачи конденсата в пароперегревателе

4.6 Участок управления расходом перегретого пара

Для управления расходом перегретого пара воспользуемся разработанными ранее схемами. Управление будет формироваться ПИД-регулятором, при этом необходимо уменьшить зону нечувствительности, т.к. в данном случае настройка необходима точная. Схема представлена на рисунке 4.9.

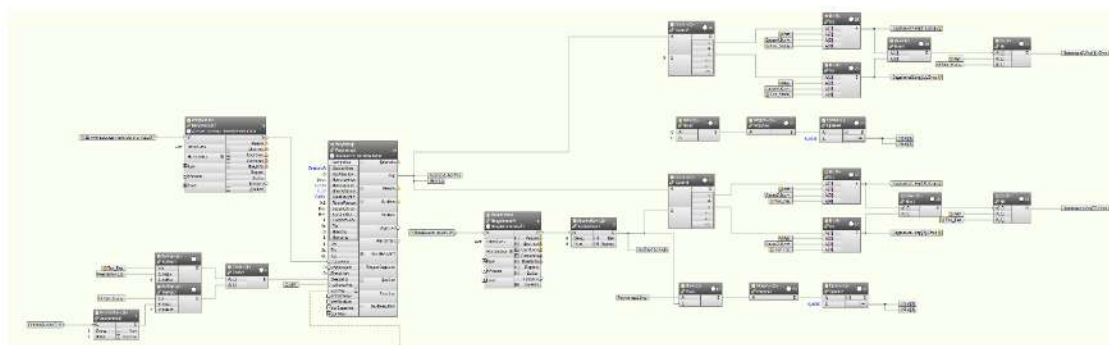


Рисунок 4.9 – Схема управления расходом перегретого пара

На рисунке представлены две одинаковые ветки после регулятора, т.к. управление на разных видах топлива различается лишь в том, какой клапан необходимо регулировать, сама логика является идентичной.

4.7 Логика смены топлива, растопки и останова

При смене топлива необходимо подготовить систему другого вида топлива к растопке. После этого необходимо немного уменьшить текущий расход и включить систему на другом виде топлива. После выравнивания расхода перегретого пара по заданию, закрываем главный регулирующий клапан одной системы и открываем у другой, сохраняя расход пара. После полного перекрытия одно из систем, отключаем все ее защиты и управления и включаем для другой. В конце меняем переменные, отвечающие за текущий вид топлива.

При растопке на угле необходимо запустить необходимую систему и регулировать систему главным управляющим клапаном, при растопке на газе необходимо провести продувку через продувочный газопровод, открыть подачу на запальники, включить напряжение на них, после чего открывать клапан. Увеличивать задание необходимо постепенно, дожидаясь установления значений температур, давлений и т.п. В реальности растопка длительный и трудоемкий процесс, в имитационной модели она упрощена и не учитывает особенности реального процесса.

Останов перекрывает подачу топлива, открывает газопровод безопасности, перекрыв горелки, после чего запускает продувку. В процессе клапаны на всех участках, также открывается возможность ручного управления аварийным сливным клапаном на барабане котла.

5 СОЗДАНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ SCADA-СИСТЕМЫ

Для облегчения управления различными управляющими органами, своевременного получения всей необходимой информации о системе и большей наглядности необходимо создать визуализацию, которая будет показывать различные участки и позволит ими управлять.

5.1 Общий вид

Для начала создадим общий вид котла, который будет показывать все элементы и участки в общем виде, отражая основные необходимые значения. Это расход газового топлива с двух сторон, уровень воды и давление в барабане. Температуры ступеней пароперегревателя, температура выходящего из котла пара и его текущий расход. Также показаны температуры воды, воздуха и расход питательной воды.

С данного экрана есть возможность управлять главными управляющими клапанами. Клапаном перед дымососами, перед горелками, а также на подачу воды и аварийный сливной клапан воды из барабана. Сам вид данного окна представлен на рисунке 5.1.

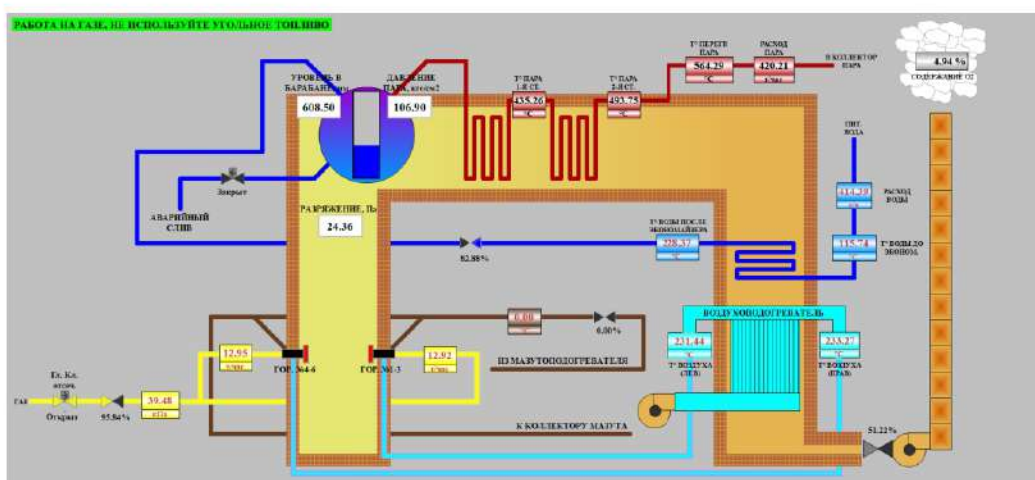


Рисунок 5.1 – Визуализация. Общий вид котла

5.2 Окно подачи газового топлива

На данном окне представлена полная схема подачи газового топлива.

Здесь можно управлять всеми существующими клапанами на каждой горелке и системе в целом. Это продувочный газопровод и газопровод безопасности, перекрывающие дискретные клапаны конкретно горелки, главные клапаны всей системы, а также клапаны перед запальными устройствами и клапанами для подачи воздуха. Дополнительно здесь присутствует кнопка для открытия окна управления запальными устройствами.

Из отображаемых значений здесь текущие расходы перед каждой горелкой и общий расход со стороны, текущее давление газа и воздуха перед горелкой, а также разрежение в топке. На дополнительном окне выводится информация о состоянии запальных устройств. Внешний вид данного и дополнительного окна представлены на рисунках 5.2 и 5.3.

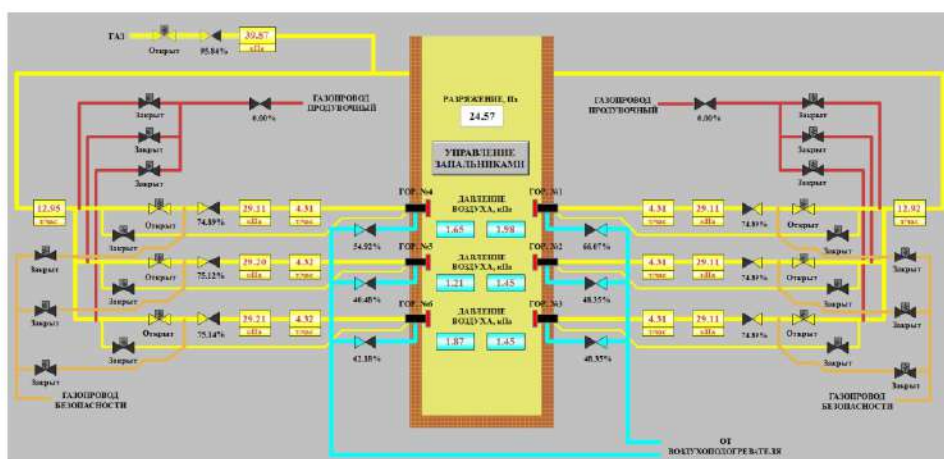


Рисунок 5.2 – Визуализация. Окно подачи топлива и воздуха на газовые горелки

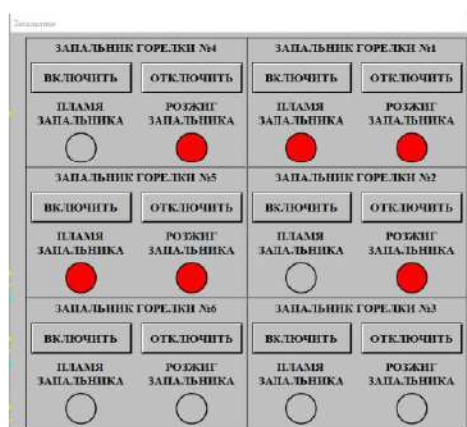


Рисунок 5.2 – Окно управления запальными устройствами

5.3 Окна пароперегревателя и воздухоподогревателя

На данном окне из управляемы элементов находятся регулирующие клапаны впрыска конденсата. Из информационной части здесь находятся температуры пара слева и справа котла, а также текущая температура перегретого пара и его расход. Также здесь дублируются уровень воды в барабане и давление в нем. Внешний вид окна представлен на рисунке 5.3.

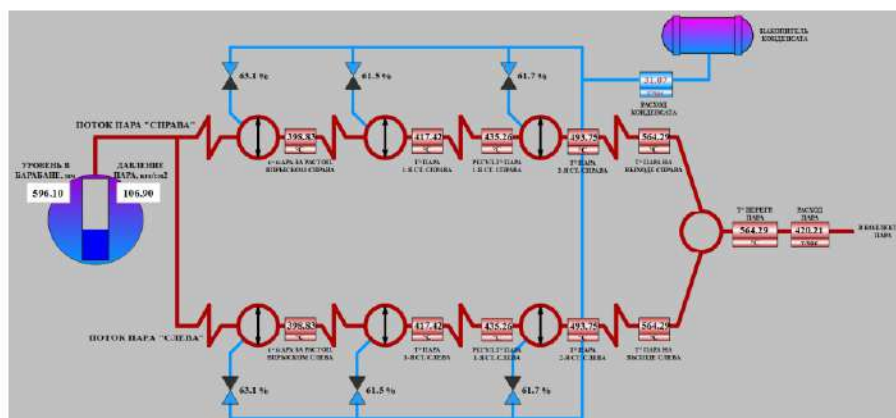


Рисунок 5.3 – Визуализация. Окно пароперегревателя

Окно воздухоподогревателя имеет лишь два регулирующих клапана для взятия части горячего воздуха со второй ступени воздухоподогревателя. Также имеются кнопки для включения и отключения подогревателя сетевой воды. Из информационных данных температуры «тыла» и «фронта» с обеих сторон котла. Внешний вид она представлен на рисунке 5.4.

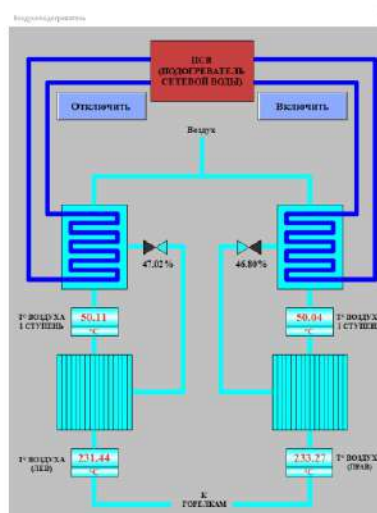


Рисунок 5.4 – Визуализация. Окно воздухоподогревателя

5.4 Оставшиеся окна

Окно управления подачей угля позволяет включать и отключать систему пылеприготовления и управляя регулирующими клапанами изменять расход топлива и воздуха. Данное окно отражает лишь основное управление, т.к. считается что полномасштабная визуальная модель уже существует, ведь уголь – изначальное топливо. Внешний вид окна представлен на рисунке 5.5.

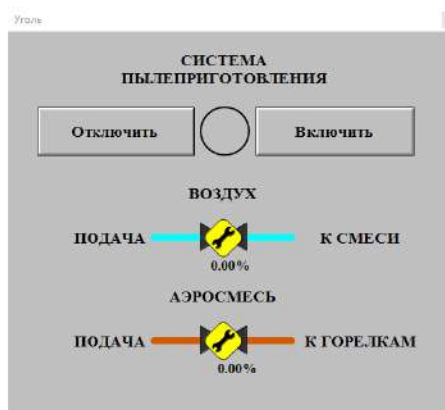


Рисунок 5.5 – Визуализация. Окно управления угольным топливом

Окно смены вида топлива состоит лишь из двух кнопок «Уголь» и «Газ» и представлять его незначит.

Окно автоматики содержит текущее состояние защит, текущее задание и сигнализатор о включенном или отключенном автоматическом регулировании. Из управления присутствуют кнопки включения/отключения автоматического управления, кнопка для изменения задания и управления вводом/выводом защит. Внешний вид окна представлен на рисунке 5.6.

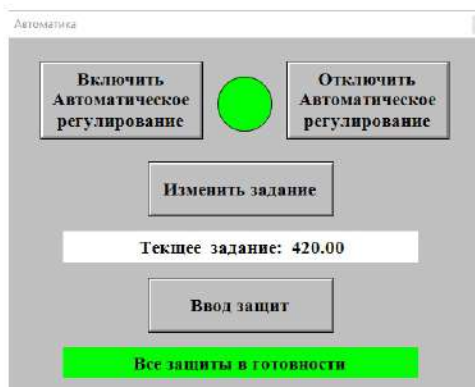


Рисунок 5.6 – Визуализация. Окно «Автоматика»

Для изменения задания открывается окно ввода значения, в котором указано текущее значение задания, единицы измерения и границы допустимых значений. Внешний вид представлен на рисунке 5.7.

Рисунок 5.7 – Визуализация. Окно изменения текущего задания

Окно ввода защит представлено на рисунке 5.8.

Рисунок 5.8 – Визуализация. Окно управления защитами

В данном окне можно вводить и снимать все или конкретные защиты, а также управлять введенными устанавливая и снимая накладки.

Основой управления является системная панель с кнопками для переключения активных окон. Панель представлена на рисунке 5.9.

Рисунок 5.9 – Визуализация. Системная панель

6 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

6.1 Безопасность

Котел Е-420-140, находящийся в котельном цеху Благовещенской ТЭЦ, является сложным технологическим объектом, за которым необходимо постоянное наблюдение. В данном разделе будут рассмотрены необходимые меры безопасности, для сохранения жизни и здоровья рабочих.

Паровой котел Е-420-140 должен работать на двух видах топлива – газе и угле. Сам котел необходим для производства пара, что свидетельствует о том, что в помещении с ним наблюдаются значительные повышения температуры окружающей среды, что в свою очередь негативно сказывается на обслуживающем персонале. Возможные утечки газа необходимо контролировать в первую очередь, так как это может повлечь за собой как ухудшение самочувствия работников, находящихся рядом с утечкой, так и к взрыву при серьезных утечках.

Помимо негативного влияния на оперативный персонал, также возможны последствия и для дежурного персонала, в том числе для операторов. Некоторые негативные факторы, описанные в ГОСТ 13.0.003-74 [29], могут наносить вред персоналу, который не контактирует с объектом напрямую. В первую очередь это нервно-психические перегрузки. Для решения данной проблемы, в разработанной SCADA-системе в визуальной части были введены аниматоры, которые сигнализируют о выходе значений за пороги, это позволяет снизить нагрузку анализаторов оператора.

Для оперативного персонала в первую очередь важна система оповещения о текущем состоянии системы, при возникновении опасных ситуаций, операторы должны своевременно получать всю информацию, чтобы предотвратить аварии и предупредить персонал, находящийся рядом с участком о возможной опасности, для их своевременного ухода из потенциально опасной зоны. Это возможно благодаря быстрому обмену данными между системой и сервером и специально введенным оповещениям что происходит с котлоагрегатом. В разработанной

SCADA-системе для этого присутствуют специальные строки о текущем состоянии, если на одном из участков происходит какое-либо событие, не предусмотренное в нормальном ходе процесса, происходит сигнализированные, к примеру возникновением специального окна (рисунок 6.1).

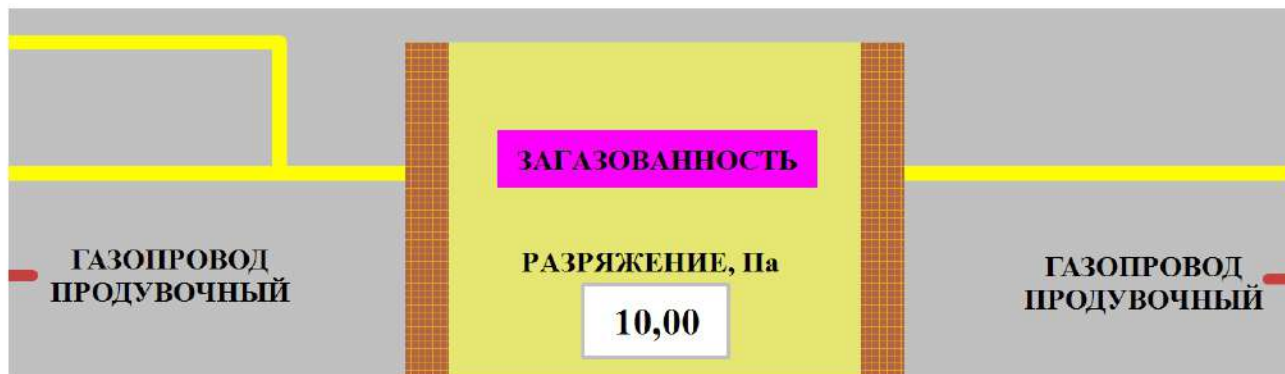


Рисунок 6.1 – Отображение сигнала о загазованности

Разберем данный момент. На рисунке видно, что пришел сигнал о загазованности топки, в первую очередь это говорит о том, что в данный момент нельзя производить розжиг горелок. Система при включенной защите от загазованности автоматически перекроет подачу топлива, после чего включиться продувка топки и газопровода подачи через специальные продувочные газопроводы. После пропадания сигнала о загазованности система продолжит продувку в течении небольшого времени, после чего перекроет продувочные газопроводы и снимет блокировки управления.

По такому же принципу реализованы и другие защиты, они блокируют возможность использования участков, которые находятся на грани аварийной ситуации и исправляют текущие проблемы, при невозможности исправления или критических ситуация, оператор должен остановить работы котла, для это присутствует кнопка «Останов» на главной системной панели. Также есть возможность снятия блокировок с какого-либо элемента при необходимости, если действия автоматической системы не принесут результатов и оператор сам произведет верное решение текущей проблемы. Так как при срабатывании защиты ее

можно вывести только после отключения, данная возможность является необходимой, иначе у операторов может пропасть возможность управления.

6.2 Экологичность

Экологичность – это одна из важнейших составляющих, при проектировании производств и установок. Процесс горения сопровождается выбросом вредных веществ в атмосферу. Для того чтобы минимизировать экологическое воздействие необходимо применять комплекс мер, таких как очистка уходящих газов, оптимизация процессов сжигания, использование альтернативного вида топлива и др.

Разрабатываемая система стала необходимостью ввиду ввода дополнительного вида топлива – природного газа. В сравнении с углем, при использовании газового топлива можно достичь снижения выбросов CO_2 на 50%, а SO_2 на 95% [30].

Автоматизированная система управления контролирует содержание кислорода в уходящих газах, выход значения за допустимые пределы ведет к снижению качества пара и недожогу, что может привести к большему выбросу вредных веществ, в сравнении с оптимальным режимом работы. Также система контролирует текущее разряжение в топке, чтобы предотвратить выбивание газов из топки. Очистка же самих уходящих газов возможно при помощи обессеривания, установки электрофильтров для улавливания твердых частиц и очистке от оксидов азота.

Для оптимизации процессов сжигания, разработанная системе постоянно следит за процессом. Данная система была разработана согласно необходимым требованиям, описанным в ГОСТ EN 298-201 [4]. Также были подобраны необходимые горелки, чтобы обеспечить правильное и необходимое сжигание топлива.

Следующим немаловажным фактором является очистка отходов. Очистка сточных вод, позволяет не допустить выброс вредных веществ в водоемы. Также есть несколько путей решения с накоплением золошлаковых отходов [31]. Са-

мыми оптимальными можно предложить: переработку, с последующем использованием в строительстве; или захоронение в изолированных золоотвалах, для предотвращения загрязнения грунтовых вод.

6.3 Чрезвычайные ситуации

6.3.1 Опасность при утечках газа

В случае появления утечек газа может произойти возгорание или даже взрыв, поэтому необходимо вовремя узнать о проблеме. Сообщить об этом может снижение расхода газа на конкретном участке или поступивший сигнал от газоанализатора. Оба данных варианта позволяют не только узнать о наличии утечки, но и локализовать место ее нахождения. Газоанализаторы необходимо устанавливать в различных местах по периметру газопроводов, чем чаще они будут установлены, тем проще найти место утечки.

6.3.2 Опасность при эксплуатации автоматизированной системы управления

При наличии автоматических защит и сигнализаторов, может показаться что все всегда находится под контролем, однако это не так. Оборудование может выйти из строя, к примеру сбой в работе измерительного преобразователя уровня воды в барабане. Неправильный контроль уровня может привести к переполнению барабана из-за чего часть воды может начать попадать в паропровод, недостаток же может привести к ожогу труб, и несмотря на то, что перечисленные исходы в первую очередь вредят непосредственно технологическому процессу, если вовремя не обезвредить возможные риски может произойти разрыв паропровода или возникновения пожара. Находящийся рядом с подобным местом персонал может получить травмы, поэтому для контроля уровня помимо автоматики также присутствует и трубчатый уровнемер, для контроля уровня визуально при необходимости. Подобные замены необходимы на всех участках, также необходима слежка за текущим состоянием и по возможности и необходимости – дублирование измерительных преобразователей.

Возникновение программных ошибок может привести к неправильной реакции автоматизированной системы на текущее состояние объекта. Для предотвращения подобных исходов у защит системы есть возможность снятия накладки, после чего сигналы будут поступать непосредственно на контроллер, не подаваясь на сам объект управления. Таким образом необходимо проводить тестирование работы системы.

Следующим, одним из самых неожиданных сбоев может являться кибератака. Несмотря на наличие систем защиты, использования локальных серверов и проверки носителей информации, всегда присутствует шанс подобной атаки, если система управления ей подвергнется, то злоумышленники могут путем отключения защит и неправильного регулирования, привести систему в критическое положение, что приведет к порче оборудования и возникновению серьезных последствий, таких как пожар, взрывы в топке, подача газа в продувочные системы. Для защиты от подобного исхода используются средства информационной безопасности, но, если атака уже случилась, необходимо произвести срочный останов всей системы, отключить питания с контроллеров и разобраться в сложившейся ситуации после устранения возможных рисков.

6.3.3 Пожарная безопасность

На объектах обязательно присутствует система автоматического пожаротушения в зданиях где работает персонал. При срабатывании датчика дыма, запускается система пожаротушения, происходит звуковое оповещение через громкоговорители, а также начинают светиться таблички аварийных выходов.

Для того чтобы персонал мог покинуть свое рабочее место на каждом этаже установлены планы эвакуации, расположенные на видном месте. Каждый план имеет условные знаки и обозначения, указывающие на расположение огнетушителей, пожарных кранов и телефонов и представляет из себя план действий при пожаре, дополненный знаками безопасности для упрощения восприятия согласно СП 112.13330.2011 [32]. Размеры плана эвакуации должны быть не менее 600 мм на 300 мм; Для составления плана эвакуации необходима информация о поэтажном плане помещения от бюро технической инвентаризации, перечень

помещений с правильными названиями, полное наименование организации, должность и ФИО лица, ответственного за утверждение плана эвакуации, местоположение огнетушителей, пожарных кранов, электрощитовых, ручных пожарных извещателей (РПИ), телефонов, запасных выходов и пожарных лестниц [32].

Также необходимо обеспечить подъезд пожарной машине к зданию, в соответствии с количеством этажей, для возможности тушения пожара. Стоит отметить что вызов пожарных необходимо сделать незамедлительно при обнаружении пожара и в случае если не сработала автоматика, самостоятельно включить систему оповещения с помощью РПИ. Самостоятельно заниматься тушением можно до появления первых признаков недомогания, также не стоит пытаться тушить большие очаги, которые затруднительно затушить одним огнетушителем.

Разработанная автоматизированная система при возникновении сигнала о пожаре, откроет газопроводы безопасности и перекроет подачу газа от главного газопровода. В дальнейшем система может продолжить работу на угле, однако ввиду резкого перекрытия подачи топлива, будет совершен вынужденный останов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система управления котлом Е-420-140. Данная система позволяет в качестве топлива использовать два вида топлива – уголь и газ.

Были подобраны все необходимые средства автоматизации: измерительные преобразователи, исполнительные механизмы, запорно-регулирующая арматура. Разработана полная электрическая схема.

Также была создана SCADA-система на базе программно-технического комплекса «Сура». Были проработаны алгоритмы управления, обеспечения защиты от аварийных ситуаций. Был создан интерфейс оператора с несколькими окнами, для контролирования процессов, проходящих на различных участках котлоагрегата.

Полученная система была протестирована на созданной имитационной модели, разработанные алгоритмы управления работают корректно, ошибок не было обнаружено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. bigenc.ru: Большая Российская Энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/> – 01.03.2025.
2. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
3. Жила, В.А. Автоматика и телемеханика систем газоснабжения: учебник для студентов вузов / В.А. Жила. – М.: Инфра-М, 2006. – 237 с.
4. ГОСТ EN 298-2015. Автоматические системы контроля горения для горелок и аппаратов, сжигающих газообразное или жидкое топливо. – введ. 2022-07-01. – М.: ФГБУ «РСТ», 2022. – 42 с.
5. Приказ №531. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления». – введ. 2021-01-01. – Приказ Ростехнадзора, 2020. – 29 с.
6. РД 153-34.1-35.108-2001. Технические условия на выполнение технологических защит и блокировок при использовании мазута и природного газа в котельных установках в соответствии с требованиями взрывобезопасности. – введ. 2002-07-01. – Руководящие документы отрасли, 2001. – 32 с.
7. Климец, Ю.Л. Техническая реализация задачи поддержания соответствия вырабатываемой и потребляемой энергии на ТЭЦ / Ю. Л. Климец, Д.А. Теличенко // Вестник АмГУ, 2014. – № 65. – С. 83-92.
8. Еремин, Е. Л. Адаптивное и робастное управление объектами теплоэнергетики / Е.Л. Еремин, Д.А. Теличенко. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2009. – 228 с.
9. Липатников, Г.А., Гузеев М.С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики: учебное пособие / Г.А. Липатников, М.С. Гузеев. – Владивосток, 2007. – 136 с.
10. Датчики давления Метран-150. Руководство по эксплуатации, 2012. – 147 с.

- 11 Датчики давления Метран-150 моделей 150CDR, 150CGR, 150TGR, 150TAR, 150L. Руководство по эксплуатации, 2012. – 183 с.
12. Датчики давления ЭМИС-БАР. Руководство по эксплуатации, 2025. – 198 с.
13. Расходомеры вихревые 390М. Руководство по эксплуатации, 2025. – 81 с.
14. Расходомеры-счетчики вихревые ЭМИС-ВИХРЬ 200. Руководство по эксплуатации, 2025. – 99 с.
15. Уровнемеры волноводные ЭМИС-ПУЛЬС 540. Руководство по эксплуатации, 2025. – 51 с.
16. Устройство контроля пламени ФДСА-03М. Руководство по эксплуатации, 2015. – 44 с.
17. Механизмы исполнительные электрические однооборотные МЭО(Ф) группы 40 и 160. Руководство по эксплуатации, 2012. – 33 с.
18. Пускатель бесконтактный реверсивный серии МикроСТАРТ-Р. Руководство по эксплуатации, 2015. – 20 с.
19. БПЗ0Б-ДЗ-24С Блок питания одноканальный. Руководство по эксплуатации, 2025. – 2 с.
20. Газоанализатор стационарный со сменными сенсорами взрывозащищенный ССС-903. Руководство по эксплуатации, 2011. – 38 с.
21. Газоанализатор универсальный СИГМА-03. Руководство по эксплуатации, 2014. – 33 с.
22. АДИГ.421457.016 РЭ. Контроллеры программируемые Elicont-100. Руководство по эксплуатации Часть 1. Состав и функциональные возможности, 2025. – 63 с.
23. АДИГ.421457.016 РЭ2. Контроллеры программируемые Elicont-100. Руководство по эксплуатации Часть 3. Модули УСО. Описание и характеристики, 2024. – 108 с.

24. АДИГ.421457.016 РЭ1. Контроллеры программируемые Elicont-100. Руководство по эксплуатации Часть 2. Схемы электрические подключения, 2024. – 48 с.
25. АДИГ.421457.005 РП2. Инструкция по проектированию «Сура», 2023. – 332 с.
26. ИЭ-240-05-24-2023. Инструкция по эксплуатации котлоагрегата Е-420-13,8, 2023. – 82 с.
27. ИЭ-240-05-01-2025. Инструкция по эксплуатации тягодутьевых установок котлов, 2025. – 18с.
28. Газомазутные прямоточно-вихревые горелки Пауэрс-ГМПВ02. Руководство по эксплуатации, 2012. – 67с.
29. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – введ. 1974-11-18. – Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР, 1974. – 2 с.
30. Кормилицын, В.И. Комплексные технологии снижения загрязнения окружающей среды тепловыми электростанциями / В.И. Кормилицын. – НИУ МЭИ, 2014. – 9 с.
31. Игумина, В. А. Анализ способов утилизации золошлаковых отходов / В. А. Игумина, А. Е. Карючина, А. С. Ровенских // VI международная научная конференция «Исследования молодых ученых», 2020. – С. 21-25.
32. СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – введ. 1998-01-01. – Зарегистрирован Росстандартом, 1998. – 32 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

УТВЕРЖДЕНО

ЛУ –

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку системы «АСУТП котлоагрегата БТЭЦ при переводе его на не-
сколько видов топлива»

Действует с дополнением № _____

«СОГЛАСОВАНО»

«Представитель Заказчика»

(дата, расшифровка, подпись)

«СОГЛАСОВАНО»

«Представитель Исполнителя»

(дата, расшифровка, подпись)

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Наименование системы

Полное наименование системы: Автоматизированная система управления технологическим процессом котлоагрегата БТЭЦ при переводе его на несколько видов топлива;

Условное обозначение: АСУТП котлоагрегата на нескольких видах топлива.

1.2 Шифр (номер) договора (темы)

Шифр темы: ДП15.03.04-2025.

1.3 Заказчика и исполнитель

Заказчик: СП «Благовещенская ТЭЦ» Теличенко Денис Алексеевич;

Исполнитель: АмГУ студент 141-об Лозовик Кирилл Владимирович.

1.4 Плановые сроки начала и окончания работ

Дата начала работ: 01.02.2025;

Дата окончания работ: 28.06.2025.

1.5 Порядок оформления и сдачи работ

1.5.1 На 11.04.2025:

- Создано содержание все разделов дипломного проекта, описать что в них будет находиться;

- скорректированные 3 листа под ДП, созданы проекты что будет в оставшихся 3х;

- устранены замечания по КП.

1.5.2 На 18.04.2025;

- отработана литература, выбраны нужные книги, дополнен ДП, вставлены ссылки по тексту);

- отработано современное состояние проблематики.

1.5.3 На 22.05.25:

- Получена вся необходимая документация;

- Получено необходимое ПО;

Продолжение приложения А

- Оформлены первые 4 раздела ДП.

1.5.5 Завершение диплома

- до 31.05.25 или позднее выполнение раздела 5 диплома;
- до 07.06.25 оформление, нормоконтроль, сдача на проверку руководителю;
- до 14.06.25 устранение замечаний;
- до 21.06.25 сдача на антиплагиат устранение замечаний по нему;
- до 28.06.25 подготовка доклада, печать и прошивка работы;
- 30.06.25-05.07.25 защита диплома.

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

2.1 Назначение

АСУТП предназначена для обеспечения работы котлоагрегата на нескольких видах топлива (уголь и газ) с возможностью переключения между ними; отображения текущего состояния системы, оборудования и информации о протекании технологического процесса.

2.2 Цели создания системы

АСУТП должна быть выполнена исключительно на отечественном оборудовании, т.е. должно быть достигнуто полное импортозамещение;

Переключение между двумя видами топлива должно быть безударным.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Краткая характеристика котлоагрегата Е-420-140 Благовещенской ТЭЦ.

- Производительность общая 420 т/час;
- Давление пара за котлом 13,8 МПа;
- Температура пара за котлом 560°C.

Котел газоплотный, имеет два осевых дымососа ДН-24х2-0.62 и два осевых дутьевых вентилятора ДН-26. На котле установлено 8 пылеугольных вихревых горелок на фронтальной стене. Котел снабжен 4 молотковыми мельницами типа ММТ 1500/2510/750 с прямым вдуванием.

Продолжение приложения А

Для транспортировки и сушки пылевоздушной смеси на каждую мельницу предусмотрен индивидуальный вентилятор горячего дутья ВГДН-21.

Каждая мельница оснащена скребковым питателем сырого угля ПСУ-700/3000.

Бункер сырого угля на каждую мельницу оснащен шнековыми затворами с гидроприводом и системой пневмообрушения.

Предусмотрены 4 пароакустические мазутные форсунки типа ФУЗ-3500 для растопки котла и подхвата факела мазутом марки М100.

Для регулирования температуры перегретого пара предусмотрен впрыск собственного конденсата. Котел имеет твердое шлакоудаление. Золоулавливающая установка типа электрофилтры.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

4.1 Требования к системе в целом

При проектировании системы необходимо выбирать надежные технические средства и устройства связи, обеспечить надежное бесперебойное электропитания с возможностью автоматического ввода резерва. Также необходимо соблюдать селективность автоматических выключателей.

АСУ ТП должна быть построена таким образом, чтобы отказы технических средств не приводили к ситуациям, опасным для жизни и здоровья персонала или повреждению оборудования.

При возникновении аварийных ситуаций необходимо вести журнал, с сохранением информации о состоянии, также необходим журнал о внесении каких-либо изменений в программе регулирования текущим процессом.

Все поставляемое оборудование и программное обеспечение должно либо обладать патентной чистотой, либо сопровождаться разрешительными документами.

4.2 Требования к функциям, выполняемым системам

Информационные функции:

- Сбор, первичная обработка и распределение информации;

Продолжение приложения А

- Вычислительные и расчетные;
- Ведение журнала событий и изменения параметров.

Управляющие функции:

- Автоматическое управление;
- Дистанционное управление.

4.3 Требования к видам обеспечения

Математическое обеспечение АСУ ТП должно включать в свой состав совокупность алгоритмов, обеспечивающих реализацию возлагаемых на систему функций во всех режимах работы.

Лингвистическое обеспечение АСУТП должно включать в свой состав русский язык, необходимые языки программирования и язык оперативного управления (интерфейса «человек-машина»). Вся документация должна быть выполнена на русском языке. Весь интерфейс должен строиться на единых принципах.

Техническое обеспечение должно быть полностью отечественным, обеспечивать возможность замены необходимых частей, иметь поддержку необходимых интерфейсов.

5 СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ

Этапы работы: Изучение объекта автоматизации; Выбор необходимого оборудования; Создание полной электрической схемы; Создание SCADA-системы; Создание модели системы для проверки; Анализ проделанной работы, внесение корректировок.

6 ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЕМКИ СИСТЕМЫ

Контроль происходит итерационно, при выполнении каждой из задач, необходимо высылать итоги на проверку заказчиком. Прием разработанной системы осуществляется в виде защиты дипломного проекта.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

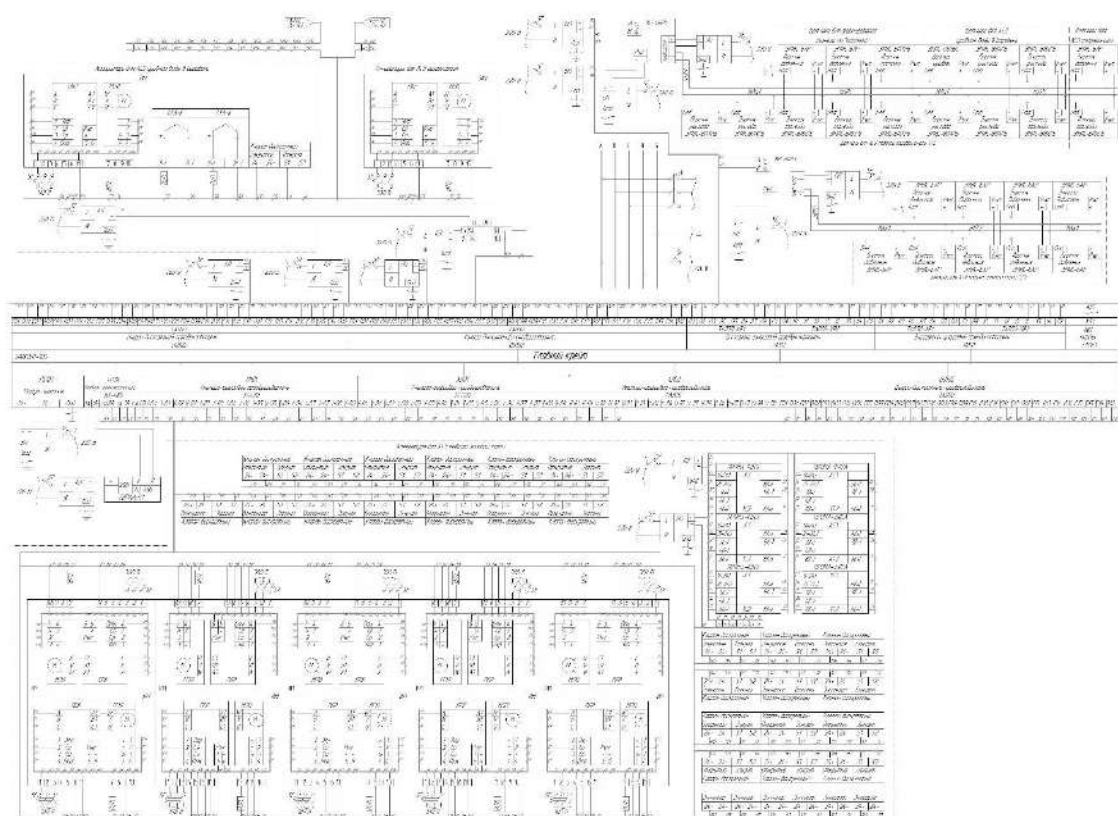


Рисунок Б.1 – Полная электрическая схема. Первая половина

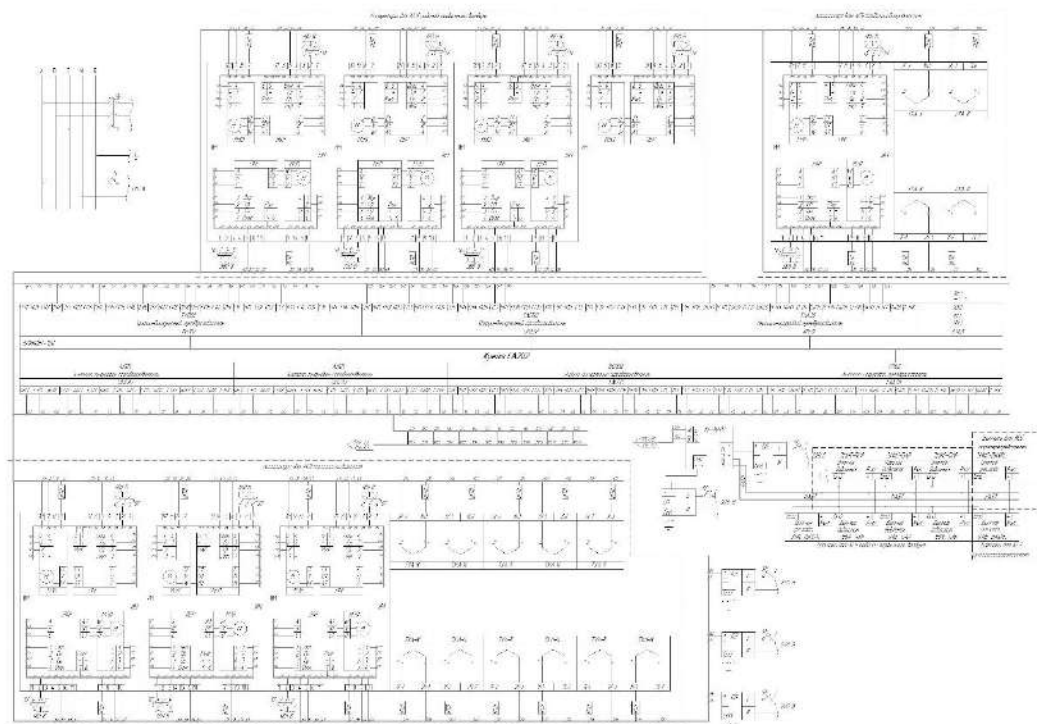
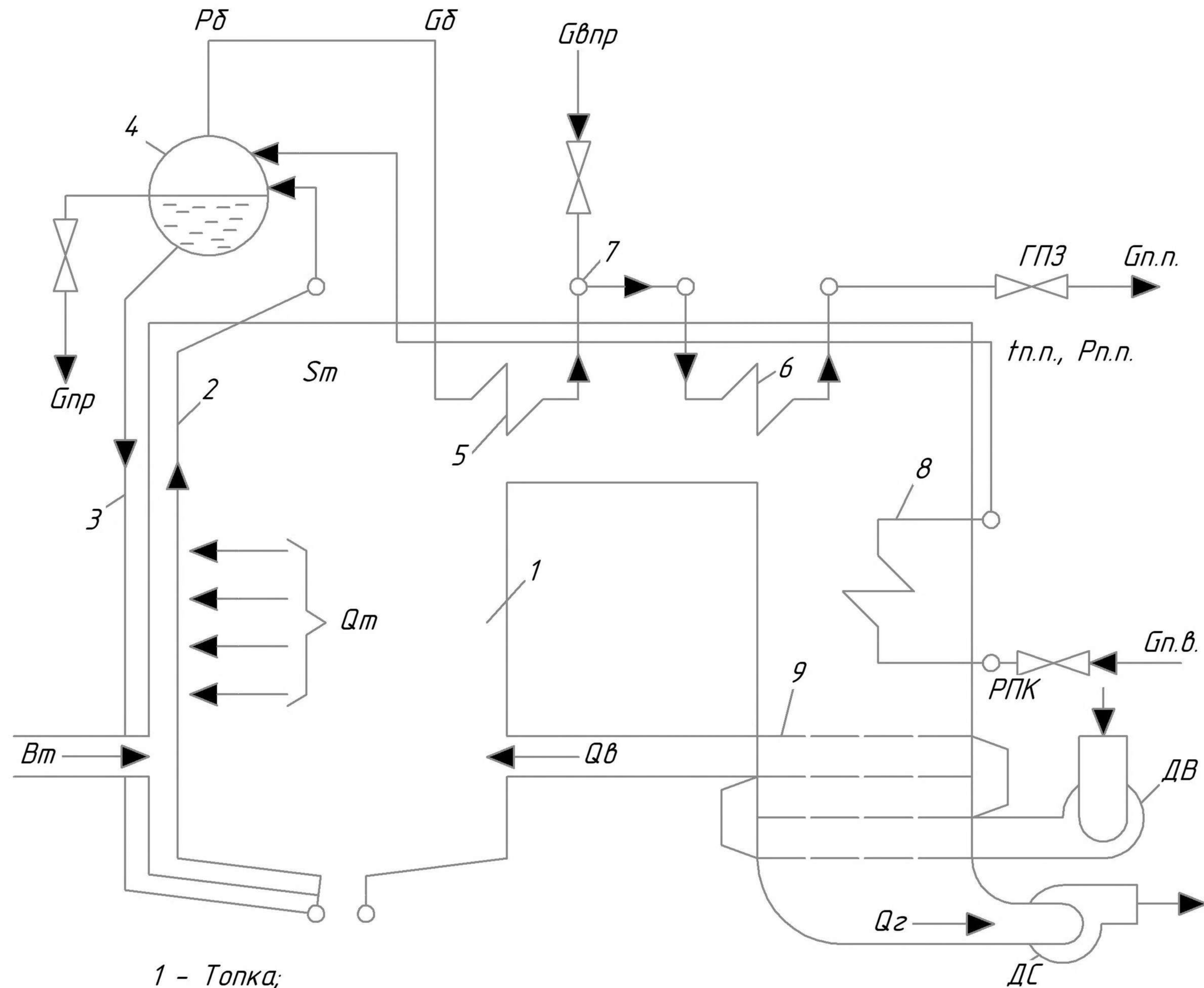
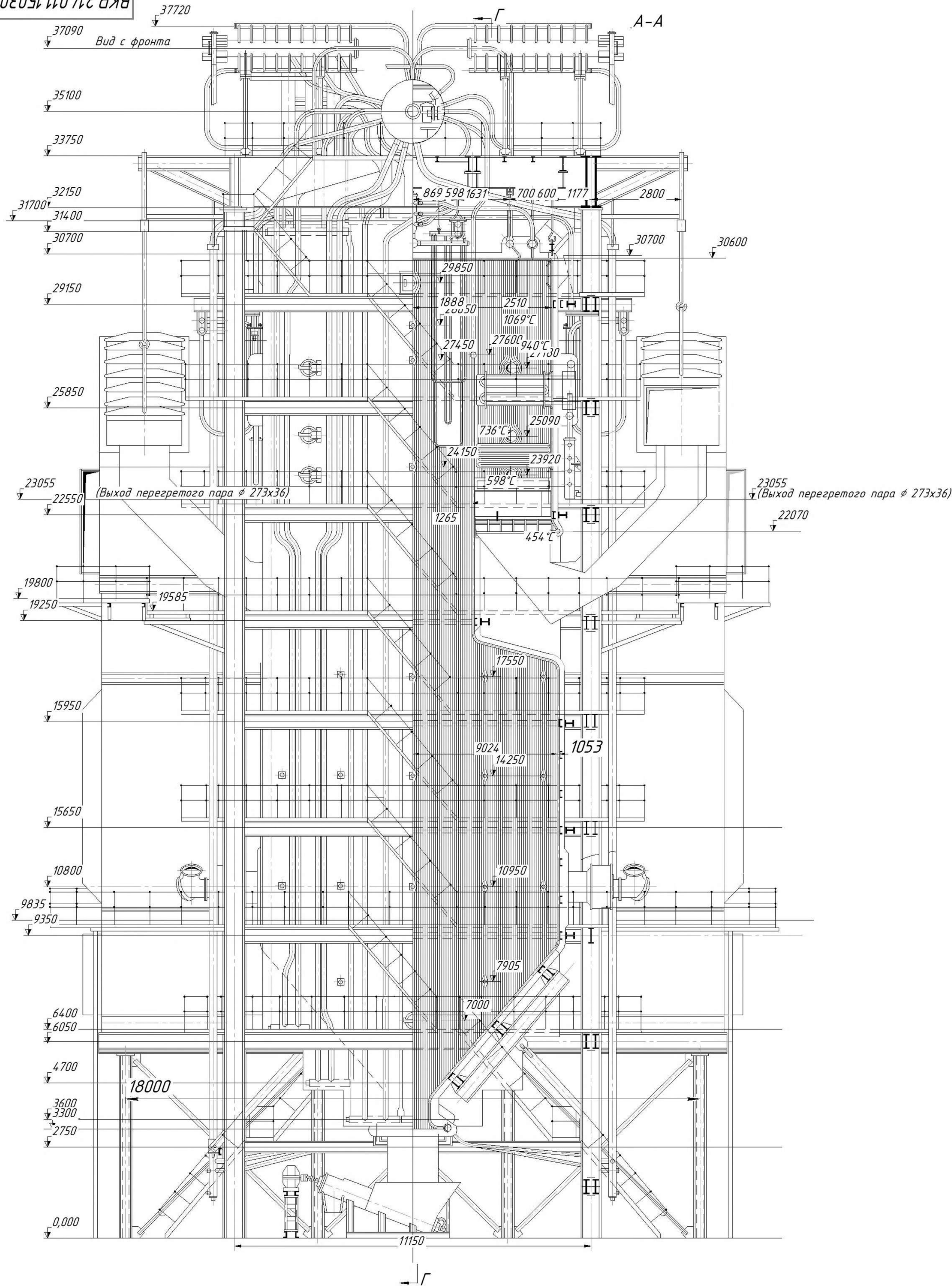


Рисунок Б.2 – Полная электрическая схема. Вторая половина

Продолжение приложения Б

Таблица Б.1 – Спецификация

№	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
1	ЭЛИКОНТ - 100	Контроллер Эликонт-100	1	
2	Клапан дискретный	Двухпозиционный дискретный клапан	26	
3	ЭМИС-БАР	ЭМИС-БАР DIN19213-103	18	
4	ЭМИС-БАР (Р)	ЭМИС-БАР DIN19213-105	1	
5	SF	Автоматический выключатель	51	
6	ЭМИС-ВИХРЬ	ЭМИС-ВИХРЬ 200	15	
7	ЭМИС-ПУЛЬС	ЭМИС-ПУЛЬС 540	1	
8	ТХА-К	Термопара ТХА-К КТМС	17	
9	ПРОМА-ФДСА4	ПРОМА-ФДСА-03М	6	
10	Запальник	ЗСУ-ПИ-60	6	
11	ПБР	БИТЕК ПБР МСТ-300Р	27	
12	МЭОФ	ПЭК МЭОФ-260	27	
13	БП	БП30Б-С	20	
14	ИТП5	ИТП-11.НЗ	44	
15	ССС-903	Газоанализатор СССР-903	1	
16	СИГМА-03	Газоанализатор Смгма-03	1	



- 1 - Топка;
 2 - Циркуляционный контур
 3 - Опускные трубы
 4 - Барабан
 5, 6 - Пароперегреватели
 7 - Пароохладитель
 8 - Экономайзер
 9 - Воздухоподогреватель
 ГПЗ - Главная паровая задвижка
 РПК - Регулирующий питательный клапан
 ДВ - Дутьевой вентилятор
 ДС - Дымосос
 Qb - Расход воздуха, подаваемого в топку
 Qg - Расход дымовых газов
 Gδ - Расход насыщенного пара
 Gbnp - Расход воды на впрыск
 Pδ - Давление пара в барабане
 Sm - Разряжение
 Gp.в. - Расход питательной воды
 Gp.р. - Расход воды из барабана
 Qm - Тепловыделение в топке
 Gp.n. - Расход перегретого пара
 Bm - Расход топлива

ВКР.214.011.150304.0В				Лит. Масса Масштаб		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	У	1:1
Разраб.	Лозовик К.В.	Лозовик К.В.	Лозовик К.В.	20.08.2020	1	7
Проб.	Теличенко И.А.	Теличенко И.А.	Теличенко И.А.	20.08.2020	1	7
Т.контр.	Теличенко И.А.	Теличенко И.А.	Теличенко И.А.	20.08.2020	1	7
Н.контр.	Скрипко О.В.	Скрипко О.В.	Скрипко О.В.	20.08.2020	1	7
Утв.	Скрипко О.В.	Скрипко О.В.	Скрипко О.В.	20.08.2020	1	7
Принципиальная технологическая схема барабанного котла				Автоматизированная система управления котла Е-420-140, работающего на газе и угле		
АМГУ 141-од						

Схема АСР температуры перегретого пара

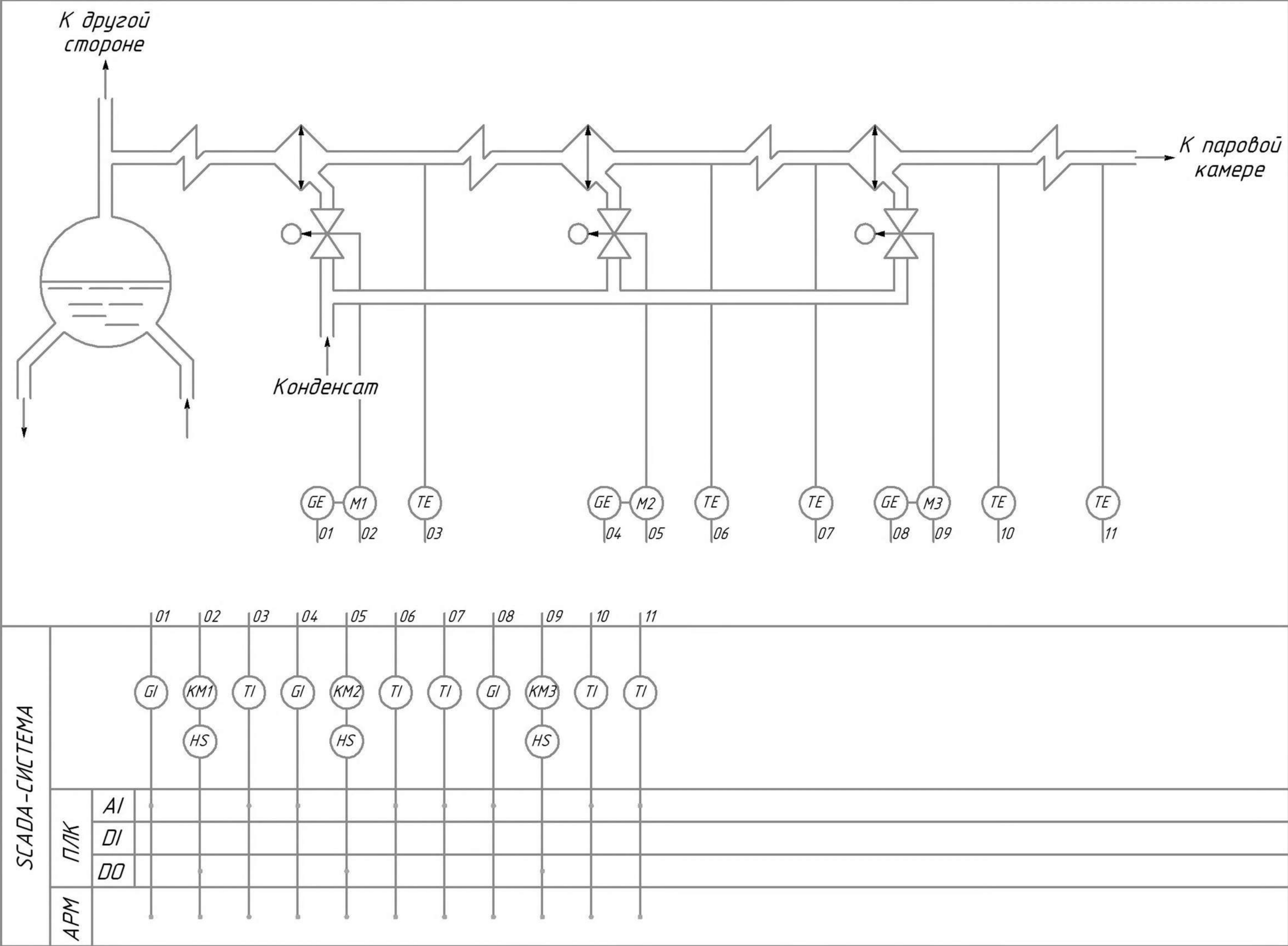


Схема АСР подачи газовой смеси

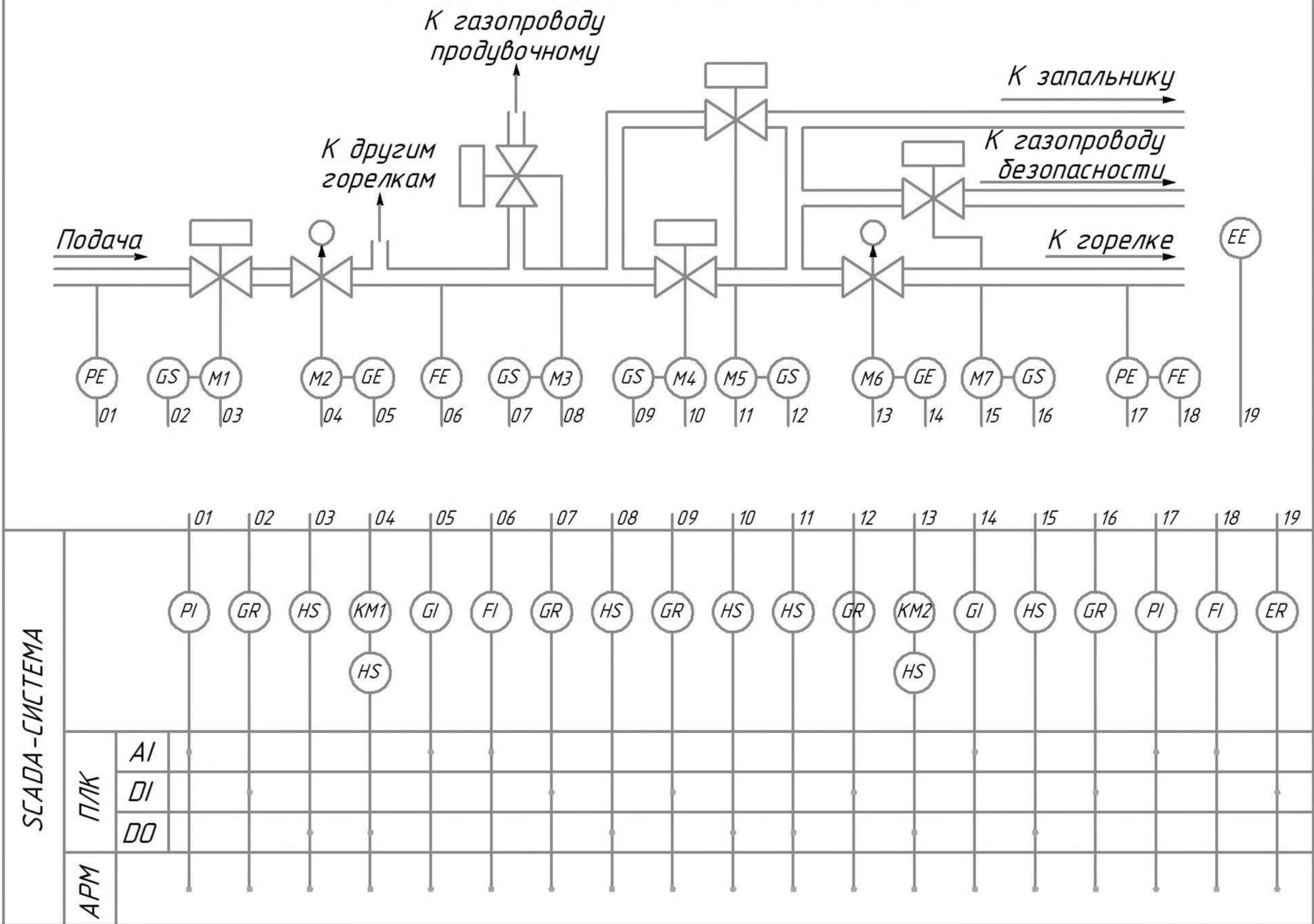


Схема АСР уровня воды в барабане

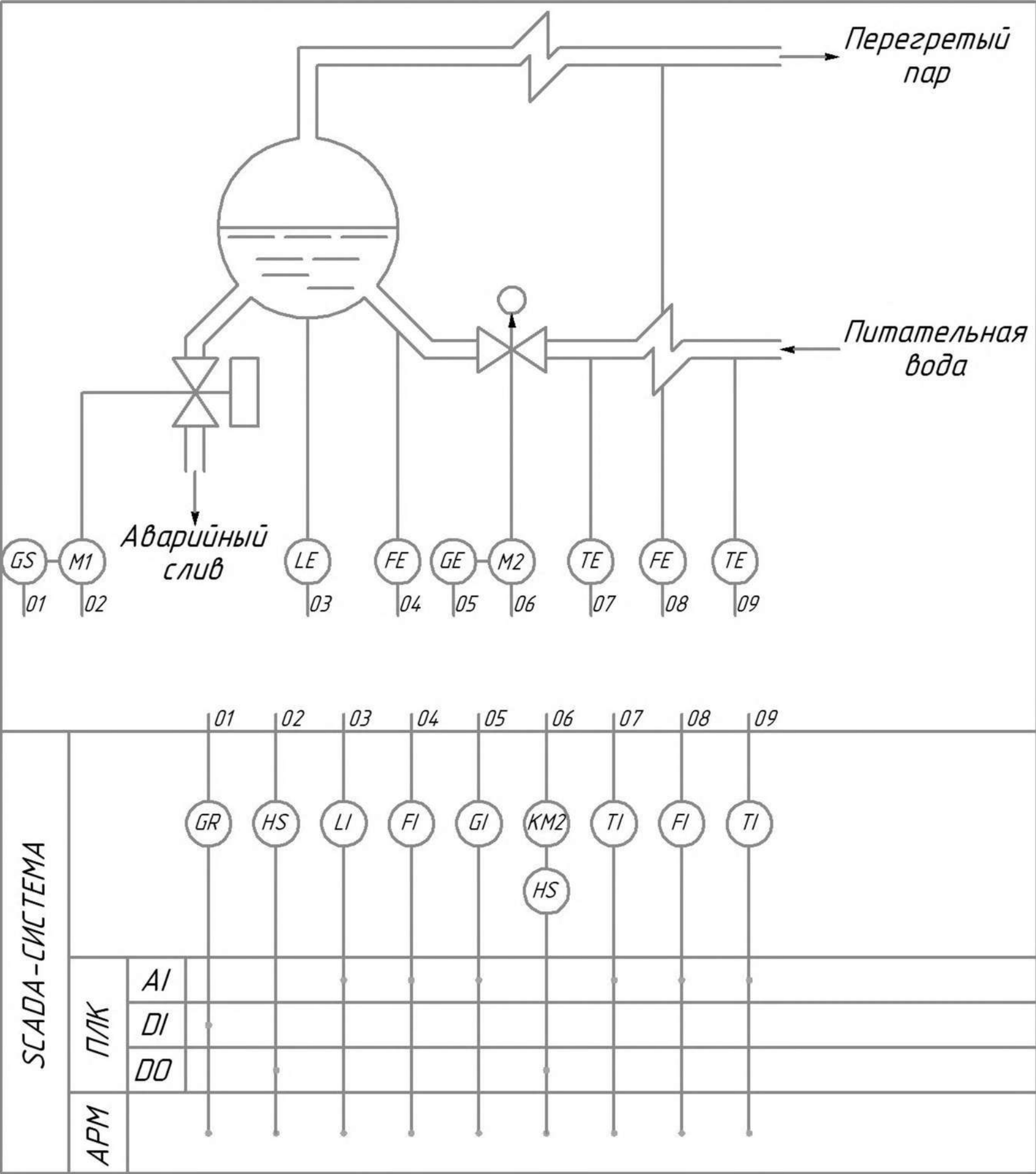
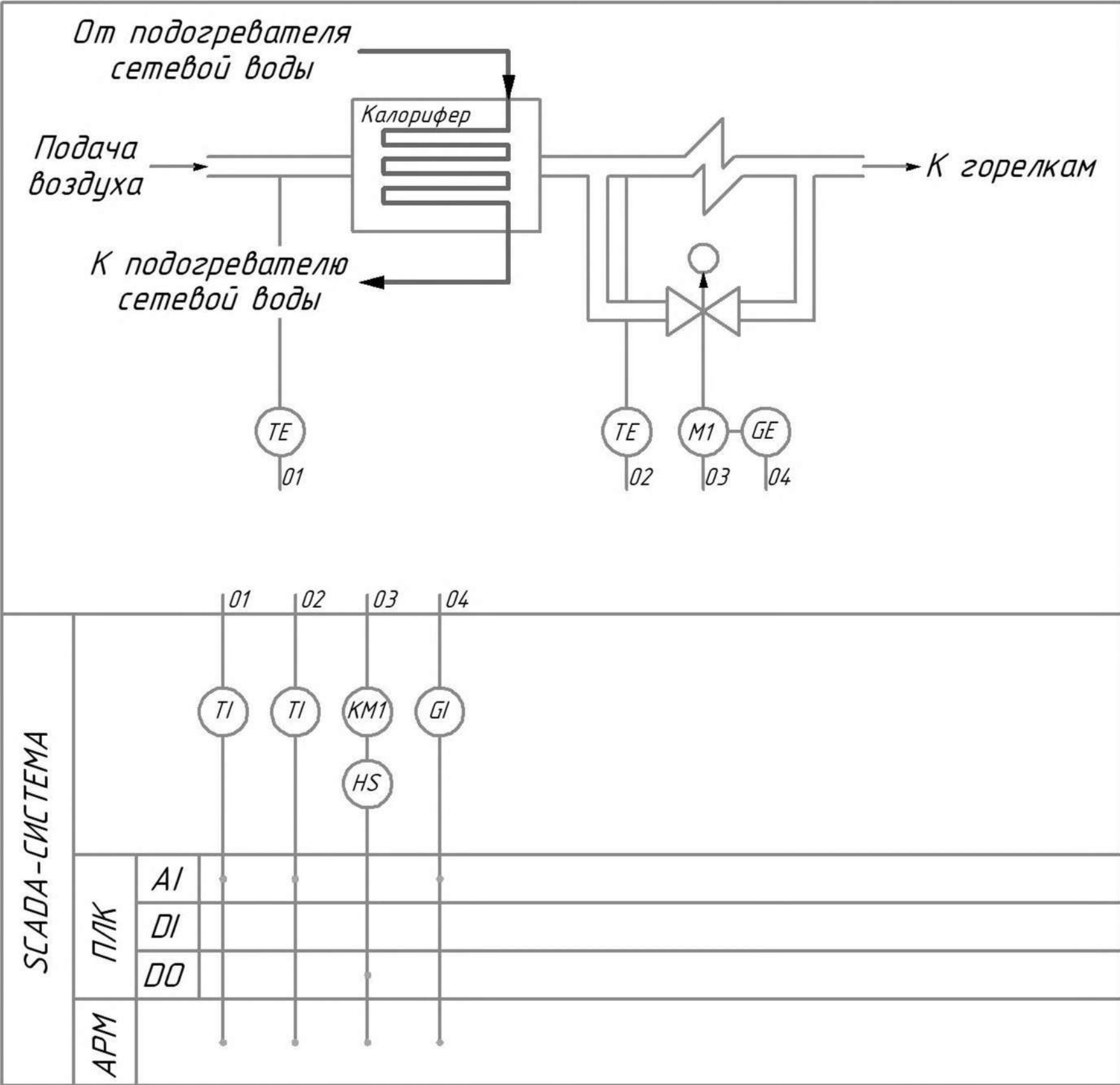
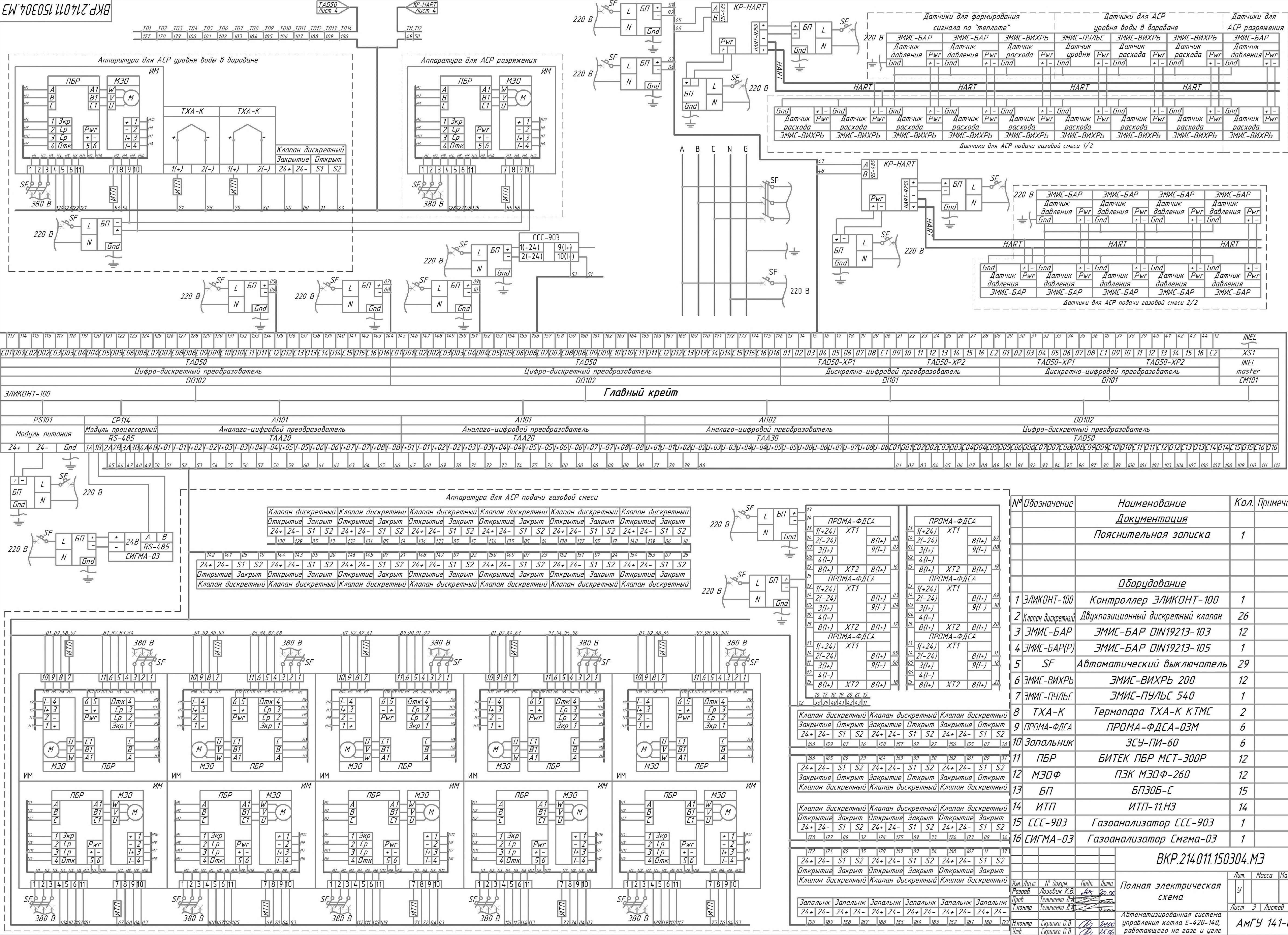
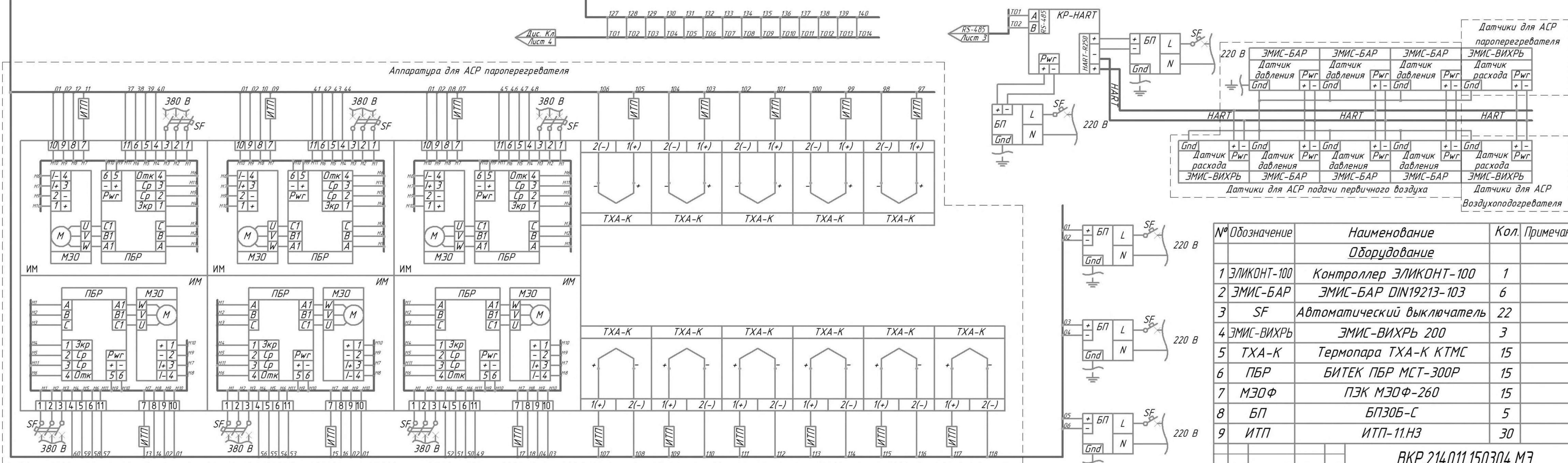
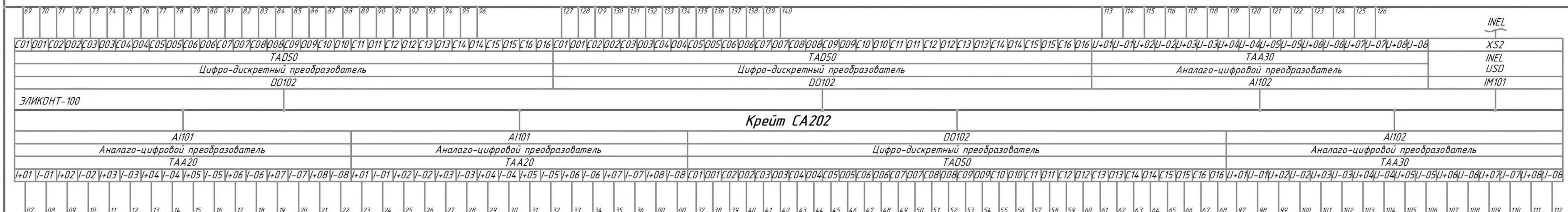
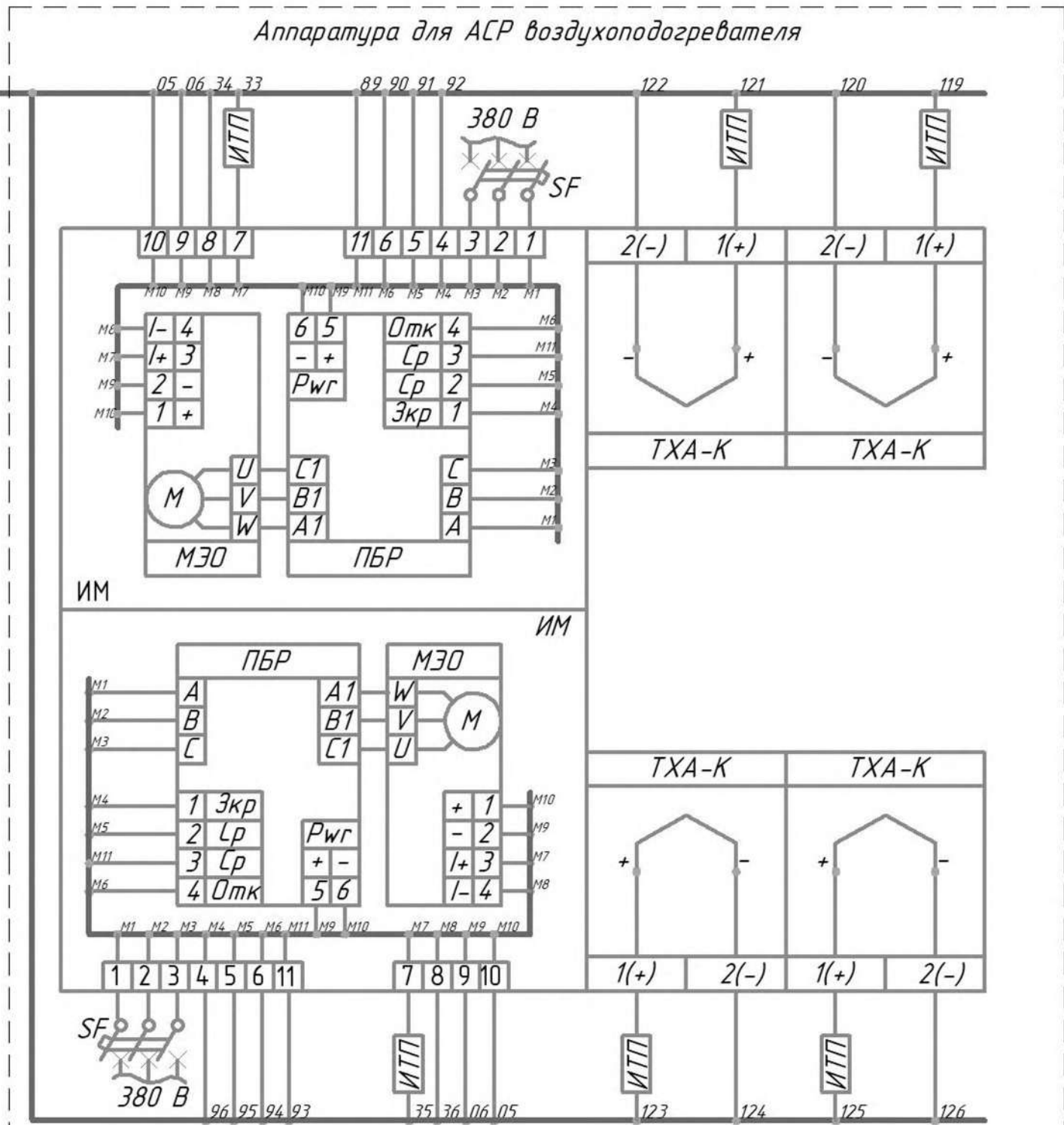
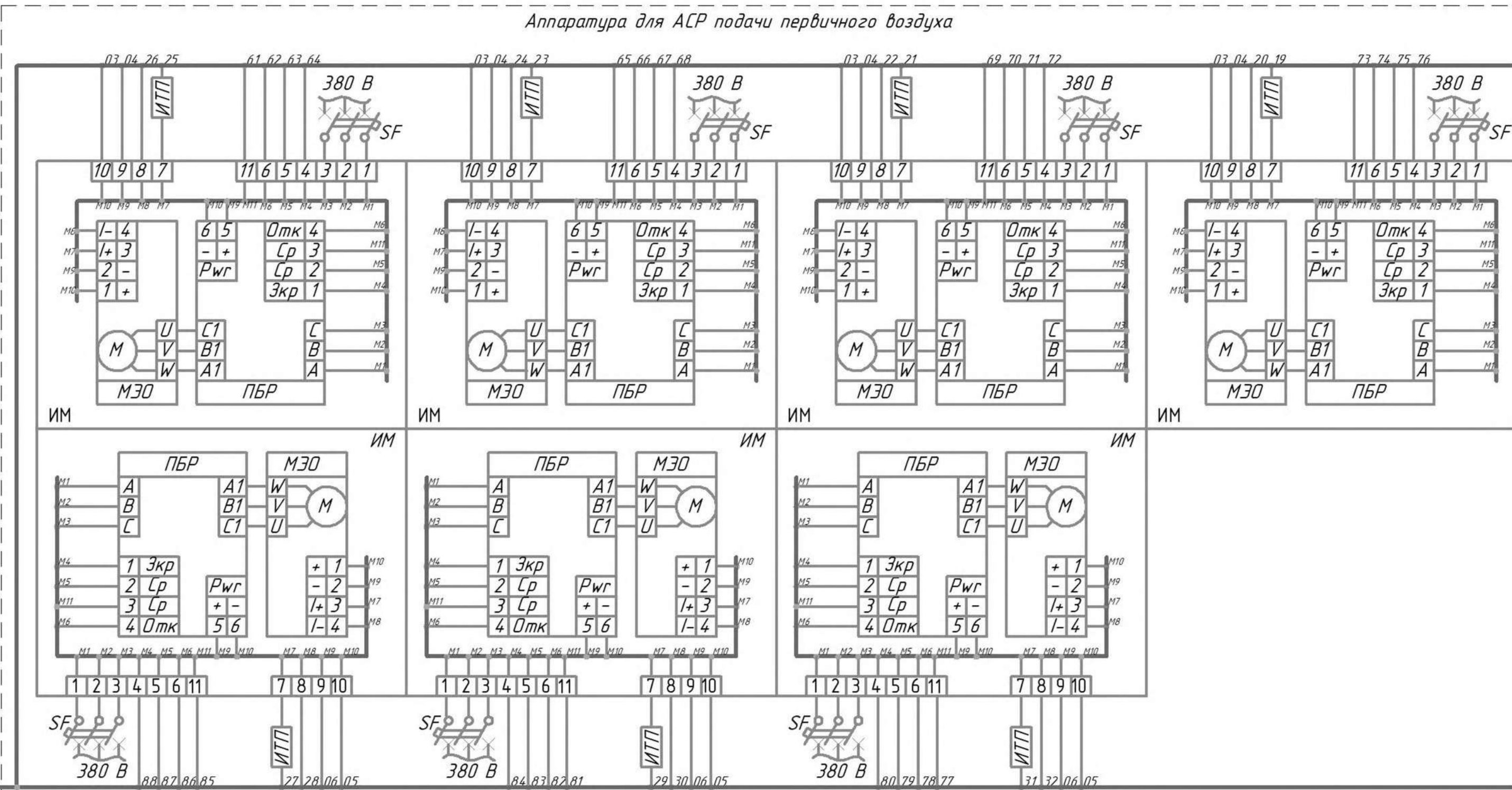
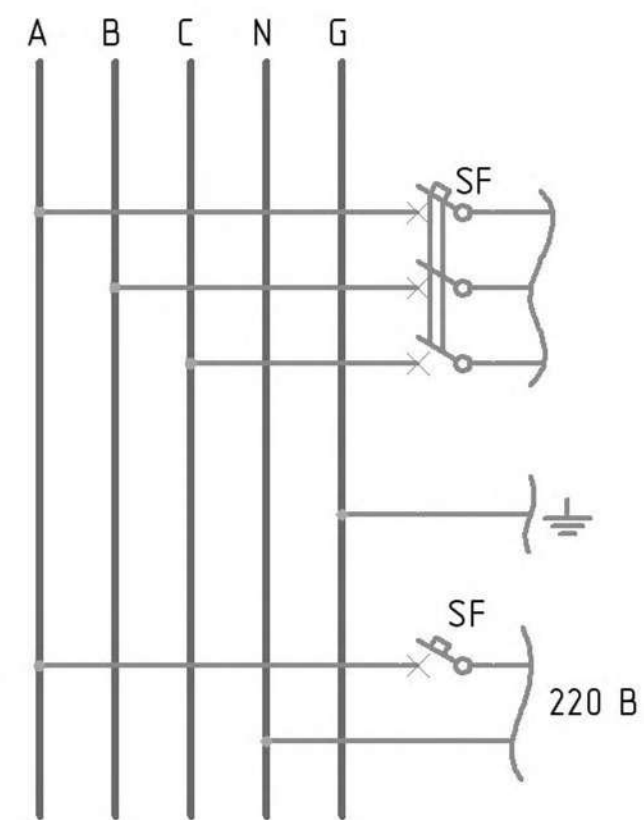


Схема АСР температуры за калорифером







№	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		Оборудование		
1	ЭЛИКОНТ-100	Контроллер ЭЛИКОНТ-100	1	
2	ЭМИС-БАР	ЭМИС-БАР DIN19213-103	6	
3	SF	Автоматический выключатель	22	
4	ЭМИС-ВИХРЬ	ЭМИС-ВИХРЬ 200	3	
5	ТХА-К	Терморара ТХА-К КТМС	15	
6	ПБР	БИТЕК ПБР МСТ-300Р	15	
7	МЭОФ	ПЭК МЭОФ-260	15	
8	БП	БП30Б-С	5	
9	ИТП	ИТП-11.НЗ	30	
ВКР.214011.150304.МЭ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Лозовик К.В.		Лоз	20.06
Проб.	Геличенко Д.А.		Лоз	20.06
Контр.	Геличенко Д.А.		Лоз	20.06
Полная электрическая схема				
Автоматизированная система управления котла Е-420-140, работающего на газе и угле				
Исполн.	Скрипко О.В.		О.В.	20.06
Упр.	Скрипко О.В.		О.В.	20.06
		Лит.		Масса
		у		1:1
		Лист 4		Листов 7
				АМГУ 141-об

Схема защиты от излишнего давления воздуха перед горелкой

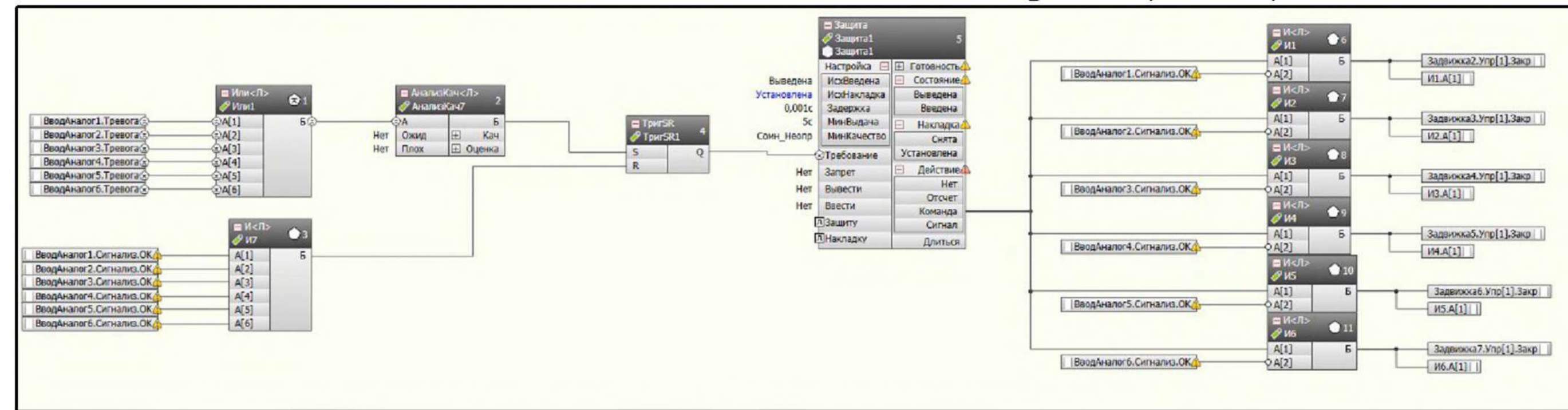


Схема защиты от загазованности

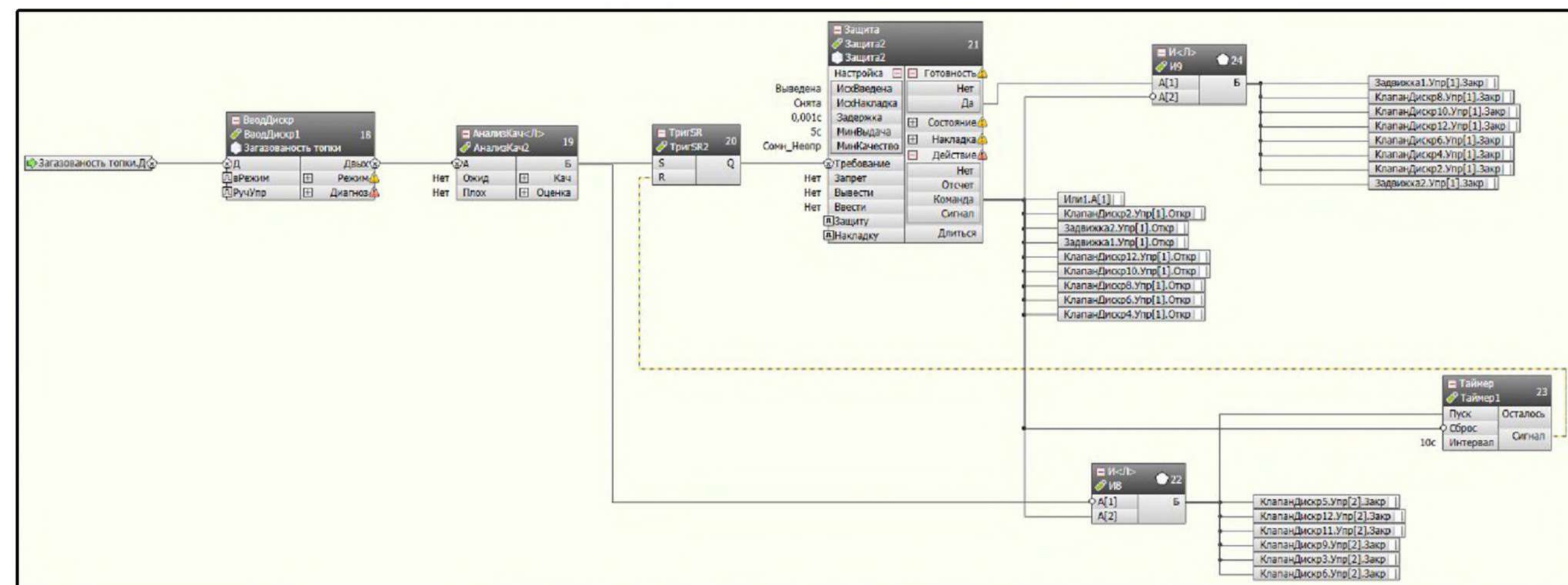


Схема контроля уровня воды в барабане

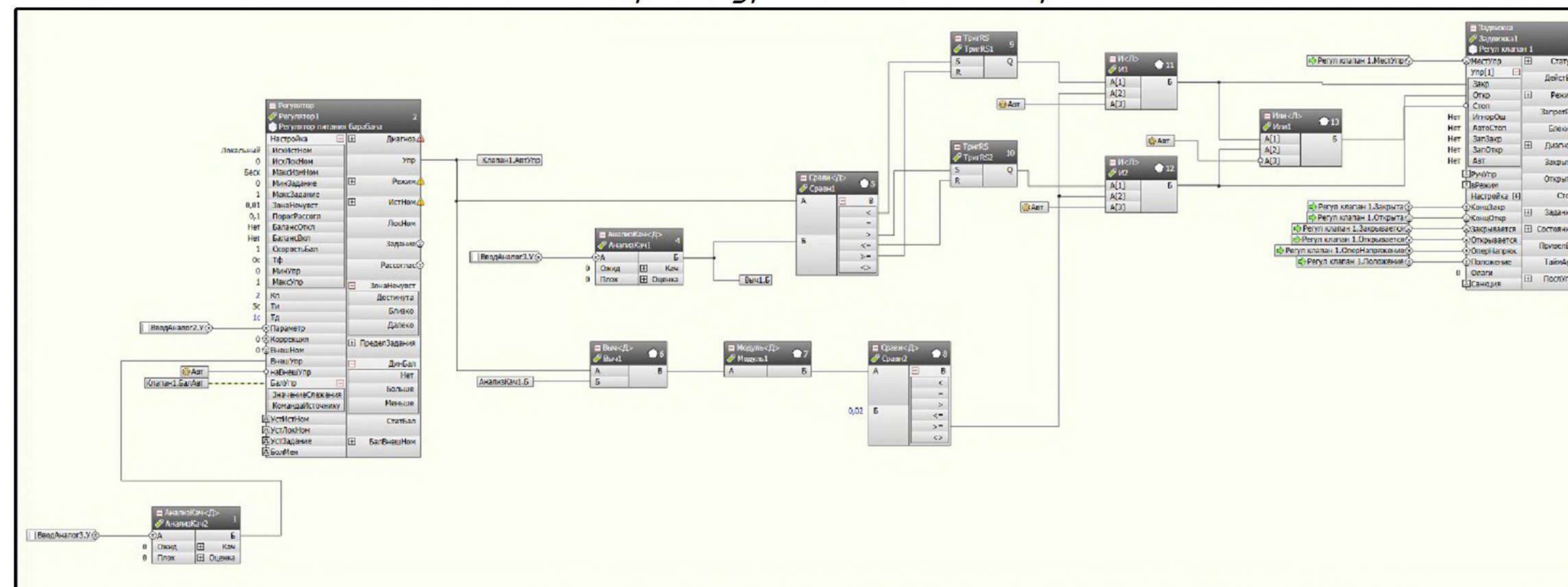


Схема управления расходом перегретого пара

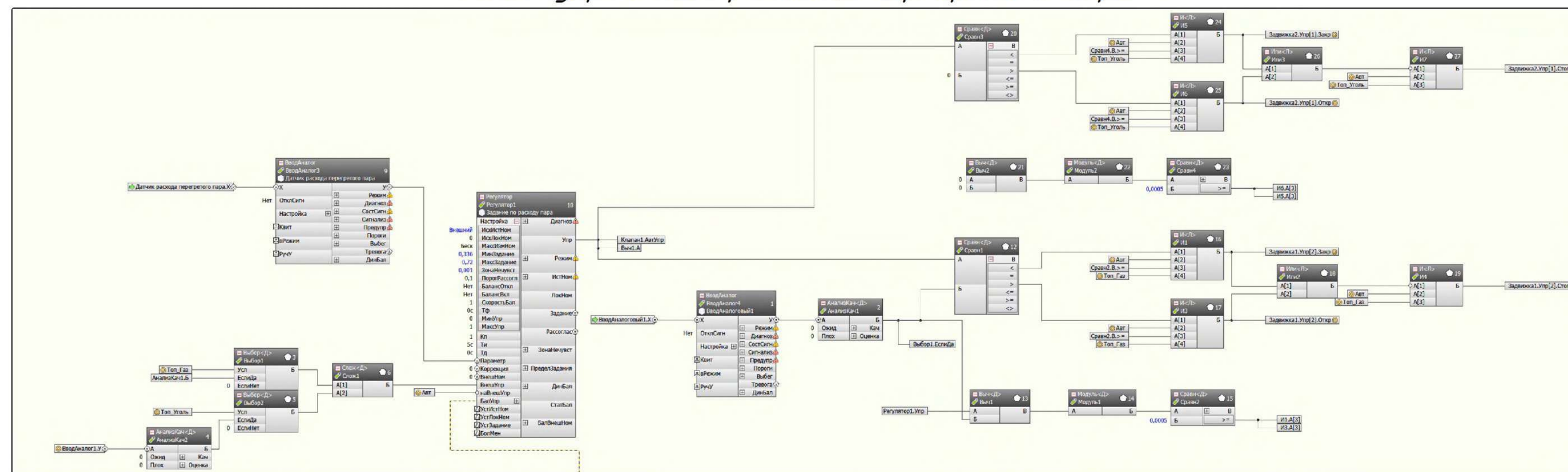


Схема управления подачей воздуха на горелки

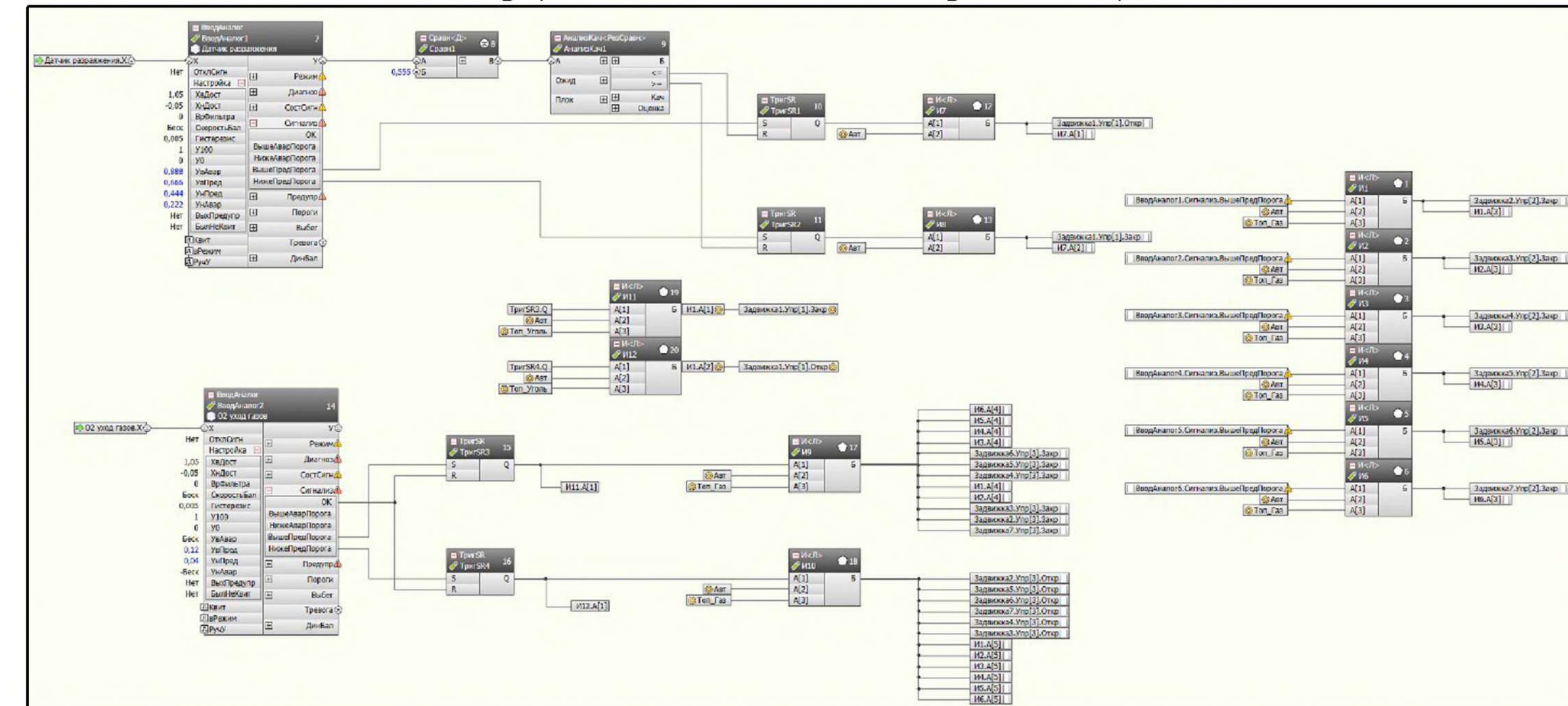


Схема управления одним из запальных устройств

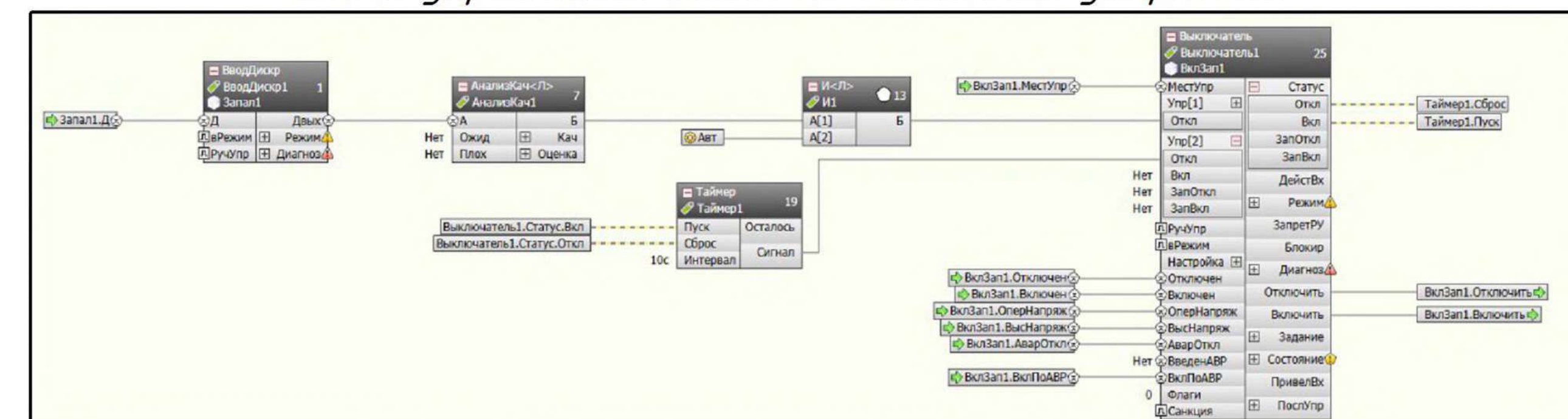
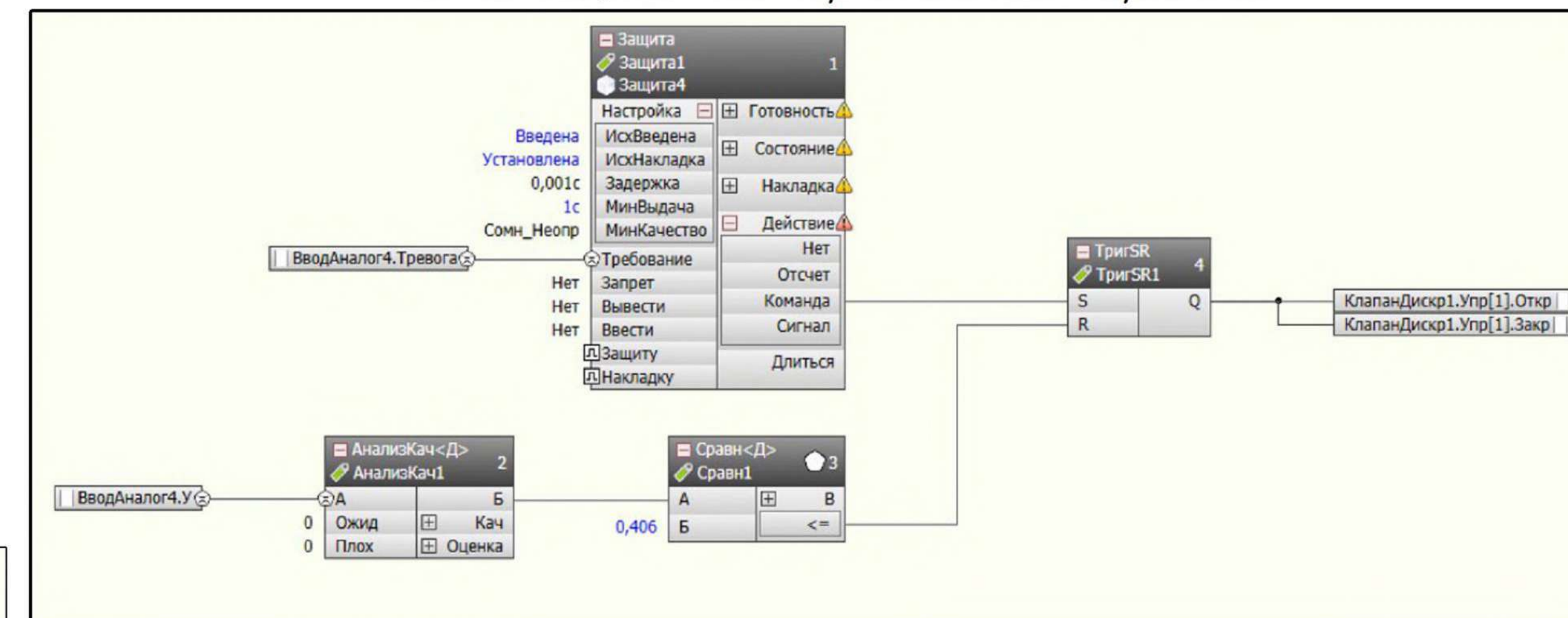
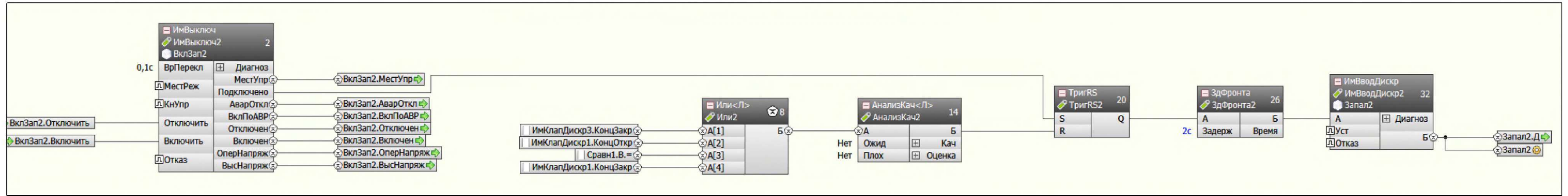


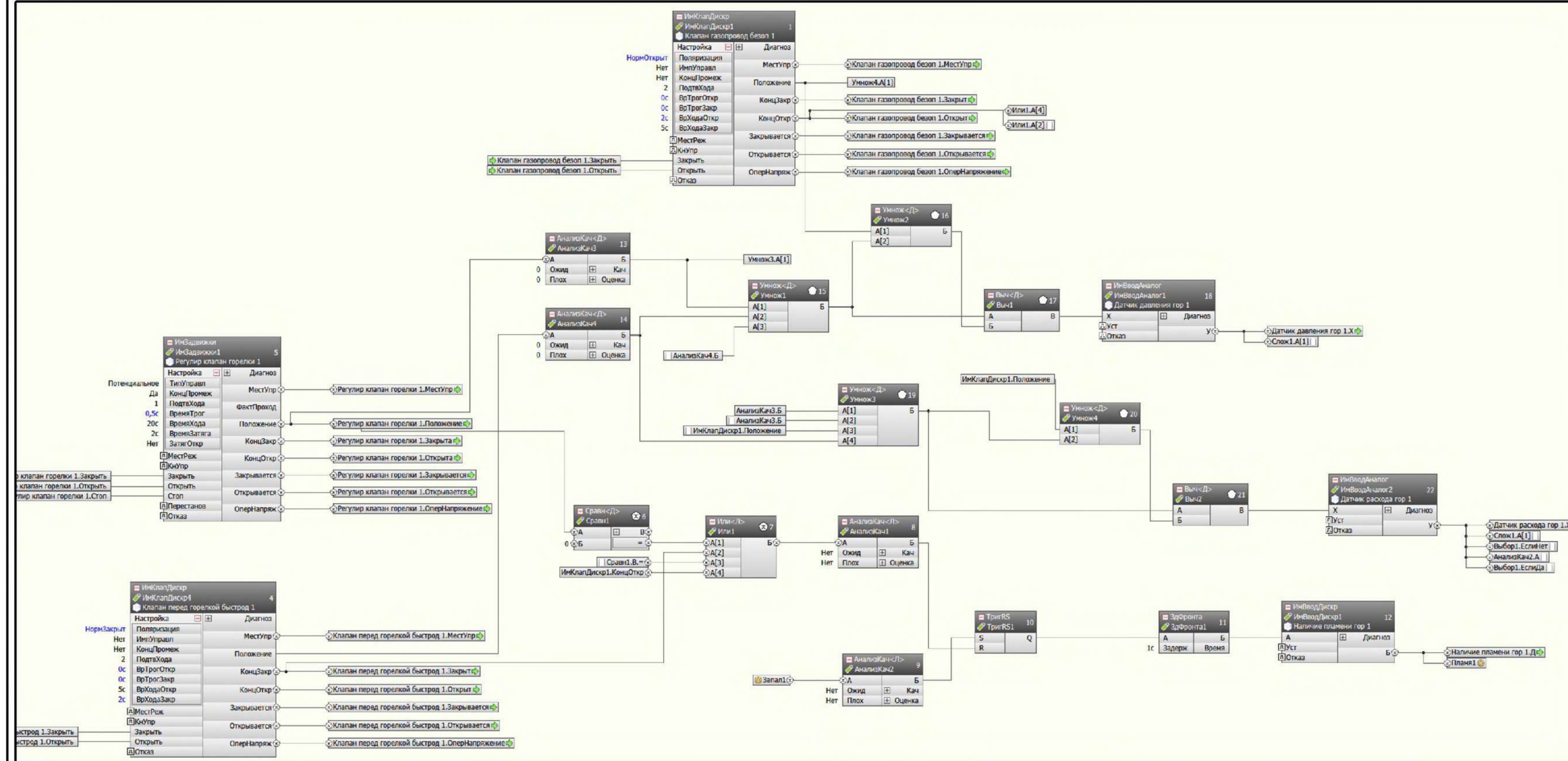
Схема защиты от переполнения барабана



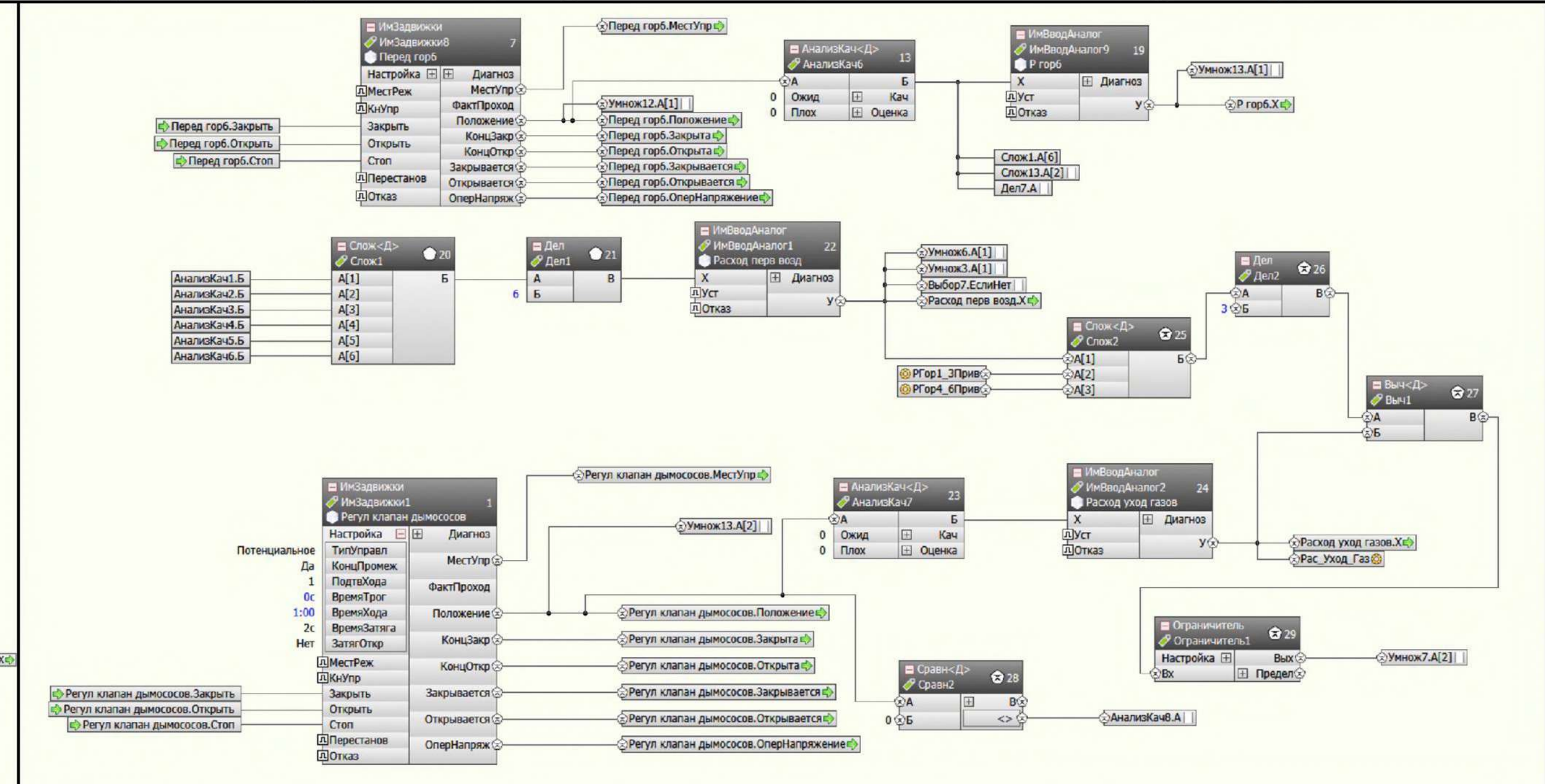
ИМ включения/отключения запального устройства



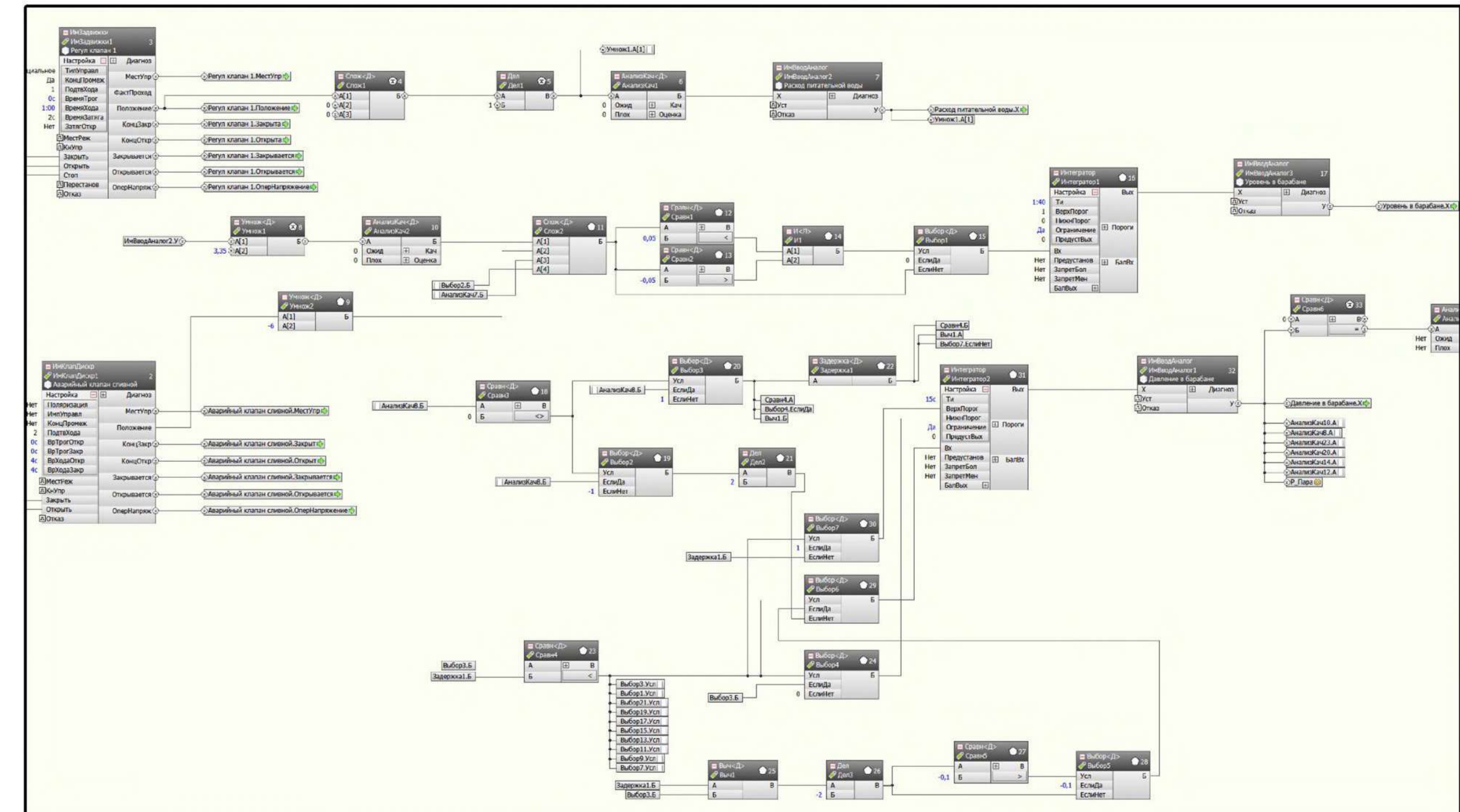
ИМ работы горелки



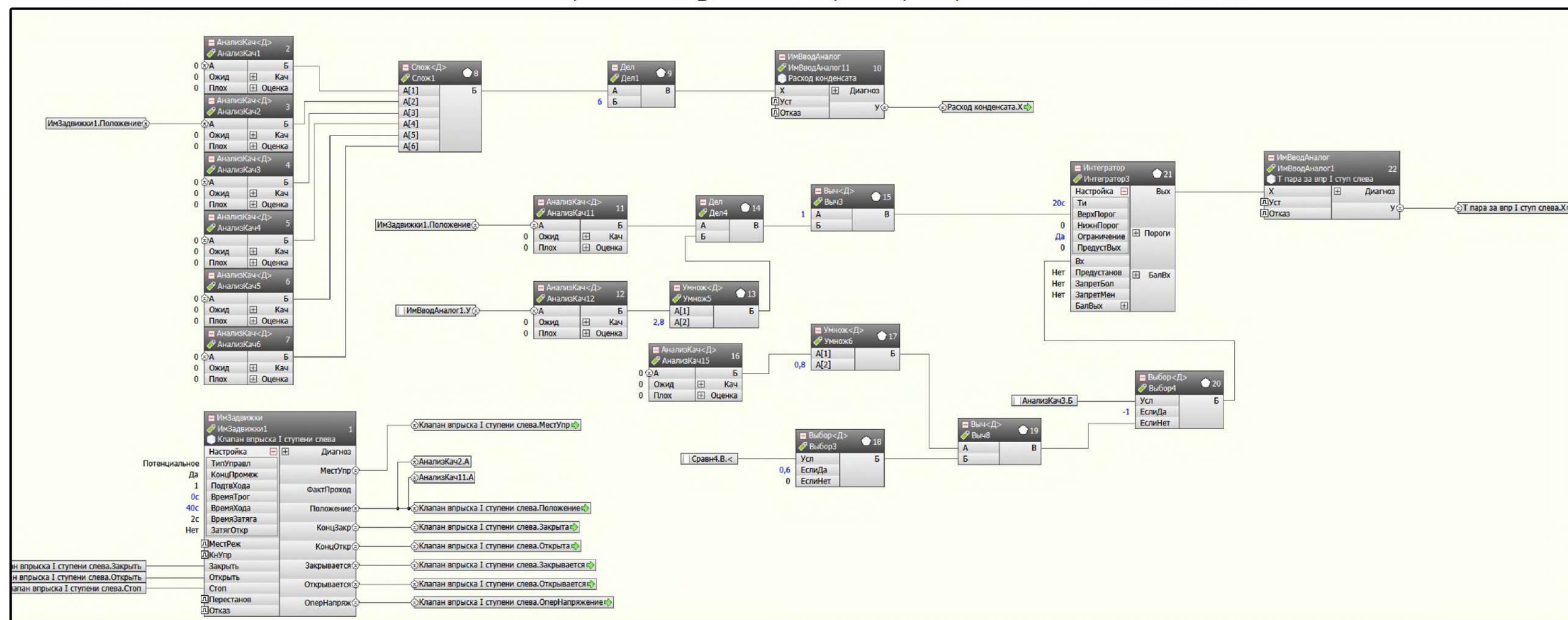
ИМ расчета приходящих и уходящих газов, давления воздуха перед горелкой



ИМ питания котла



ИМ первой ступени пароперегревателя



ВКР.214.011.150304.ПМ				Логика работы имитационной модели		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лит.	Масштаб
Разраб.	Теленченко И.А.	Лозовик К.В.	Лозовик К.В.	20.08.2018	4	1:1
Проб.	Теленченко И.А.	Теленченко И.А.	Теленченко И.А.	20.08.2018	6	1
И.контр.	Скрипко О.В.	Скрипко О.В.	Скрипко О.В.	20.08.2018	Лист 6 / Листов 7	
Утв.	Автоматизированная система управления котла Е-420-140, работающего на газе и угле				АМГУ 141-0Б	

[illegible][illegible]

ПОТОК ПАРА "СПРАВА"

УРОВЕНЬ В БАРАБАНЕ, мм: 596.10

ДАВЛЕНИЕ ПАРА, кгс/см²: 106.90

ПОТОК ПАРА "СЛЕВА"

НАКОПИТЕЛЬ КОНДЕНСАТА

В КОЛЛЕКТОР ПАРА

63.1 %

61.5 %

61.7 %

398.83 °C

417.42 °C

435.26 °C

493.75 °C

564.29 °C

1-й ПАРОВАЯ ЗА РАСТОЯТИЕМ ВЫПЫСКА СПРАВА

2-й ПАРОВАЯ

РЕГУЛИРУЮЩАЯ ПАРОВАЯ

3-й ПАРОВАЯ

4-й ПАРОВАЯ НА ВЫХОДЕ СПРАВА

1-й ПАРОВАЯ ЗА РАСТОЯТИЕМ ВЫПЫСКА СЛЕВА

2-й ПАРОВАЯ

РЕГУЛИРУЮЩАЯ ПАРОВАЯ

3-й ПАРОВАЯ

4-й ПАРОВАЯ НА ВЫХОДЕ СЛЕВА

5-й ПАРОВАЯ

6-й ПАРОВАЯ

7-й ПАРОВАЯ

8-й ПАРОВАЯ

9-й ПАРОВАЯ

10-й ПАРОВАЯ

11-й ПАРОВАЯ

12-й ПАРОВАЯ

13-й ПАРОВАЯ

14-й ПАРОВАЯ

15-й ПАРОВАЯ

16-й ПАРОВАЯ

17-й ПАРОВАЯ

18-й ПАРОВАЯ

19-й ПАРОВАЯ

20-й ПАРОВАЯ

21-й ПАРОВАЯ

22-й ПАРОВАЯ

23-й ПАРОВАЯ

24-й ПАРОВАЯ

25-й ПАРОВАЯ

26-й ПАРОВАЯ

27-й ПАРОВАЯ

28-й ПАРОВАЯ

29-й ПАРОВАЯ

30-й ПАРОВАЯ

31-й ПАРОВАЯ

32-й ПАРОВАЯ

33-й ПАРОВАЯ

34-й ПАРОВАЯ

35-й ПАРОВАЯ

36-й ПАРОВАЯ

37-й ПАРОВАЯ

38-й ПАРОВАЯ

39-й ПАРОВАЯ

40-й ПАРОВАЯ

41-й ПАРОВАЯ

42-й ПАРОВАЯ

43-й ПАРОВАЯ

44-й ПАРОВАЯ

45-й ПАРОВАЯ

46-й ПАРОВАЯ

47-й ПАРОВАЯ

48-й ПАРОВАЯ

49-й ПАРОВАЯ

50-й ПАРОВАЯ

51-й ПАРОВАЯ

52-й ПАРОВАЯ

53-й ПАРОВАЯ

54-й ПАРОВАЯ

55-й ПАРОВАЯ

56-й ПАРОВАЯ

57-й ПАРОВАЯ

58-й ПАРОВАЯ

59-й ПАРОВАЯ

60-й ПАРОВАЯ

61-й ПАРОВАЯ

62-й ПАРОВАЯ

63-й ПАРОВАЯ

64-й ПАРОВАЯ

65-й ПАРОВАЯ

66-й ПАРОВАЯ

67-й ПАРОВАЯ

68-й ПАРОВАЯ

69-й ПАРОВАЯ

70-й ПАРОВАЯ

71-й ПАРОВАЯ

72-й ПАРОВАЯ

73-й ПАРОВАЯ

74-й ПАРОВАЯ

75-й ПАРОВАЯ

76-й ПАРОВАЯ

77-й ПАРОВАЯ

78-й ПАРОВАЯ

79-й ПАРОВАЯ

80-й ПАРОВАЯ

81-й ПАРОВАЯ

82-й ПАРОВАЯ

83-й ПАРОВАЯ

84-й ПАРОВАЯ

85-й ПАРОВАЯ

86-й ПАРОВАЯ

87-й ПАРОВАЯ

88-й ПАРОВАЯ

89-й ПАРОВАЯ

90-й ПАРОВАЯ

91-й ПАРОВАЯ

92-й ПАРОВАЯ

93-й ПАРОВАЯ

94-й ПАРОВАЯ

95-й ПАРОВАЯ

96-й ПАРОВАЯ

97-й ПАРОВАЯ

98-й ПАРОВАЯ

99-й ПАРОВАЯ

100-й ПАРОВАЯ

Задание 1

ЗАПАЛЬНИК ГОРЕЛКИ №4		ЗАПАЛЬНИК ГОРЕЛКИ №1	
ВКЛЮЧИТЬ	ОТКЛЮЧИТЬ	ВКЛЮЧИТЬ	ОТКЛЮЧИТЬ
ПЛАМЯ ЗАПАЛЬНИКА	РОЗЖИГ ЗАПАЛЬНИКА	ПЛАМЯ ЗАПАЛЬНИКА	РОЗЖИГ ЗАПАЛЬНИКА
			
ЗАПАЛЬНИК ГОРЕЛКИ №5		ЗАПАЛЬНИК ГОРЕЛКИ №2	
ВКЛЮЧИТЬ	ОТКЛЮЧИТЬ	ВКЛЮЧИТЬ	ОТКЛЮЧИТЬ
ПЛАМЯ ЗАПАЛЬНИКА	РОЗЖИГ ЗАПАЛЬНИКА	ПЛАМЯ ЗАПАЛЬНИКА	РОЗЖИГ ЗАПАЛЬНИКА
			
ЗАПАЛЬНИК ГОРЕЛКИ №6		ЗАПАЛЬНИК ГОРЕЛКИ №3	
ВКЛЮЧИТЬ	ОТКЛЮЧИТЬ	ВКЛЮЧИТЬ	ОТКЛЮЧИТЬ
ПЛАМЯ ЗАПАЛЬНИКА	РОЗЖИГ ЗАПАЛЬНИКА	ПЛАМЯ ЗАПАЛЬНИКА	РОЗЖИГ ЗАПАЛЬНИКА
			

Ввод значения параметра

Задание по расходу пара: Задание

Текущее значение: 420.00

Ед измерения: т/час

Минимум: 210

Максимум: 450

Ввод Отмена

Автоматизация

Включить
Автоматическое
регулирование

Отключить
Автоматическое
регулирование

Изменить задание

Текщее задание: 420.00

Ввод защит

Все защиты в готовности

Исход: Инициал

```

graph TD
    Start([Исход: Инициал]) --> A[Установить накладки]
    Start --> B[Снять накладки]
    Start --> C[Ввести все зашпты]
    Start --> D[Вывести все зашпты]
    A --> E[Накладки установлены]
    B --> E
    C --> E
    D --> E
    E --> F[Зашита по воздуху]
    E --> G[Зашпты по горелкам]
    F --> H[Зашита от излишнего давления]
    G --> I[Зашита от загазованности]
    H --> J[Ввести зашпту]
    H --> K[Вывести зашпту]
    J --> L[Зашита введена]
    K --> L
    I --> M[Ввести зашпту]
    I --> N[Вывести зашпту]
    M --> O[Зашита введена]
    N --> O
    L --> P[Зашита по питанию]
    O --> P
    P --> Q[Зашита от переполнения барабана]
    Q --> R[Ввести зашпту]
    Q --> S[Вывести зашпту]
    R --> T[Зашита введена]
    S --> T
  
```