

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

Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем автоматики, автоматизированного
управления и проектирования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


 С.В.Ченцов

« 19 » 06 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РОЗЖИГА КОТЛА ТП-13А

Руководитель		<u>16.06.2017</u> г.	И.В.Солопко старш. преп. каф.СААУП
Выпускник		<u>16.06.2017</u> г.	М.К.Жариков
Консультант		<u>19.06.2017</u> г.	С.В.Ченцов д.т.н., проф. каф.СААУП
Нормоконтроллер		<u>16.06.2017</u> г.	Т.А.Грудинова

Красноярск 2017

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Автоматизация системы розжига котла ТП-13А» содержит 68 страниц текстового документа, 21 иллюстрацию, 10 формул, 26 использованных источников.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ, SIMINTECH, САПР В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ, РОЗЖИГ ПАРОВЫХ КОЛОВ.

Целью выпускной квалификационной работы является создание компьютерной динамической модели процесса управления системой розжига в рамках существующей автоматизированной системы для повышения эффективности работы котла за счет моделирования рабочих режимов и аварийных ситуаций.

Применение автоматизации процесса розжига горелок является достаточно актуальным в связи с тем, что во время растопки котлов наиболее часто возникают взрывоопасные ситуации. Автоматизация позволяет соблюдать и регулировать технологию розжига, тем самым обеспечивая безопасность работ и предотвращение ошибок оперативного персонала, высвобождение оперативного персонала по запуску котла.

В ходе работы проведен анализ информационных источников, предметной литературы, были изучены конструктивные особенности блоков газооборудования и выбор технологических средств автоматизации. Создана компьютерная модель системы автоматизации розжига парового котла с использованием программы SimInTech; проведен анализ влияния конкретных параметров на работоспособности системы розжига; исследованы применяемые защитные меры, предотвращающие аварийные и взрывоопасные ситуации.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Технологический процесс розжига парового котла	6
1.1 Описание технологического оборудования и технологического процесса.....	6
1.2 Применение горелок в системе розжига паровых котлов	10
1.3 Характеристика условий эксплуатации технологического оборудования в котлотурбинном цехе.....	17
1.4 Выводы по главе 1	18
2 Автоматизация системы розжига горелок котла	19
2.1 Параметры контроля и регулирования автоматизации процесса розжига парового котла	19
2.2 Анализ выбранного пути автоматизации системы.....	20
2.3 Технические средства автоматизации.....	22
2.4 Структурная и функциональная схемы автоматизированной системы управления процесса розжига газовых горелок.....	35
2.5 Выводы по главе 2.....	39
3 Моделирование системы розжига парового котла	40
3.1 Математический расчет горения природного газа	40
3.1.1 Пересчет состава топлива.....	40
3.1.2 Расчет теплоты сгорания топлива	41
3.1.3 Расход воздуха на горение	42
3.1.4 Объем продуктов горения топлива	44
3.2 Компьютерная модель с применением программы SimInTech.....	46
3.2.1 Моделирование рабочего режима	47
3.2.2 Моделирование аварийной ситуации.....	58
3.2.3 Моделирование ситуации изменения давления газа	60
3.3 Выводы по главе 3	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	65

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства – это процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Введение автоматизации на производстве позволяет значительно повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции, сократить долю рабочих, занятых в различных сферах производства. Автоматизация широко применяется в различных отраслях народного хозяйства: машиностроении, сельском хозяйстве, связи, строительстве, и в том числе в энергетике [1].

Электроэнергетика является одной из ключевых отраслей экономики Красноярского края, доля которой в общем объеме промышленной продукции составляет 8,9%. По объемам производства электроэнергии - 57 млрд. кВт-ч Красноярский край занимает третье место в России после Тюменской -79 млрд. кВт-ч и Иркутской - 60 млрд. кВт-ч областей. Централизованное электроснабжение представлено двумя системами: Красноярской и Норильской. Красноярская энергосистема снабжает потребителей в южной части Красноярского края, начиная от района Нижнего Приангарья на севере и до границы с Республикой Тыва на юге. Норильская энергосистема расположена в северной части Красноярского края и обслуживает Норильский горно-металлургический комбинат с г.Норильском и прилегающими районами.

В остальных районах централизованное электроснабжение отсутствует, и покрытие потребности в электроэнергии осуществляется за счет изолированных электроустановок.

На территории Красноярского края расположено порядка пятнадцати крупных электростанций, находящихся в Красноярске, Железногорске, Ачинске, Канске, Минусинске, Назарово, Шарыпово и Норильске.

В настоящей бакалаврской работе рассматривается автоматизация розжига горелок котлов, применяемая Норильской Теплоэлектроцентраль-2 (ТЭЦ-2).

Розжиг горелок котлов является сложной и ответственной технологической операцией, требующей от оперативного персонала согласованности и четкости действий по контролю и управлению оборудованием [2].

Применение автоматизации процесса розжига горелок является достаточно актуальным в связи с тем, что во время растопки котлов наиболее часто возникают взрывоопасные ситуации. Автоматизация позволяет соблюдать и регулировать технологию розжига, тем самым обеспечивая безопасность работ и предотвращение ошибок оперативного персонала, высвобождение оперативного персонала по пуску котла.

Целью выпускной квалификационной работы является создание компьютерной динамической модели процесса управления системой розжига в рамках существующей автоматизированной системы для повышения эффективности работы котла за счет моделирования рабочих режимов и аварийных ситуаций.

1 Технологический процесс розжига парового котла

1.1 Описание технологического оборудования и технологического процесса

Норильская Теплоэлектроцентраль-2 (ТЭЦ-2) спроектирована на мощность 600 т. кВт и располагается в районе Талнах у реки Хараелах, в 28 км Северо-восточнее города Норильска. Проектом принято 6 блоков котлотурбинного цеха (КТЦ), каждый из которых содержит одну турбину и два котла. В настоящее время на ТЭЦ-2 введены в эксплуатацию 2 участка. Турбины с мощностью 100 МВт типа ВК-1СО-б, выполнены Ленинградским металлическим заводом, котлы с паропроизводительностью по 220 т/ч типа ТП-13А, изготовлены Таганрогским котельным заводом.

Выдача электрической мощности в энергосистему комбината предусматривается на напряжении 110 кВт. Питание собственного расхода принято на напряжение 6 кВт и 380В.

Техническое водоснабжение ТЭЦ-2 принято оборотным, с охлаждением воды в пруде-охладителе с устройством в нем брызгательных устройств, а в период паводков, за счет смешивания с холодной водой реки Хараелах.

Пополнение потерь воды из водохранилища в зимний период осуществляется подкачкой воды из р. Норильской.

Главный корпус принят в металле 4-х пролетным, с продольным расположением турбин. Оборудование главного корпуса компоуется по блочному принципу, в состав блока входят - турбоагрегат и два котла. Турбоагрегаты стоят вдоль машинного отделения. В состав главного корпуса входят взаимно примыкающие машинное, бункерное, котельное и дымососное отделение. Проект главного корпуса выполнен с соблюдением всех действующих нормативов санитарно - технических и противопожарных.

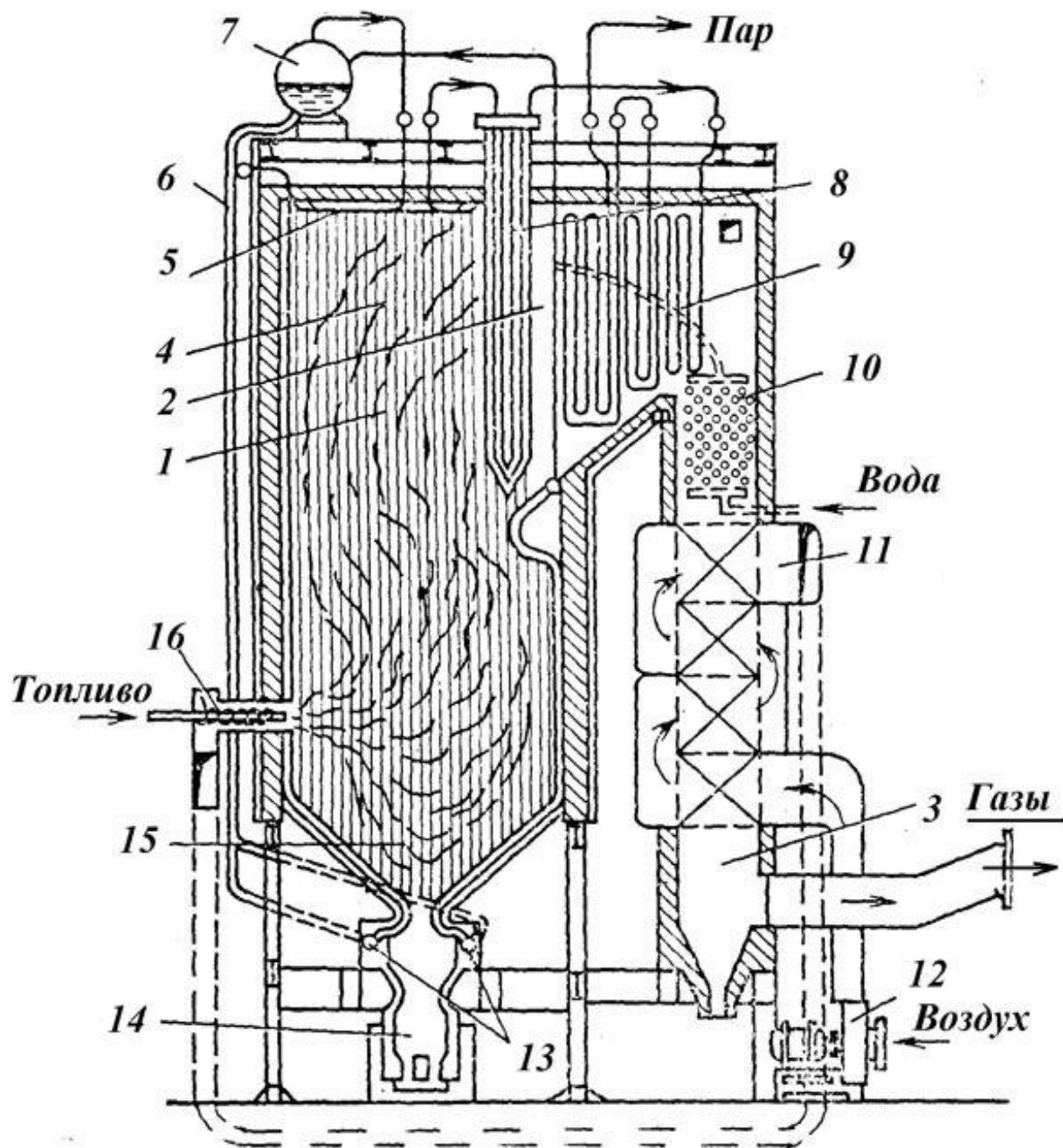
В работе будет рассмотрена система автоматического розжига парового котла ТП-13А котлотурбинного цеха (КТЦ). Паровой котел — это устройство,

имеющее систему поверхностей нагрева для получения пара из непрерывно поступающей в него питательной воды путем использования теплоты, выделяющейся при сгорании органического топлива (рисунок 1.1).

В современных паровых котлах организуется факельное сжигание топлива в камерной топке, представляющей собой призматическую вертикальную шахту. Факельный способ сжигания характеризуется непрерывным движением топлива вместе с воздухом и продуктами сгорания в топочной камере.

Топливо и необходимый для его сжигания воздух вводятся в топку котла через специальные устройства — горелки. Топка в верхней части соединяется с призматической вертикальной шахтой (иногда с двумя), называемой по основному виду проходящего теплообмена конвективной шахтой.

В топке, горизонтальном газоходе и конвективной шахте находятся поверхности нагрева, выполняемые в виде системы труб, в которых движется рабочая среда. В зависимости от преимущественного способа передачи тепла к поверхностям нагрева их можно подразделить на следующие виды: радиационные, радиационно-конвективные, конвективные.



1 – топочная камера (топка); 2 – горизонтальный газоход; 3 – конвективная шахта; 4 – топочные экраны; 5 – потолочные экраны; 6 – спускные трубы; 7 – барабан; 8 – радиационно-конвективный пароперегреватель; 9 – конвективный пароперегреватель; 10 – водяной экономайзер; 11 – воздухоподогреватель; 12 – дутьевой вентилятор; 13 – нижние коллекторы экранов; 14 – шлаковый комод; 15 – холодная коронка; 16 – горелки.

Рисунок 1.1 – Схема парового котла ТЭЦ

В топочной камере по всему периметру и по всей высоте стен обычно расположены трубные плоские системы — топочные экраны, являющиеся радиационными поверхностями нагрева. В современных конструкциях котлов топочные экраны изготавливают либо из обычных труб (рисунок 1.2, а), либо из плавниковых труб, сваренных между собой по плавникам и образующих сплошную газоплотную оболочку (рисунок 1.2,б).

Аппарат, в котором вода нагревается до температуры насыщения, называется экономайзером; образование пара происходит в парообразующей (испарительной) поверхности нагрева, а его перегрев — в пароперегревателе. [3]

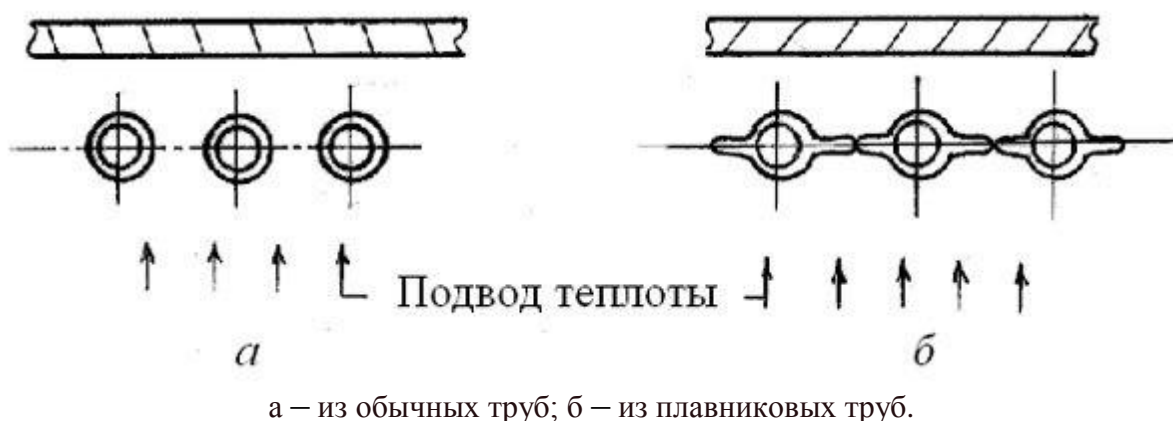


Рисунок 1.2 – Схема выполнения топочных экранов

На ТЭЦ-2 в качестве основного топлива применяется природный газ, в качестве аварийного – дизельное топливо (на случай аварии на газопроводе).

Таблица 1.1 – Состав газа

Газ	Процентное содержание
Метан	97,9% - 98%
Углекислота	0,47% - 0,69%
Азот	0,51%
Этан	1,36%

1.2 Применение горелок в системе розжига паровых котлов

Основные функции газовых горелок: подача газа и воздуха к фронту горения, смесеобразование, стабилизация фронта воспламенения, обеспечение требуемой интенсивности и процесса горения газа. При проектировании огнетехнических и теплосиловых агрегатов необходимые газовые горелки подбирают по справочникам, отраслевым нормам и каталогам с учетом их тепловой мощности и пределов регулирования, располагаемых давлений газа и окислителя и т. п. Иногда типовые горелки не могут быть применены из-за существенного отличия действительных и справочных параметров газа и воздуха, несоответствия тепловой мощности и недостаточного диапазона ее регулирования. Кроме того, в некоторых специфических случаях организации сжигания газа применение типовых горелок затруднительно. В частности, при местном скоростном нагреве в различных технологиях и т. п. В этих случаях приходится проектировать новые горелки или реконструировать типовые под новые условия их работы.

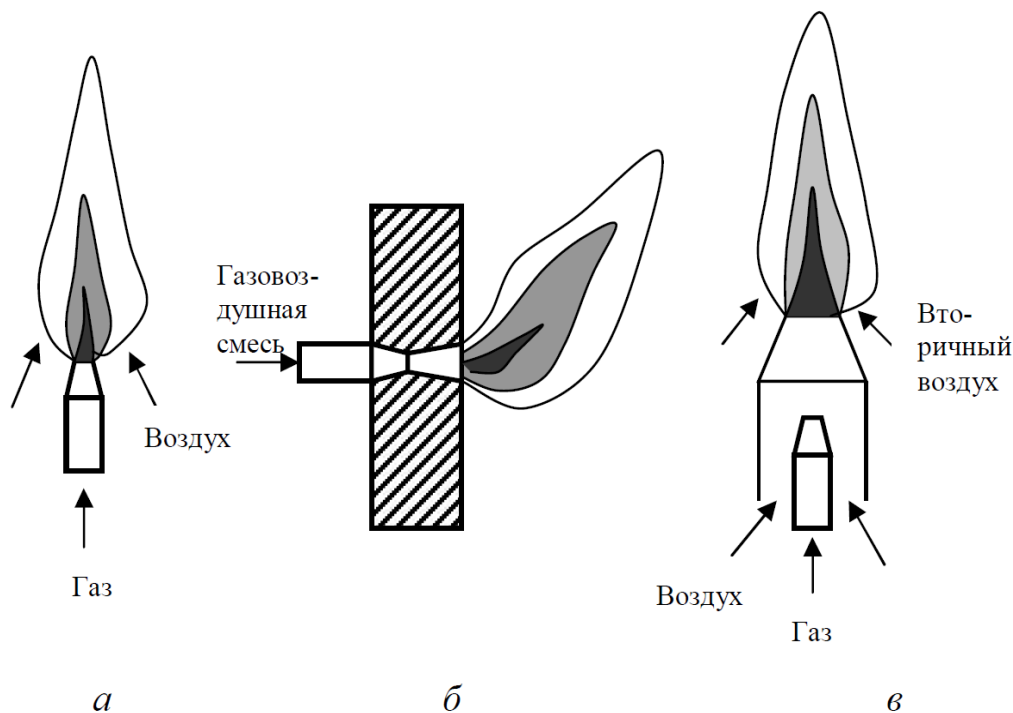
При проектировании горелок стараются обеспечить:

- полноту сгорания газа;
- устойчивость горения газа при различных режимах;
- надежность эксплуатации горелки;
- компактность;
- удобство обслуживания и др.

Для повышения устойчивости процесса горения газа в горелках используют огнеупорные насадки, которые устанавливают на выходе газа из горелки. При этом сжигание газа идет с образованием малосветящегося пламени. Это позволяет в современных конструкциях газовых горелок значительно повысить эффективность использования газа. Малая светимость факела газа при этом компенсируется излучением раскаленных огнеупорных

материалов при сжигании газа методом беспламенного горения. Газовоздушная смесь у таких горелок готовится с небольшим избытком воздуха и поступает в раскаленные огнеупорные каналы, где интенсивно нагревается и сгорает.

По методу сжигания газа все горелки подразделяются на три группы, как показано на рисунке 1.3.



a – диффузионное горение; *б* – кинетическое горение; *в* – диффузионно-кинетическое горение.

Рисунок 1.3 – Методы сжигания газа.

Горелки бывают:

- диффузионные – без предварительного смешения газа с воздухом;
- кинетические – с полным предварительным смешением;
- диффузионно-кинетические – с неполным предварительным смешением газа с воздухом [4].

Широко распространена классификация горелок по способу подачи воздуха. По этому признаку все горелки подразделяются:

- бездутьевые, у которых воздух поступает за счет разрежения в горелке;

- инжекционные, у которых воздух засасывается в горелку за счет энергии струи газа;

- дутьевые, у которых воздух подается в горелку с помощью дутьевого устройства, например вентилятора.

В рассматриваемой системе розжига используются дутьевые горелки.

Блоки газоборудования котлов (рисунок 1.4) предназначены для работы котла на газообразном топливе и выполняют следующие функции:

- обеспечение автоматической опрессовки запорных устройств;
- обеспечение безопасного розжига;
- отсечка газа при нарушении технологических параметров работы котла, недопустимом отклонении давления газа или воздуха, или при погасании факела горелки.

Таблица 1.2 – Технические характеристики блока газоборудования

Параметры и размеры	Исполнение			
	БГ 8.00, -04	БГ 8.00-01, -05	БГ 8.00-02, -06	БГ 8.00-03, -07
Условный проход отсечных клапанов, мм	100	150	200	250
Условный проход дроссельной заслонки, мм	65	100	200	250
Рабочее давление, МПа	0,6			
Коэффициент гидравлического сопротивления	14			
Присоединение к трубопроводу	на сварке			
Максимально допустимая температура рабочей среды, °С	80			
Габаритные и присоединительные размеры	100	150	200	250
Масса, кг	220	295	395	510

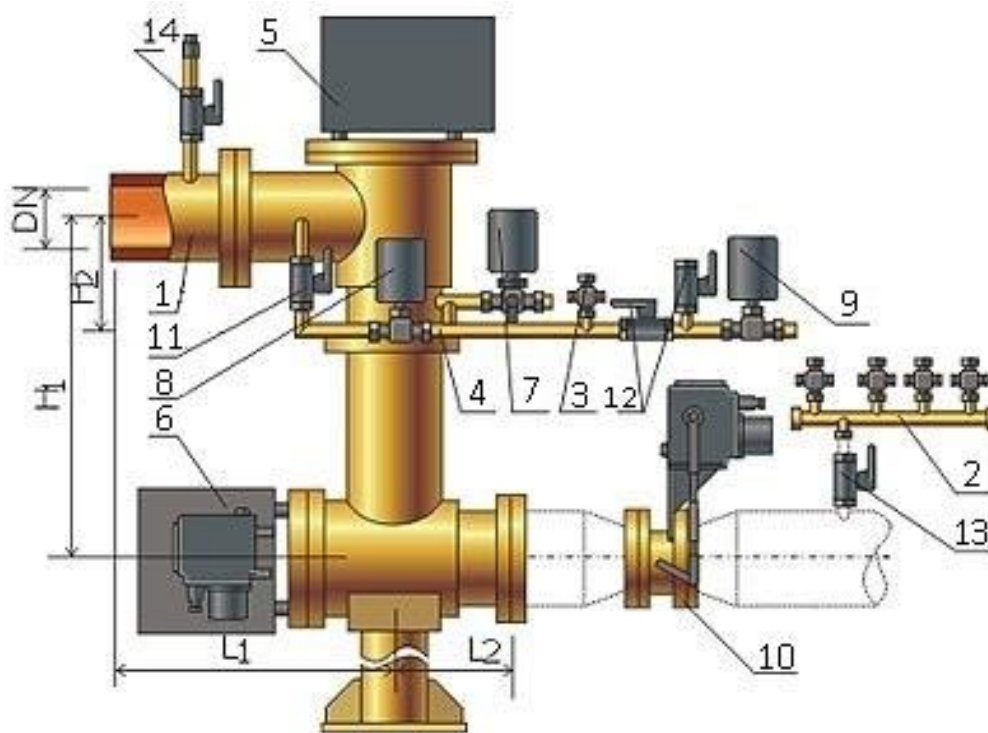


Рисунок 1.4 – Блок газооборудования

Как показано на рисунке 1.4, блок состоит из последовательно соединенных между собой при помощи фланцевых соединений газопровода 1, отсечных клапанов 5 и 6, дроссельной заслонки с электроприводом 10.

На клапане отсечном 5 установлена гребенка 4, соединяющая входную полость этого клапана с внутренним объемом между клапанами 5 и 6.

Гребенка 4 оборудована кранами шаровыми 11 и 12, электромагнитным клапаном типа «НО» 7 для присоединения газопровода безопасности. Также на гребенке установлен клапан для манометра 3 и два штуцера для установки датчиков-реле давления.

На газопроводе 1 предусмотрено отборное устройство с шаровым краном 14 для присоединения продувочного газопровода.

В составе блока предусмотрено отборное устройство с шаровым краном 13 для присоединения гребенки КИПиА 2 с установкой клапанов для манометра, датчиков-реле и дифманометра.

Блок газооборудования предназначен для безопасного розжига газовых горелок. Предварительно, перед растопкой котла необходимо произвести продувку с помощью направляющего аппарата вентилятора или шиберов воздуха топки котла, для того, чтобы убрать остаточные газы, которые могут привести к взрыву.

На горелках обязательно должна быть предусмотрена возможность дистанционного регулирования расхода воздуха при помощи направляющего аппарата вентилятора или шиберов.

Предварительно, до запуска системы розжига осуществляется проверка прочности блока газооборудования путем опрессовки запорных устройств при подаче газа с повышенным давлением, превышающим на 25% рабочее.

Работа блоков происходит следующим образом:

- 1) перед розжигом горелки отсечные клапаны 5 и 6 должны быть закрыты, а электромагнитный клапан «Нормально открыт» 7 – открыт;
- 2) при первоначальном и повторном розжиге разжигаемой горелки должна быть проведена опрессовка газовой арматуры блоков по полному или сокращенному варианту;
- 3) дроссельная заслонка 10 и шибер воздуха разжигаемой горелки должны быть закрыты. Закрытое состояние дроссельной заслонки 10 обеспечит требуемое давление газа перед горелкой при розжиге.

Примечание: снижение давления воздуха перед горелкой при розжиге необходимо для устойчивого горения пламени запальника и факела горелки на малом давлении газа при розжиге горелки;

- 4) после проведения опрессовки запорной арматуры блока открывается первый по ходу газа отсечной клапан 5, для чего в электрическую цепь привода клапана подается напряжение 220В. При этом время полного открытия клапана должно быть не более 70 с;

5) после открытия отсечного клапана 5 подается напряжение 220В на трансформатор зажигания для розжига запальника от искры. Время включения трансформатора должно быть не более 15 с;

6) сразу после подачи искры должен быть открыт клапан 9 подачи газа на запальник, для чего на его электромагнит подается напряжение 220В;

7) после подтверждения наличия факела запальника открывается второй по ходу газа отсечной клапан 6, для чего в электрическую цепь привода клапана подается напряжение 220В. При открытии клапана на 30% через путевой выключатель механизма открытия клапана должен быть выключен клапан 9 запальника, снят контроль пламени запальника, установлен контроль наличия факела горелки. Настройка положения срабатывания путевого выключателя должна быть выполнена так, чтобы срабатывание производилось не позднее, чем через 25 секунд с момента включения отсечного клапана 6;

8) далее должно быть включено регулирование соотношения «газ-воздух» для разжигаемой горелки (выполняется системой управления). Дроссельная заслонка газа 10 должна быть открыта до срабатывания путевого выключателя исполнительного механизма электропривода дроссельной заслонки, до положения, соответствующего рабочему давлению газа перед горелкой. Необходимое давление воздуха перед горелкой для текущего давления газа должно отрабатываться дистанционно через средство управления шибером воздуха или автоматически регулятором «газ-воздух»;

9) должен быть установлен контроль величины давления газа и воздуха перед горелкой.

При дальнейшей работе горелки необходим контроль неаварийного состояния следующих параметров:

- 1) наличие факела горелки;
- 2) давление газа перед горелкой;
- 3) открытое состояние отсечного клапана 5

- 4) открытое состояние отсечного клапана 6

Изменение мощности котла допускается выполнять следующими способами:

- 1) дистанционное регулирование мощности горелки через управление дроссельной заслонкой газа перед горелкой;
- 2) автоматическое управление горелкой котла с автоматическим поддержанием соотношения «газ-воздух»;

При останове горелки:

- 1) должны быть закрыты (выключены) отсечные клапаны 5 и 6
- 2) должен быть открыт (включен) клапан безопасности;
- 3) должен быть закрыт (выключен) клапан подачи газа на запальник, если команда на останов горелки поступила в момент ее розжига;
- 4) должна быть проведена сокращенная опрессовка блока;
- 5) должна быть закрыта дроссельная заслонка газа перед горелкой;
- 6) нужно убедиться, что отсечные клапаны 5 и 6 закрыты, и между ними отсутствует давление.

Для безопасного розжига и работы горелок, оборудованных блоками, должны предусматриваться следующие обязательные блокировки:

- 1) автоматическое закрытие электромагнитного клапана «НО» 7 при открытии отсечного клапана 5;
- 2) автоматическое открытие электромагнитного клапана «НО» 7 при закрытии отсечного клапана 5;
- 3) запрет открытия электромагнитного клапана 9 перед ЗЗУ и отсечных клапанов 5 и 6 до окончания операции опрессовки блока;
- 4) запрет открытия отсечного клапана 6 при отсутствии факела запальника горелки;

5) запрет открытия отсечного клапана 6 при незакрытой дроссельной заслонке 10;

6) запрет открытия отсечного клапана 6 при незакрытом направляющем аппарате вентилятора или шиберы горелки отличном от положения минимального расхода;

7) запрет открытия отсечного клапана 5 при незакрытом состоянии отсечного клапана 6;

8) запрет открытия отсечного клапана 6 при отсутствии сигнала о закрытом положении отсечного клапана 5;

9) запрет открытия электромагнитного клапана 8 опрессовки при незакрытом положении отсечного клапана 6 [5].

1.3 Характеристика условий эксплуатации технологического оборудования в котлотурбинном цехе

В котлотурбинном цехе (КТЦ) и операторной комнате опасными и вредными производственными факторами являются:

- шум;
- вибрация;
- электрический ток;
- неблагоприятные метеорологические условия (температура)
- воспламеняющиеся и взрывоопасные вещества и материалы;
- тепловые и ультрафиолетовые излучения при производстве сварочных и газорезных работ;
- источники радиоактивного излучения.

В КТЦ по пожаровзрывоопасности относится к категории «А» - горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.

По степени защиты здание относится к категории 2 - железобетонное здание. Оборудование следует выбирать со степенью защиты пожаровзрывоопасное.

Операторная комната по пожаровзрывоопасности относится к категории «Д» - негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Складские помещения и лаборатории цеха тепловой автоматики и измерений (ТАиИ) относятся к категории «В4» – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в т.ч. пыли и волокна), способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям «А» или «Б».

1.4 Выводы по главе 1

По результатам проведенного анализа для достижения поставленной цели данной работы нужно решить следующие задачи:

- описать выбранные технологические средства автоматизации;
- изучить конструктивные особенности блоков газооборудования;
- создать компьютерную модель системы автоматизации розжига парового котла с использованием программы SimInTech;
- исследовать применяемые защитные меры, предотвращающие аварийные и взрывоопасные ситуации.

2 Автоматизация системы розжига горелок котла

2.1 Параметры контроля и регулирования автоматизации процесса розжига парового котла

Перечень параметров определяется технической необходимостью контролировать или регулировать определенные величины, так или иначе влияющие на технологический процесс, представлен в таблицах 2.1, 2.2, 2.3.

Таблица 2.1 – Параметры контроля

№	Название	Значение
1	давление газа перед горелкой	0,2 - 0,44 кгс/см ²
2	давление воздуха перед горелкой	2 - 4,4 кгс/см ²
3	температура воздуха поступающего на горелку	220 - 400 °С
4	давление газа между предохранительно-запорными клапанами: ПЗК-1 и ПЗК-2	0,2 - 0,44 кгс/см ²
	контроль опрессовочного давления	0,03 - 0,35 кгс/см ²
5	наличие пламени запальника	да/нет
6	наличие пламени горелки	да/нет

Таблица 2.2 – Параметры регулирования

№	Название	Назначение
1	давление газа к запальнику	розжиг факела запальника
2	давление газа на горелку	регулирование мощности горелки
3	давление воздуха на горелку	поддержание факела горелки и регулирование ее мощности
4	состояние клапана безопасности	мгновенная отсечка газа в случае аварийной ситуации

Продолжение таблицы 2.2

5	состояние клапана опрессовки	проверка плотности газовой арматуры
6	состояние отсечного клапана ПЗК-1	подача газа на газопровод к запальнику
7	состояние отсечного клапана ПЗК-2	подача газа на газопровод к горелке

Таблица 2.3 – Параметры сигнализации

№	Название	Значение
1	наличие факела запальника	да/нет
2	наличие факела горелки	да/нет
3	давление газа перед горелкой	не ниже 0,2 кгс/м ²
4	давление газа перед горелкой	не выше 0,44 кгс/м ²
5	давление воздуха перед горелкой	не ниже 2 кгс/м ²
6	давление воздуха перед горелкой	не выше 4,4 кгс/м ²

Выбранные контролируемые параметры оказывают наибольшее влияние на технологический процесс и должны контролироваться техническими средствами автоматизации в обязательном порядке.

2.2 Анализ выбранного пути автоматизации системы

Долгое время управление горелками производилось вручную при визуальном контроле факела горелок. Вследствие этого из-за высокой скорости процессов, приводящих к возникновению взрывоопасных концентраций газовой смеси в ограниченном пространстве топок котлов и газоходах котла, возможно возникновение ситуации, которая может привести к взрыву.

Например, неплотность газовой арматуры или неисправность запальных устройств, способствует образованию взрывоопасных концентраций газа и воздуха. Чтобы предотвратить возникновение аварий при розжиге горелок необходимо соблюдать технологию розжига, для этого следует максимально автоматизировать процесс розжига горелок. Эта задача может быть решена подсистемами технологических защит и защитных блокировок и автоматического (функционально-группового, логического) управления.

Было установлено запальное защитное устройство с двумя фотодатчиками типа ФДЧ для контроля пламени запальника и пламени горелки. Клапан подачи газа на запальник типа ASCO/JOUCOMATICSCCE210B154 для обеспечения безопасного розжига запальника. Регулирующий отсечной клапан КМР с электрическим приводом Automatic для автоматического регулирования подачи давления газа на горелку и для регулирования мощности горелки. Для проверки плотности газовой арматуры установлены два предохранительно запорных клапана типа ПЗК-50Н и клапан подачи газа на опрессовку типа ASCO Numatics SCG238C018. Также на случай аварийной ситуации или недопустимо высокого давления газа установлен клапан безопасности типа DN 50 PN 16 для мгновенной отсечки газа в атмосферу. Для контроля давления газа и воздуха подаваемого в горелку установлены датчики типа Метран 150 CG2, а для контроля температуры воздуха подаваемого в горелку датчик типа МетранТСМУ 274Exd.

Для организации контроля и регулирования выбран микропроцессорный контроллер ControlLogix 1756 он обрабатывает и формирует сигналы различного типа, позволяет выводить технологические сообщения и текущие значения параметров на дисплей, для наблюдения за процессом.

2.3 Технические средства автоматизации

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

Выбор метода измерения и первичного преобразователя определяется конкретными условиями измерения (измеряемой средой, ее параметрами, особенностями технологического процесса и т. д.) и требованиями, предъявляемыми к точности измерения и функциям, выполняемым средствами измерения [6].

Основными критериями выбора средств автоматизации являются:

- диапазон измеряемой величины;
- класс точности;
- условия эксплуатации.

В соответствии с диапазоном измерения и степени агрессивности среды выбирается тип датчика.

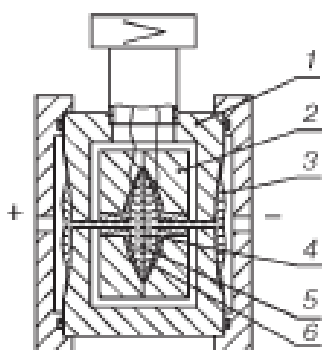
В выборе преобразователей необходимо учитывать вид сигнала, поступающего с выхода датчика. Для каждого вида сигнала существует определенный вид преобразователя, рассчитанный на работу с этим сигналом.

Для измерения давления технологического газа и воздуха поступающего в горелку и для измерения давления газа при проведении опрессовки был выбран датчик Метран 150 CG2 (рисунок 2.1) диапазон измерения 0,25-63 кПа, выходной сигнал 4-20мА с протоколом HART, предел основной дополнительной погрешности 0,2%, питание 24 вольт, потребляемая мощность 0,9 Вт.



Рисунок 2.1 – Метран 150 CG2

Измерительный блок датчиков этих моделей состоит из корпуса и емкостной измерительной ячейки Rosemount (рисунок 2.2). В датчиках на базе емкостного сенсора давление процесса через разделительную мембрану и заполняющую жидкость передается на измерительную мембрану, расположенную между пластинами конденсатора. Под воздействием измеряемого давления мембрана прогибается и в результате изменяется емкость ячеек, образованных сенсорной мембраной и пластинами конденсатора. Генерируемый электрический сигнал преобразуется в цифровой и передается на микроконтроллер [13].



1 – корпус, 2 – измерительная ячейка, 3 – разделительная мембрана, 4 – разделительная жидкость, 5 – измерительная мембрана, 6 – конденсатор.

Рисунок 2.2 – Конструкция Метран 150 CG2

Для измерения давления и визуального контроля по месту технологического газа и воздуха поступающего в горелку, а так же для измерения и визуального контроля по месту давления газа при проведении опрессовки был выбран Манометр типа МТИ-1218, показывающий (рисунок 2.3), шкала 0-60 кПа, с классом точности 1,0% [15].



Рисунок 2.3 – Манометр показывающий

Для измерения температуры воздуха поступающего в горелку был выбран датчик МетранТСМУ 274Exd (рисунок 2.4). Основанием выбора данного средства измерения является диапазон измерения подходящий к данному процессу $-0...180^{\circ}\text{C}$, выходной сигнал 4-20мА, НСХ К, степень защиты Exd (взрывонепроницаемая оболочка), потребляемая мощность 0,5Вт. Напряжение питания от 18 до 42В. Предел допускаемой основной погрешности 0,25.

Предназначены для измерения температуры нейтральных и агрессивных сред, по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким. Чувствительный элемент первичного преобразователя и встроенный в головку датчика измерительный преобразователь преобразуют измеряемую температуру в унифицированный выходной сигнал

постоянного тока, что дает возможность построения АСУТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей. Термопреобразователи сопротивления предназначены для измерения температуры, за счет изменения сопротивления чувствительного элемента. [14]



Рисунок 2.4 – МетранТСМУ 274Exd

Для дистанционного розжига и контроля наличия пламени было выбрано запальное защитное устройство ЗЗУ-6 (рисунок 2.5). Оно осуществляет совместный контроль основного и запального факелов при помощи фотодатчика [16].



Рисунок 2.5 – Запальное защитное устройство ЗЗУ-6

Для контроля основного и запального факелов был выбран Фотодатчик низкочастотный ФДЧ (рисунок 2.6). Фотодатчик предназначен для применения в схемах автоматического розжига и контроля пламени в топочных устройствах. Он осуществляет преобразование пульсаций пламени в электрический сигнал напряжения постоянного тока. Питание 27 В, выходной сигнал 0...10 В.

Конструктивно датчик состоит из корпуса и основания, скрепленных между собой винтами. На основании крепится плата, на которой размещены элементы принципиальной схемы датчика. Стекло, уплотненное прокладками, предохраняет чувствительный элемент схемы от загрязнения. Через патрубок и штуцер, вмонтированные в радиатор, подается воздух для защиты датчика от перегрева и загрязнения [18].



Рисунок 2.6 – Фотодатчик низкочастотный типа ФДЧ

Для регулирования расхода технологического газа и воздуха поступающего к горелкам был выбран регулирующий-отсечной клапан КМРО с электрическим приводом AumamaticM 07,1 GS 40,3 (рисунок 2.7). Напряжение питания 380 В, температура окружающей среды от минус 20 до 150°С, входные и выходные сигналы: аналоговый 4-20мА, дискретный 24В.

Клапан состоит из регулирующего органа, а так же электрического привода AumaSA(R) M0,7.

Клапан КМР является клеточно-плунжерным клапаном (клеточный - по способу фиксации седла в корпусе, плунжерный - по способу реализации пропускной характеристики).

Клапаны клеточного типа с плунжерным дросселированием – это современные клапаны, изменение энергии потока через которые происходят за счет изменения эффективной площади зазора между седлом клапана и плунжером. В клапанах клеточного типа в конструкции регулирующего (дроссельного) узла используют характерные детали – втулка с максимальными вырезами и профилированный плунжер. При помощи втулки седло прижимается и фиксируется в корпусе, в некоторых конструкциях

седло и клетка выполнены в виде единой детали. В регулирующих клапанах клеточного типа пропускная характеристика (зависимость пропускной способности от положения затвора) обеспечивается стандартным способом, за счет изменения площади щели между затвором, имеющим определенный профиль, и седлом.

Клеточная конструкция имеет ряд важных преимуществ по сравнению с другими:

- более надежная с точки зрения длительности эксплуатации конструкции, так как клапан может иметь разгруженный дроссельный узел. Это позволяет иметь перепады на клапане до P_y при незначительной мощности привода;

- большая площадь направляющей поверхности затвора позволяет существенно уменьшить вибрации и шумы клапана при увеличении перепада, устранить возможные перекосы затвора при движении, а так же иметь высокую степень герметичности клапана при уплотнении «металл-металл»;

- простота замены дроссельной пары (клапан ремонтпригоден) [17].



Рисунок 2.7 – Клапан КМР с электроприводом АУМА

Для регулирования расхода топливного газа был выбран клапан соленоидный ASCO Joucomatics CE210B154 (рисунок 2.8).

Электромагнитный клапан – устройство, использующее электромеханический принцип действия для регулирования (открытия и перекрытия) потока рабочей среды. Наиболее распространенным является электромагнитный соленоидный клапан. При изготовлении такого устройства используются электрические магниты с неподвижными частями, такие магниты называются соленоидами. Поэтому, устройство и носит название «соленоидный клапан».

Помимо соленоида с сердечником (поршнем) электромагнитный клапан включает сам клапан с проходным отверстием, в котором установлен диск или поршень для регулирования потока. Управление электромагнитным клапаном производится путем пропускания электрического тока через индукционную катушку, при этом соленоидный клапан открывается и закрывается движением магнитного сердечника, который втягивается в соленоид, когда на катушку подается электрический ток.

Электромагнитный клапан бывает нормально открытый и нормально закрытый.

Нормально закрытый клапан – это такой соленоидный клапан, который при условии отсутствия подачи электрического тока на его индукционную катушку, имеет закрытое положение. Нормально открытый клапан обладает противоположными характеристиками.

В зависимости от количества входных и выходных штуцеров электромагнитный клапан может быть двух-, трех-, четырехходовым. Многоходовые соленоидные клапаны применяются, когда необходимо не только перекрывать поток рабочей среды, но и изменять возобновлять или прекращать движение потока рабочей среды, но и изменять его направление.

Электромагнитные соленоидные клапаны используются в системах газо-, тепло- и водоснабжения, нефте- и газопроводах, вентиляции, кондиционировании и в других системах, где необходима автоматизация

управления промышленными процессами, связанными с движением рабочих сред. Также они подходят для ручного и дистанционного управления [19].



Рисунок 2.8 – Клапан соленоидный ASCO Joucomatics CE210B154

Для герметичного перекрытия подачи газа был выбран предохранительно запорный клапан быстродействующий ПЗК-50Н (рисунок 2.9). Максимальное входное давление 1,2 МПа, рабочая температура от от минус 30 до 80 градусов. Напряжение питания переменного тока 220В. Номинальная мощность 165 Вт.

Клапан состоит из привода, сварного корпуса углового типа и крышки. В качестве запорного устройства предусмотрена тарелка с уплотнительным резиновым кольцом. Тарелка соединяется при помощи диска и болтов со штоком. На штоке установлена пружина, упирающаяся одним концом в крышку, а другим во втулку, закрепленную на штоке при помощи разрезного кольца. После установки тарелки на шток остается возможность перемещения тарелки относительно штока на 5 мм. Один конец штока, находящийся в тарелке, имеет уплотнительную поверхность и под действием пружины прижат к уплотнительному кольцу. Другой конец штока через направляющую втулку крышки выходит наружу, где соединяется с приводом

клапана при помощи оси. Место выхода штока из крышки уплотнено резиновыми кольцами, которые закрыты крышкой сальника при помощи трех болтов.

Работа клапана происходит следующим образом:

- подается напряжение питания 220 В на соответствующую клемму привода и клапан открывается;

- для закрытия клапана снимается сигнал (напряжение питания) с соответствующей клеммы привода и клапан вследствие действия пружины закрывается.

Кроме этого, для закрытия клапана в любой момент времени вручную необходимо потянуть ручку ручной защелки привода, и клапан закроется. Для доступа к ручной защелке необходимо повернуть глазок на крышке привода [20].



Рисунок 2.9 – ПЗК-50Н

Для автоматической защиты технологической системы и трубопроводов от недопустимого повышения давления газа был выбран клапан

предохранительный полноподъемный пружинный DN 50 PN 16 (рисунок 2.10). Температура рабочей среды от минус 50 до 80, температура окружающей среды от минус 50 до 60.

Клапан предназначен для защиты оборудования от недопустимого превышения давления путем автоматического сброса избытка газа в атмосферу. Клапан обеспечивает прекращение сброса при восстановлении рабочего давления

Принцип работы клапана следующий. При величине давления в системе, равной номинальному значению, золотник клапана под воздействием пружины плотно прижат к седлу, а рабочая среда беспрепятственно проходит по трубопроводу. При повышении давления свыше допустимого, золотник под его воздействием поднимается вверх, преодолевая сопротивление пружины, тем самым, отводя из системы часть рабочей среды в атмосферу или отводящий трубопровод. При восстановлении давления – золотник опускается, закрывая клапан, и система продолжает работать в штатном режиме.

Клапан предохранительный имеет узел ручного подрыва. Он предназначен для принудительного открытия клапана в случае отказа автоматики, а также для проверки работоспособности клапана в процессе эксплуатации [21].



Рисунок 2.10 – Клапан предохранительный пружинный DN50 PN16

Для подачи газа на опрессовку был выбран электромагнитный соленоидный клапан ASCO Numatics SCG238C018 (рисунок 2.11).

Электромагнитный клапан – устройство, использующее электромеханический принцип действия для регулирования (открытия и перекрытия) потока рабочей среды. Наиболее распространенным является электромагнитный соленоидный клапан. При изготовлении такого устройства используются электрические магниты с неподвижными частями, такие магниты называются соленоидами [22].



Рисунок 2.11 – Соленоидный клапан ASCO Numatics SCG238C018

Для организации автоматических систем контроля-регулирования выбран микропроцессорный контроллер ControlLogix 1756 (рисунок 2.12).

Система ControlLogix обеспечивает управление дискретными процессами, перемещением, непрерывными процессами и безопасностью, а так современные возможности коммуникации. Модульная система позволяет эффективно проектировать, монтировать и модернизировать ее.

ControlLogix обрабатывает и формирует сигналы различного типа, позволяет выводить технологические сообщения и текущие значения параметров на дисплей. Так же он может осуществлять ПИД - регулирование, которое заложено в процессоре, ПИД регулятор в соответствии с сигналом ошибки вырабатывает управляющее воздействие. Программирование производится на базе программного обеспечение RSLogix 5000.

Для организации связи оператора со схемой контроля и регулирования (вывода результатов измерений технологических параметров и ручного управления в случае необходимости) используется персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ):

- ПЭВМ промышленного исполнения 2000 WTD852;

- Класс защиты IP64;
- AMD Athlon64 X2 DualCore Processor;
- RAM 2500 Мб;
- HDD 700 Гб;
- NVIDIA GeForce 8500 GT;
- 19" ЖК монитор промышленного исполнения с классом защиты IP64;
- сетевая плата Ethernet (для связи с другими станциями управления).
- Операционная система WindowsXP.



Рисунок 2.12 – Микропроцессорный контроллер ControlLogix 1756

Интерфейс пользователей: RSVIEW – это программный продукт, реализующий человеко-машинный интерфейс для приложений по управлению, мониторингу и сбору данных по всем производственным операциям на предприятии [23].

2.4 Структурная и функциональная схемы автоматизированной системы управления процесса розжига газовых горелок

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи между ними. Схема отображает принцип действия изделия в самом общем виде.

В системе семь дискретных входных сигналов и девять аналоговых унифицированных входных сигналов. Семь унифицированных аналоговых сигналов 4 до 20 мА и два дискретных сигнала 24 В поступают от датчиков на входные аналоговые и дискретные модули. Два аналоговых сигнала поступают с исполнительных механизмов (ИМ), сообщающих о положениях клапанов. Пять дискретных сигналов принимают входные дискретные модули. Так же, семь управляющих сигналов отправляются с выходного аналогового модуля и поступают на исполнительные механизмы.

На рисунке 2.13 приведена структурная схема системы розжига котла ТП-13А ТЭЦ-2, в которой указаны все датчики, исполнительные механизмы, используемые для регулирования параметров процесса. Данная схема позволяет легко выяснить, какие модули необходимо использовать в контроллере, а так же наглядно показывает типы и количество входных и выходных сигналов.

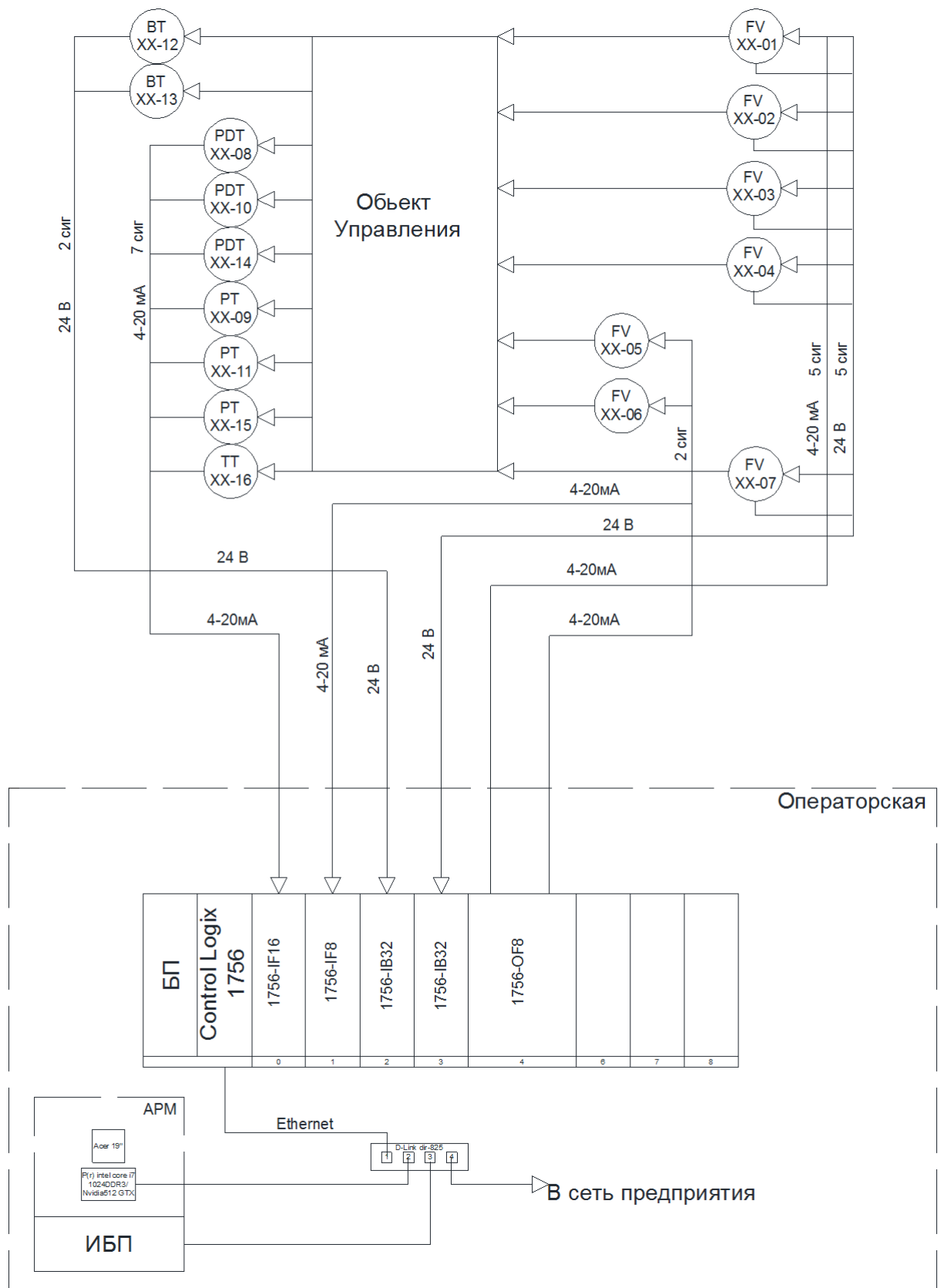


Рисунок 2.13 – Структурная схема автоматизации системы розжига котла ТП-13А ТЭС-2

Функциональная схема (рисунок 2.14) является основным техническим документом, определяющим структуру и характер автоматизации технологического процесса проектируемого объекта и оснащение его приборами и средствами автоматизации. На функциональной схеме условно изображают технологическое оборудование, коммуникации, устройства управления, приборы и средства автоматизации, а также связи между ними.

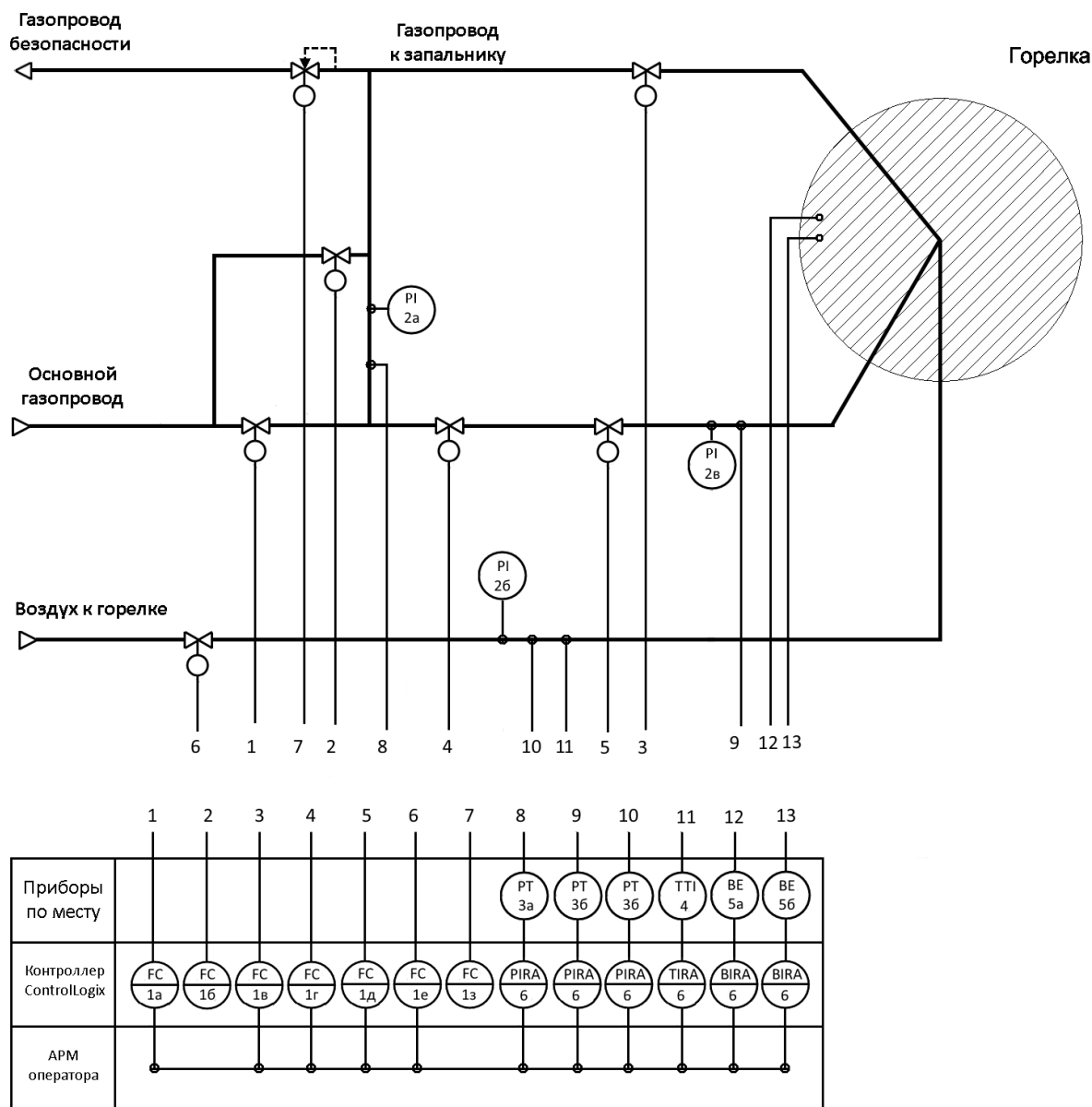


Рисунок 2.14 – Функциональная схема автоматизации системы розжига котла ТП-13А

Таблица 2.4 – Приборы по месту

Позиция	Наименование	Кол
1а	Предохранительно запорный клапан быстродействующий типа ПЗК-50Н	1
1б	Электромагнитный соленоидный клапан ASCO Numatics SCG238CO18	1
1в	Электромагнитный соленоидный клапан ASCO Jousomatic SCE210B154	1
1г	Предохранительно запорный клапан быстродействующий типа ПЗК-50Н	1
1д	Регулирующий отсечной клапан КМРО с электрическим приводом Aumamatic	1
1е	Регулирующий отсечной клапан КМРО с электрическим приводом Aumamatic	1
1з	Регулирующий отсечной клапан полноподъемный пружинный типа DN50	1
2а	Манометр показывающий	1
2б	Манометр показывающий	1
2в	Манометр показывающий	1
3а	Метран 150 CG2	1
3б	Метран 150 CG2	1
3в	Метран 150 CG2	1
4	Метран ТСМУ 274Exd	1
5а	Фотодатчик низкочастотный типа ФДЧ	1
5б	Фотодатчик низкочастотный типа ФДЧ	1

Технологические параметры :

- 2а – (0,3...0,35) кгс/см²;
- 3а – (0,3...0,35) кгс/см²;
- 2б – (0,2...0,44) кгс/см²;
- 3б – (0,2...0,44) кгс/см²;
- 4 – (220...400) °С;
- 2в – (20...44) кгс/см²;
- 3в – (20...44) кгс/см²;
- 5а – контроль пламени запальника
- 5б – контроль пламени горелки

2.5 Выводы по главе 2

Технические средства автоматизации, применяемые в системе розжига, включают в себя главным образом: предохранительные, регулирующие и отсечные клапаны, контрольно-измерительные приборы. На основе проведенного анализа разработали структурную и функциональную схемы автоматизации системы розжига.

3 Моделирование системы розжига парового котла

3.1 Математический расчет горения природного газа

Расчеты горения топлива производим для определения необходимого для горения расхода воздуха, количества дымовых газов, их состава и температуры. Если данное топливо не обеспечивает необходимые температуры в печи, то рассчитывают температуру подогрева воздуха, участвующего в горении. Расход воздуха на горение и объем дымовых газов в этих расчетах отнесены к единице массы (1 кг) твердого или жидкого топлива или к единице объема (1 м³) газообразного топлива, т.е. являются удельными величинами.

Таблица 3.1 – Химический состав сухого газа (в % по объему):

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	Сумма
98,0%	0,5%	0,3%	0,1%	0,2%	0,1%	0,8%	100,0%

- Содержание влаги в рабочем газе, $W_p=1\%$;
- коэффициент избытка воздуха при горении, $\alpha = 1,05$;
- влагосодержание атмосферного воздуха, $d = 10$ г/кг;
- температура подогрева воздуха, $t_b = 20$ °С.

3.1.1 Пересчет состава топлива

Сухое газообразное топливо пересчитываем на влажный газ, который подлежит сжиганию. В природном газе содержится небольшое количество влаги, примерно $0,5 \div 1,5\%$, так как при транспортировании газа он подвергается очистке от примесей и большей части влаги.

Часто сумма процентных содержаний компонентов сухого газообразного топлива не равна 100%. Тогда содержание каждого компонента во влажном рабочем газе, например $\text{CH}_4^{\text{вл}}$, рассчитаем по формуле:

$$\text{CH}_4^{\text{вл}} = \text{CH}_4^{\text{с}} \cdot \frac{100 - \text{H}_2\text{O}}{\sum_i \text{комп.}_i} \% \text{ и т.д.}, \quad (1)$$

где $\sum \text{комп.}_i$ – сумма концентраций компонентов сухого топлива (без учета содержания H_2O).

Пересчитаем состав сухого газа на влажный рабочий газ при содержании $\text{H}_2\text{O} = 1\%$:

$$\text{CH}_4^{\text{вл}} = \text{CH}_4^{\text{сух}} \cdot 100 - \text{H}_2\text{O}, \%$$

$$\text{CH}_4^{\text{вл}} = 98,0 \cdot 0,99 = 97\%$$

При точности анализа – один знак после запятой, другие составляющие газа остаются без изменений. Состав рабочего газа представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Химический состав рабочего газа (в % по объему):

CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO_2	N_2	H_2O	Сумма
97,0%	0,5%	0,3%	0,1%	0,2%	0,1%	0,8%	1,0%	100,0%

3.1.2 Расчет теплоты сгорания топлива

Теплота сгорания топлива (теплотворная способность) – это количество тепла, выделяемое при полном сгорании всех горючих составляющих топлива, отнесенное к 1 кг твердого или жидкого или 1 нм³ (м³ при нормальных условиях) газообразного топлива.

Тепловой эффект горения топлива зависит от агрегатного состояния одного продукта его горения – воды, поэтому различают высшую $Q_{\text{в}}$ и

низшую Q_n теплоту сгорания. Если составить реакции горения компонентов топлива так, что образующаяся в них вода находится в жидком состоянии, то расчет даст величину Q_b . Если рассматривать образующуюся воду в парообразном состоянии, то расчет даст величину теплоты сгорания Q_n . Теплота парообразования остается неиспользованной из-за высокой температуры отходящих газов, поэтому основной рабочей характеристикой топлива является низшая рабочая теплота.

Для газообразного топлива теплота сгорания определяется как сумма произведений тепловых эффектов компонентов горючих газов на их количество:

$$Q_n^p = 385,2 \text{ CH}_4 + 637,5 \text{ C}_2\text{H}_6 + 912,5 \text{ C}_3\text{H}_8 + 1186,5 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 1460,8 \text{ C}_5\text{H}_{12}, \text{ кДж/нм}^3$$

(2) В этой формуле компоненты газообразного рабочего (влажного) топлива выражены в объемных %.

Используя формулу (2), вычислим теплоту сгорания:

$$Q_n^p = 385,18 \text{CH}_4^{\text{вл}} + 637,48 \text{C}_2\text{H}_6^{\text{вл}} + 912,3 \text{C}_3\text{H}_8^{\text{вл}} + 1186,46 \text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{вл}} + 1460,77 \text{C}_5\text{H}_{12}^{\text{вл}} \text{ кДж/нм}^3$$

$$Q_n^p = 385,18 \cdot 97,0 + 637,48 \cdot 0,5 + 912,3 \cdot 0,3 + 1186,46 \cdot 0,1 + 1460,77 \cdot 0,2 = 35746,69 \text{ кДж/нм}^3$$

$$Q_n^p = 85,55 \text{CH}_4^{\text{вл}} + 152,26 \text{C}_2\text{H}_6^{\text{вл}} + 217,9 \text{C}_3\text{H}_8^{\text{вл}} + 283,38 \text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{вл}} + 348,9 \text{C}_5\text{H}_{12}^{\text{вл}}, \text{ ккал/нм}^3$$

$$Q_n^p = 85,55 \cdot 97,0 + 152,26 \cdot 0,5 + 217,9 \cdot 0,3 + 283,38 \cdot 0,1 + 348,9 \cdot 0,2 = 8538, \text{ ккал/нм}^3.$$

3.1.3 Расход воздуха на горение

В расчетах принимаем следующий состав сухого воздуха: азот – 79,0%, кислород – 21,0% по объему.

Теоретически необходимый для горения расход сухого воздуха (L_0) рассчитаем по следующей формуле:

$$L_0 = 4,762 (2\text{CH}_4 + 3,5\text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{C}_3\text{H}_8 + 6,5\text{C}_4\text{H}_{10} + 8\text{C}_5\text{H}_{12}) / 100, \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа} \quad (3)$$

По формуле (10) рассчитаем теоретически необходимый для горения расход сухого воздуха:

$$L_0 = 4,762 (2\text{CH}_4 + 3,5\text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{C}_3\text{H}_8 + 6,5\text{C}_4\text{H}_{10} + 8\text{C}_5\text{H}_{12})/100, \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

$$L_0 = 4,762 (2 \cdot 97 + 3,5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,3 + 6,5 \cdot 0,1 + 8 \cdot 0,2)/100 = 4,762 \cdot 199,5/100 = 9,5, \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

Пары воды, содержащиеся в атмосферном воздухе, незначительно увеличивают его расход по сравнению с сухим воздухом. Количество этой влаги учитывают с помощью влагосодержания атмосферного воздуха, выраженного в массовых %. Расход атмосферного воздуха (L_0') при влагосодержании d (г/кг сухого воздуха) равен:

$$L_0' = (1 + 0,0016 d) L_0, \text{ нм}^3 \text{ вл. возд.}/\text{нм}^3 \text{ газа} \quad (4)$$

$$L_0' = (1 + 0,0016 \cdot 10) \cdot 9,5 = 9,65 \text{ вл. возд.}/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

Достаточная полнота смешивания потоков топлива и воздуха обеспечиваются при некотором избытке воздуха.

Действительный расход сухого воздуха (L_0) рассчитаем по формуле:

$$L_0 = \alpha L_0', \text{ нм}^3/\text{кг} (\text{нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}), \quad (5)$$

где α – коэффициент избытка воздуха.

Минимальные допустимые значения α зависят от вида сжигаемого топлива, способа сжигания, конструкции топливосжигающих устройств и условий работы печи. Для газа и мазута $\alpha = 1,05$ – $1,2$; для пылевидного твердого топлива $\alpha = 1,20$ – $1,25$; при слоевом сжигании углей, антрацита и торфа в механических топках с непрерывной подачей топлива и золоудалением $\alpha = 1,3$ – $1,4$. Мы возьмем коэффициент $\alpha = 1,05$.

$$L_0 = \alpha \cdot L_0' = 1,05 \cdot 9,65 = 10,13 \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что подсистема «газ-воздух» автоматизированной системы розжига горелок котла, должна поддерживать соотношение газа и воздуха 1 к 10.

3.1.4 Объем продуктов горения топлива

При полном сгорании любого топлива образуются следующие газообразные продукты: CO_2 , $\text{H}_2\text{O}_{\text{газ}}$, N_2 , SO_2 . Обычно горение происходит с избытком воздуха, поэтому в ПГТ присутствует O_2 , содержание которого зависит от коэффициента избытка воздуха α .

Объемы дымовых газов по отдельности рассчитывают по формулам:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 (\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_6 + 3\text{C}_3\text{H}_8 + 4\text{C}_4\text{H}_{10} + 5\text{C}_5\text{H}_{12}), \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}; \quad (6)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 (2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_6 + 4\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{C}_4\text{H}_{10} + 6\text{C}_5\text{H}_{12} + \text{H}_2\text{O} + 0,16 d L_0), \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}; \quad (7)$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,79 L_0 + 0,01\text{N}_2, \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}; \quad (8)$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 (\alpha - 1) L_0, \text{ нм}^3/\text{кг} (\text{нм}^3 \text{ газа}). \quad (9)$$

Используя формулы (6), (7), (8) и (9), вычислим объемы дымовых газов:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01(0,1 + 97 + 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2) = 1,004 \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01(2 \cdot 97 + 3 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 6 \cdot 0,2 + 1,0 + 0,16 \cdot 10 \cdot 11,4) = 2,176 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot 0,8 + 0,79 \cdot 11,4 = 9,014 \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot (1,05 - 1) \cdot 9,5 = 0,099 \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

Общее количество продуктов горения определяется по формуле:

$$V_{\text{ДГ}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}, \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа} \quad (10)$$

По формуле (9) определим общее количество продуктов горения:

$$V_{\text{ДГ}} = 1,004 + 2,176 + 9,014 + 0,399 = 12,593 \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \text{ газа}$$

Процентный состав продуктов горения:

$$\text{CO}_2 = 1,004 \cdot 100/12,593 \cong 7,973\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 2,176 \cdot 100/12,593 \cong 17,279\%$$

$$\text{N}_2 = 9,014 \cdot 100/12,593 \cong 71,579\%$$

$$\text{O}_2 = 0,099 \cdot 100/12,593 \cong 0,786\%$$

Составим материальный баланс процесса горения на 100 м^3 природного газа при $\alpha = 1,05$.

Материальный баланс необходим для проверки правильности расчетов, его составляют на 100 м^3 газа. Разность между суммой прихода и суммой расхода, называемую «невязкой», вносят в расходную часть, независимо от её знака («+» или «-»). Величина невязки не должна превышать 1% от суммы приходных статей.

Таблица 3.3 – Материальный баланс процесса горения природного газа

Приход	кг	Расход	кг
Природный газ		Продукты горения	
$\text{CH}_4 = 97,0 \cdot 0,717$	69,55	$\text{CO}_2 = 1,004 \cdot 1,977 \cdot 100$	198,49
$\text{C}_2\text{H}_6 = 0,5 \cdot 1,356$	0,68	$\text{H}_2\text{O} = 2,176 \cdot 0,804 \cdot 100$	174,95
$\text{C}_3\text{H}_8 = 0,3 \cdot 2,020$	0,61	$\text{N}_2 = 9,014 \cdot 1,251 \cdot 100$	1127,65
$\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1 \cdot 2,840$	0,28	$\text{O}_2 = 0,399 \cdot 1,429 \cdot 100$	57,02
$\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,2 \cdot 3,218$	0,644	Невязка	-0,91
$\text{CO}_2 = 0,1 \cdot 1,977$	0,20		
$\text{N}_2 = 0,8 \cdot 1,251$	1,00		
$\text{H}_2\text{O} = 1,0 \cdot 0,804$	0,80		
Воздух			
$\text{O}_2 = 10,60 \cdot 0,21 \cdot 100 \cdot 1,429$	318,20		
$\text{N}_2 = 10,60 \cdot 0,79 \cdot 100 \cdot 1,251$	1047,94		
$\text{H}_2\text{O} = 10,60 \cdot 0,0016 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 0,804$	13,64		
Итого	1557,2	Итого	1551,2

Невязка баланса составляет: $\frac{0,91 \cdot 100}{1557,2} = 0,058\%$.

3.2 Компьютерная модель с применением программы SimInTech

При разработке компьютерных математических моделей используют специальное программное обеспечение, которое позволяет упростить и автоматизировать разработку модели.

Это достигается использованием принципа визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области, в которой он работает.

Существует большое множество прикладного программного обеспечения, которое позволяет реализовать принцип визуального программирования при разработке компьютерных математических моделей:

- Simulink;
- ПК MBTU;
- SimInTech.

В силу того, что SimInTech обладает более мощными возможностями и является бесплатным, решено было выбрать эту программу.

SimInTech представляет собой универсальную систему автоматизации расчетов для моделирования явлений и процессов различной природы в сложных технических системах. Объектом моделирования в SimInTech может быть любая система, устройство или физический процесс, математическая модель динамики которого описывается системой дифференциально-алгебраических уравнений и может быть реализована методами структурного моделирования.

SimInTech реализует принцип модельно-ориентированного проектирования, позволяющий совместить проектирование технологических

систем с созданием их комплексных моделей динамики. Первоначально комплексная модель динамики может быть упрощенной, что обеспечивает проверку базовых принципов работы моделируемого объекта и его системы управления. По мере проектирования ее отдельные части могут уточняться и дополняться для максимально подробного соответствия реальному.

3.2.1 Моделирование рабочего режима

Для перехода в рабочий режим система должна выполнить алгоритм розжига. После чего осуществляется контроль основных параметров, обеспечивающих рабочий режим: давление газа, воздуха, наличие пламени горелки.

Основное назначение и функциональность автоматизированной системы:

- 1) проведение опрессовки запорных устройств блока газоборудования;
- 2) выполнение алгоритма розжига и переход системы в рабочий режим;
- 3) контроль основных параметров для поддержания системы в работоспособном состоянии.

На рисунке 3.1 представлен алгоритм работы компьютерной модели автоматизированного розжига газовой горелки. При запуске системы в первую очередь происходит процесс опрессовки газовой арматуры. После проведения опрессовки открывается отсечный клапан 1. Далее начинается розжиг запальника газовой горелки путем подачи напряжения 220В на трансформатор зажигания для получения искры и открытие клапана запальника. Система контролирует наличие пламени запальника. Следующим шагом будет открытие отсечного клапана 2 для пуска газа в основной газопровод. После открывается дроссельная заслонка и

фиксируется пламя горелки. После установления пламени горелки, происходит закрытие пламени запальника.

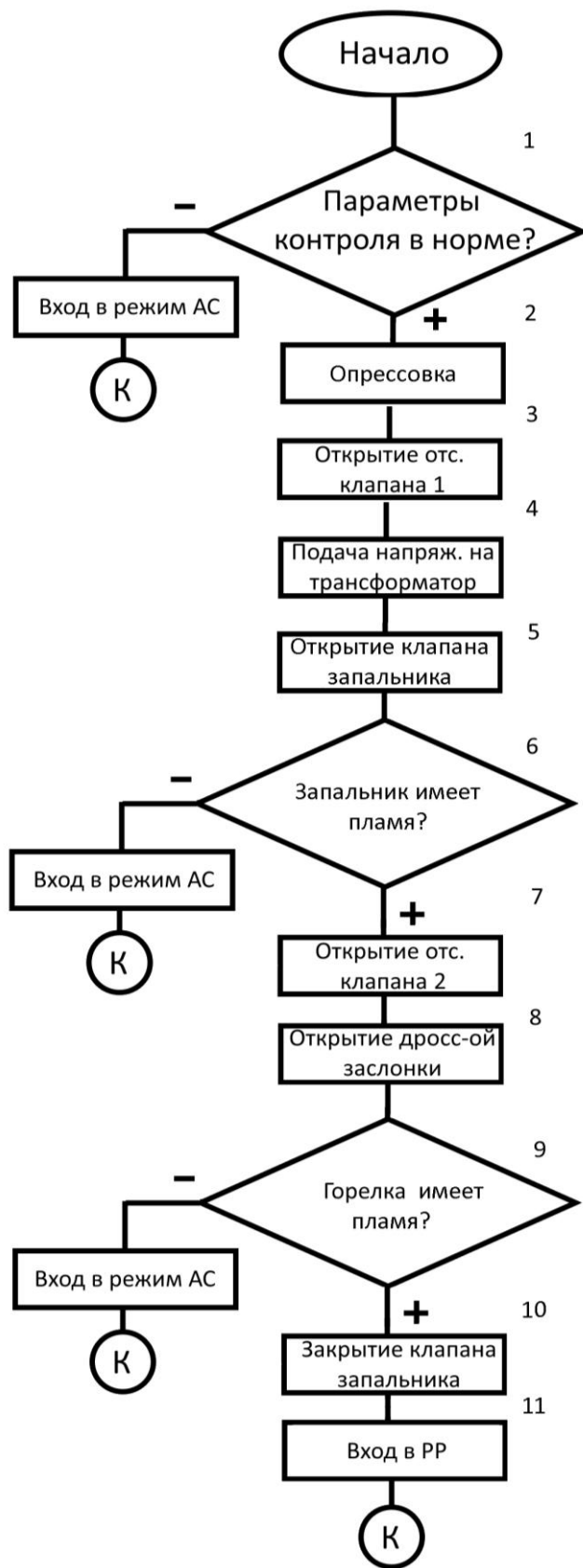


Рисунок 3.1 – Алгоритм работы автоматизированного розжига котла

Сокращения, используемые в блок-схеме:

- 1) К – конец;
- 2) АС – аварийная ситуация;
- 3) РР – рабочий режим.

Общий вид компьютерной модели, выполненной в программе SimInTech, представлен на рисунке 3.2.

На модели располагаются: активная мнемосхема (рисунок 3.3), приборная панель контроля (рисунок 3.4), вычислительные блоки (рисунок 3.5), индикаторы выполнения алгоритма розжига (рисунок 3.8).

На активной мнемосхеме мы можем видеть проиллюстрированные клапаны, газопровод, воздухопровод, сопла запальника и горелки, схематичное изображение топки котла и датчиков.

Условные обозначения датчиков на активной мнемосхеме:

- 1 – датчик давления между отсечными клапанами;
- 2 – датчик давления непосредственно перед горелкой;
- 3 – датчик давления воздуха, поступающего в горелку;
- 4 – датчик температура воздуха, поступающего в горелку;
- 5 – датчик наличия пламени горелки;
- 6 – датчик наличия пламени запальника.

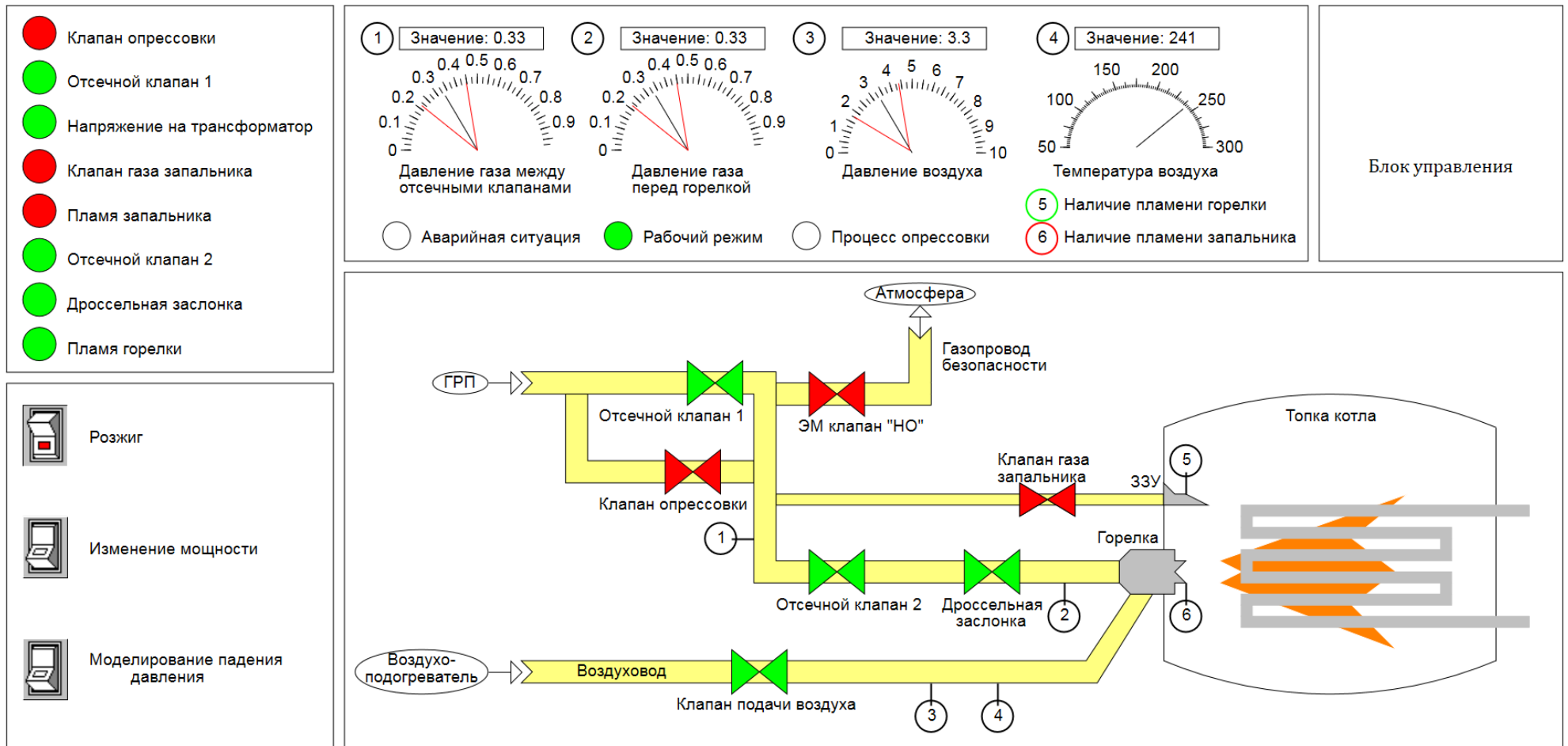


Рисунок 3.2 – Общий вид компьютерной модели

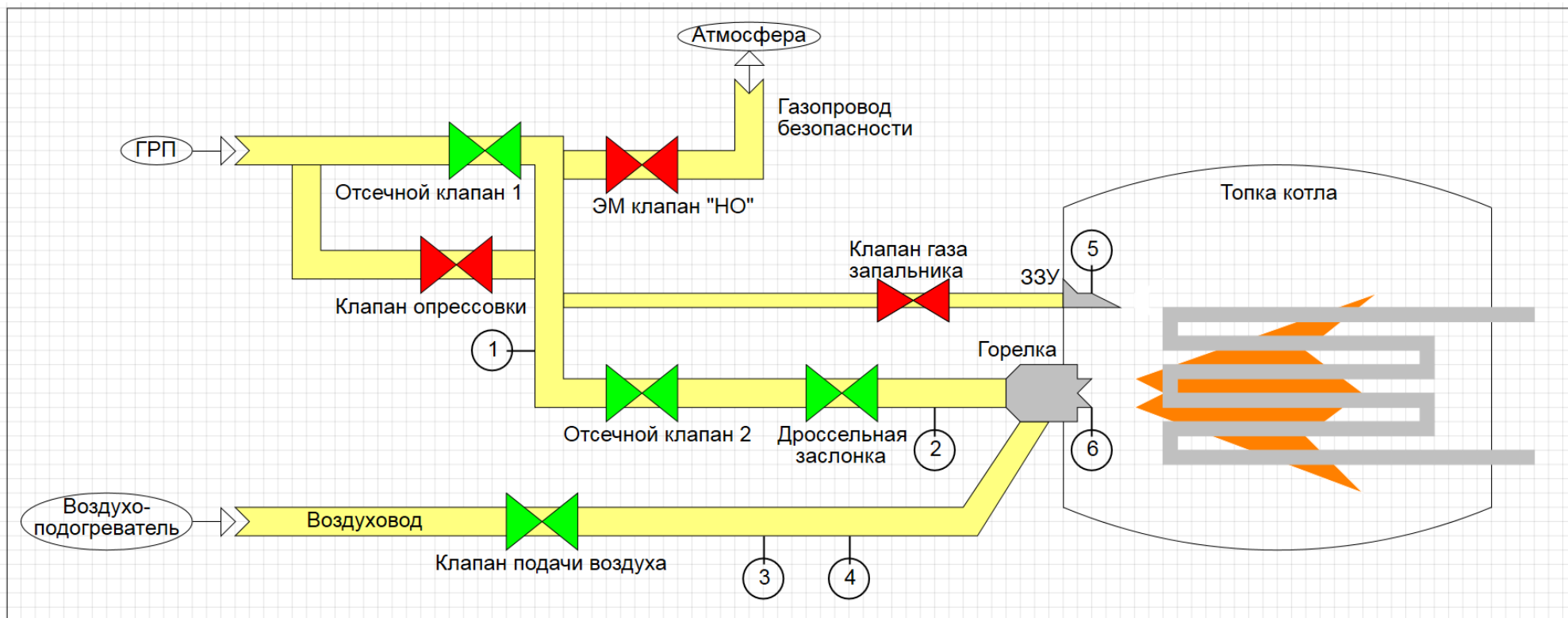


Рисунок 3.3 – Активная мнемосхема с элементами анимации

В таблице 3.1 представлен полный список сигналов, используемых в проект SimInTech. Все сигналы работают в режиме «Вход». Тип данных сигналов – «вещественный».

Таблица 3.1 – Список сигналов проекта и их назначение

Имя в проекте	Назначение
Opress	Запись состояния клапана опрессовки
Otskl1	Запись состояния отсечного клапана 1
Otskl2	Запись состояния отсечного клапана 2
Klzapal	Запись состояния клапана запальника
Firezapal	Запись состояния пламени запальника
Drossel	Запись состояния дроссельной заслонки
Firegorel	Запись состояния пламени горелки
Davlvozd	Запись показаний давления воздуха
Davlgaz1	Запись показаний давления газа между отсечными клапанами
Davlgaz2	Запись показаний давления газа перед горелкой
TempVozd	Запись показаний температуры воздуха
Alarm	Запись наличия аварийной ситуации
Button1	Запись получения сигнала с кнопки
Button2	Запись получения сигнала с кнопки
Button3	Запись получения сигнала с кнопки

Приборная панель контроля отображает показания контрольно-измерительных приборов:

- датчик давления между отсечными клапанами;
- датчик давления газа перед горелкой;
- датчик давления воздуха;
- датчик температуры воздуха;
- фотодатчик контроля наличия пламени горелки;

- фотодатчик контроля наличия пламени запальника.

Также панель содержит один индикаторы «Аварийная ситуация», «Рабочий режим» и «Процесс опрессовки»

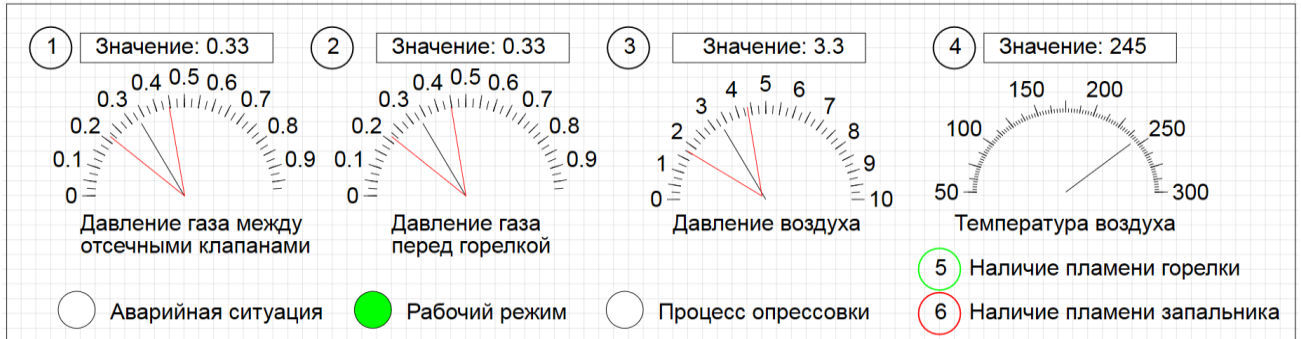


Рисунок 3.4 – Приборная панель контроля

Блок управления состоит из вычислительных блоков «Алгоритм розжига» и «Параметры контроля».

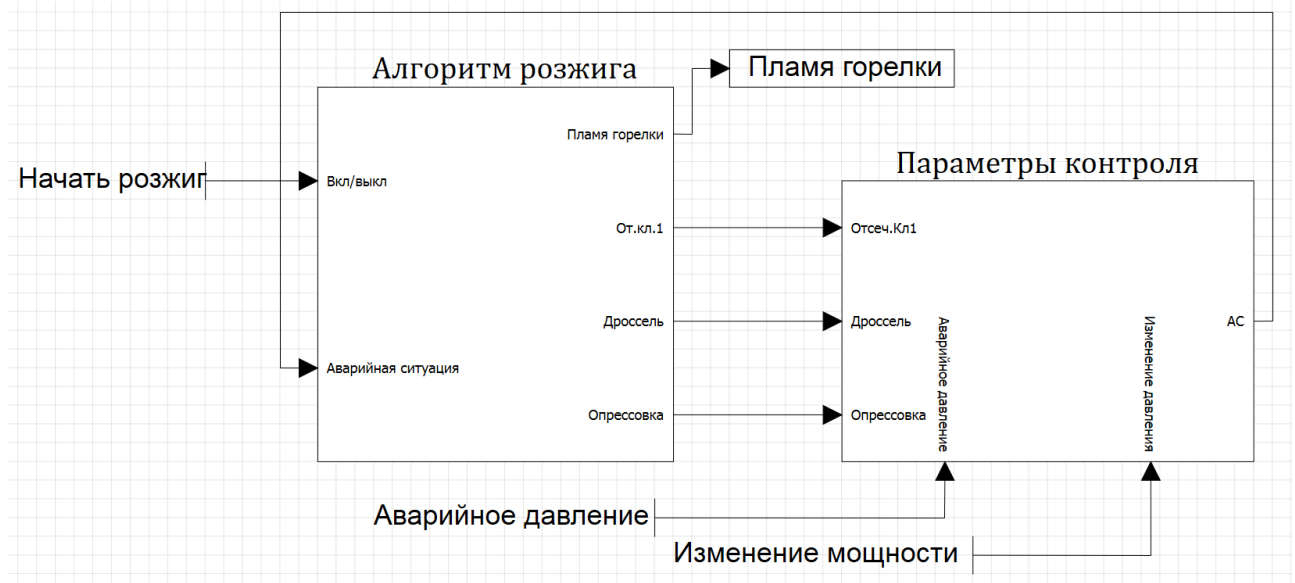


Рисунок 3.5 – Вычислительные блоки

Субмодель «Параметры контроля» содержит в себе блоки, моделирующие сигналы контрольно-измерительных приборов, а также систему «Газ-воздух».

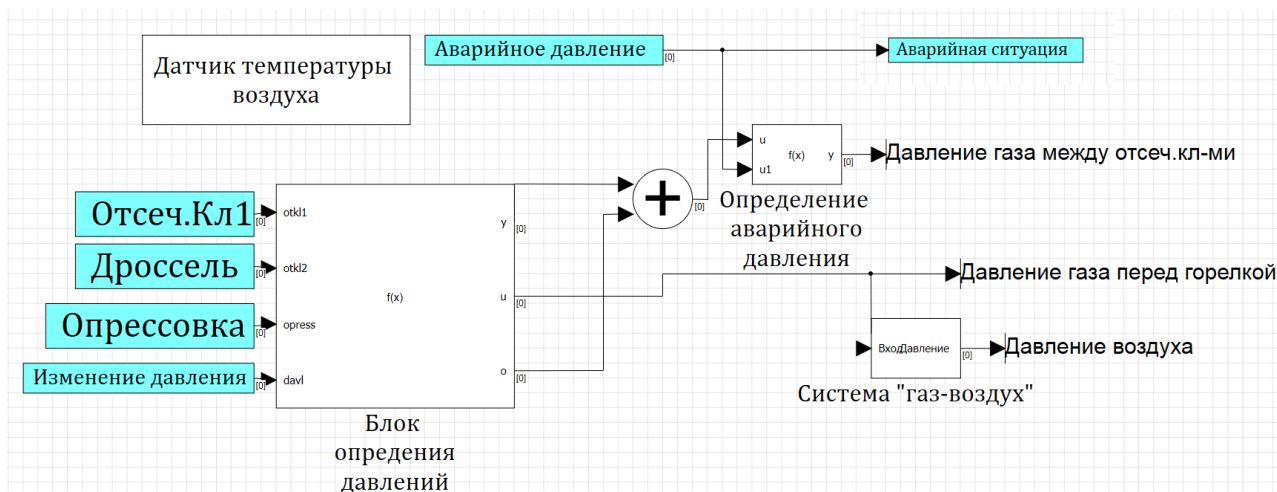


Рисунок 3.6 – Субмодель «Параметры контроля»

«Блок определения давлений» служит для создания сигналов текущих показаний датчиков давления воздуха, газа и показаний температуры. Блок «определение аварийного давления» формирует сигнал давления газа при аварийной ситуации.

В субмодели «Алгоритм розжига» моделируется алгоритм розжига газовых горелок. Здесь заложена логика процесса розжига газовых горелок, последовательность действий, интервалы между действиями, действия при возникновении аварийной ситуации.

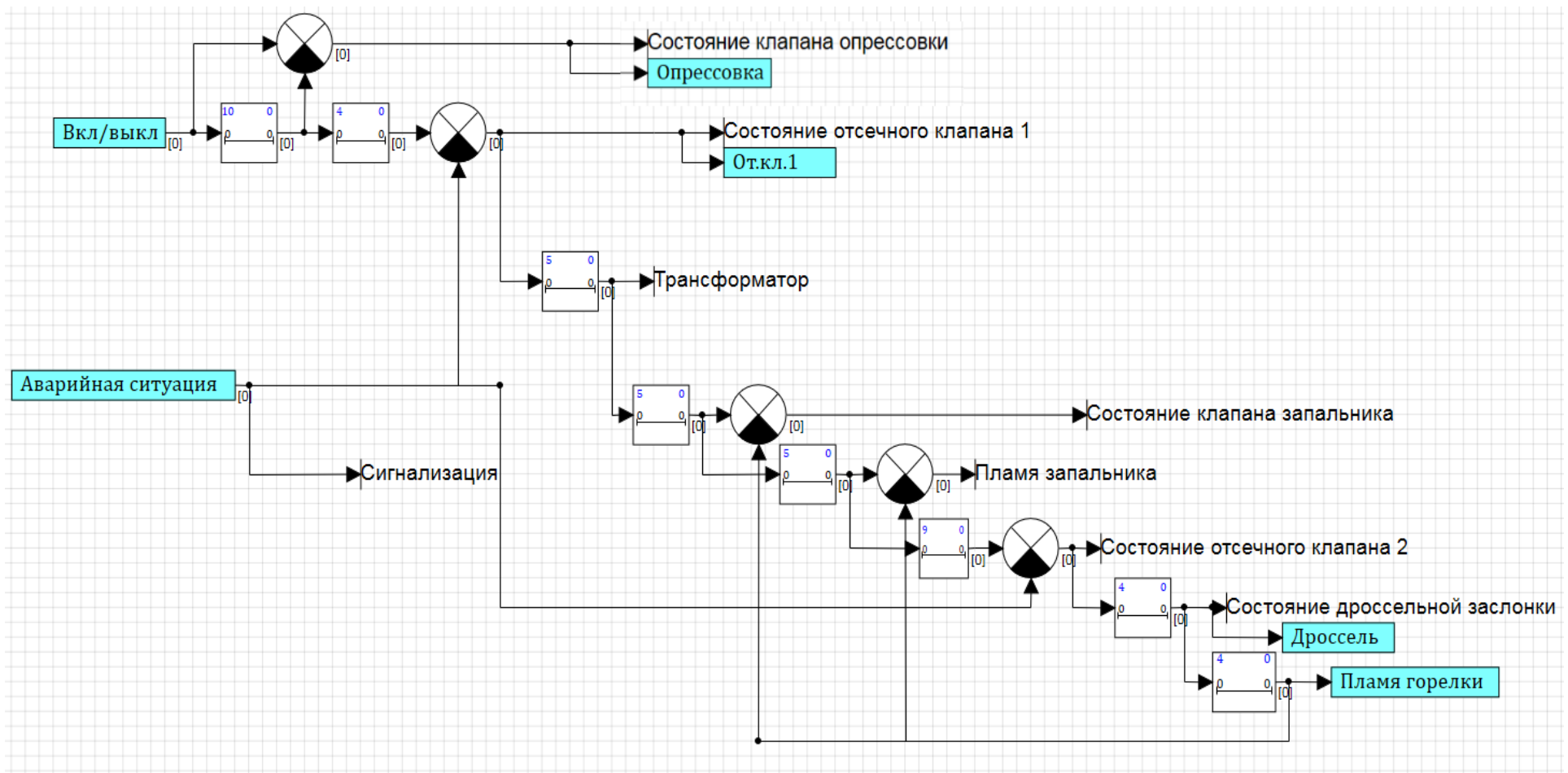


Рисунок 3.7 – Субмодель «Алгоритм розжига»

Индикаторы выполнения алгоритма розжига (рисунок 3.8) служат для контроля процесса автоматического розжига газовых горелок в режиме реального времени. По ним можно отследить на каком этапе в данный момент находится выполнение алгоритма.

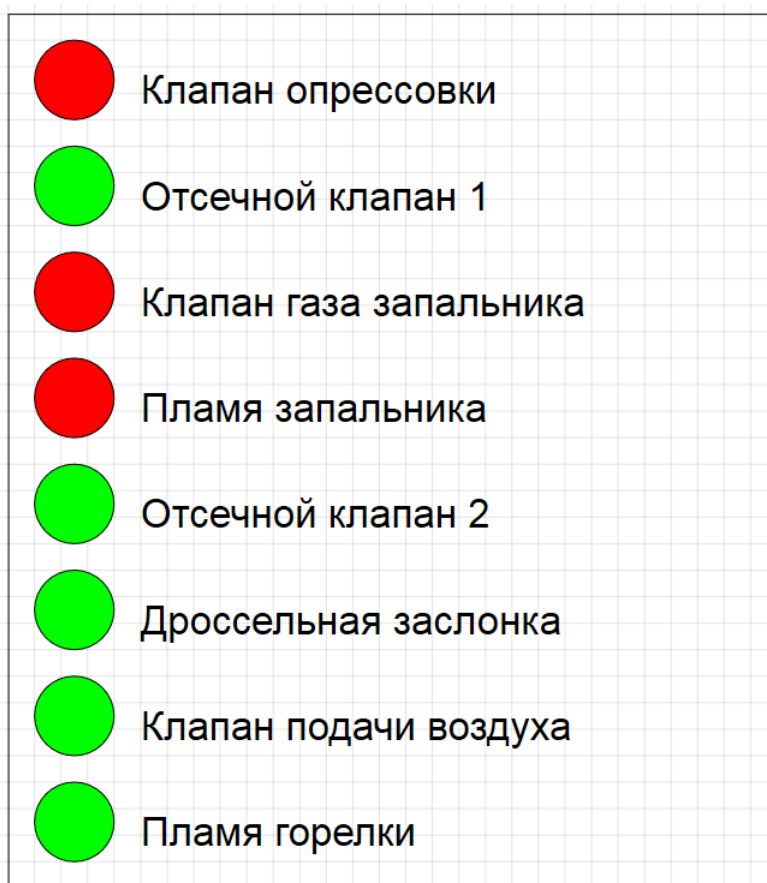


Рисунок 3.8 – Индикаторы выполнения алгоритма розжига

Подсистема «Алгоритм розжига» определяет последовательность загорания индикаторов. Зеленый цвет индикатора напротив названия клапана говорит о том, что в данный момент клапан открыт. Индикация красного цвета говорит о том, что клапан закрыт. Зеленый цвет индикатора напротив параметров контроля «Пламя запальника» и «Пламя горелки» говорит о том, что пламя есть, а красный цвет говорит об обратном.

Ниже представлен временной график изменения давления газа между отсечными клапанами (рисунок 3.9) с момента открытия отсечного клапана 1.

Известно, что давление газа перед газовой горелкой при открытии дроссельной заслонки будет изменяться по такому же закону.

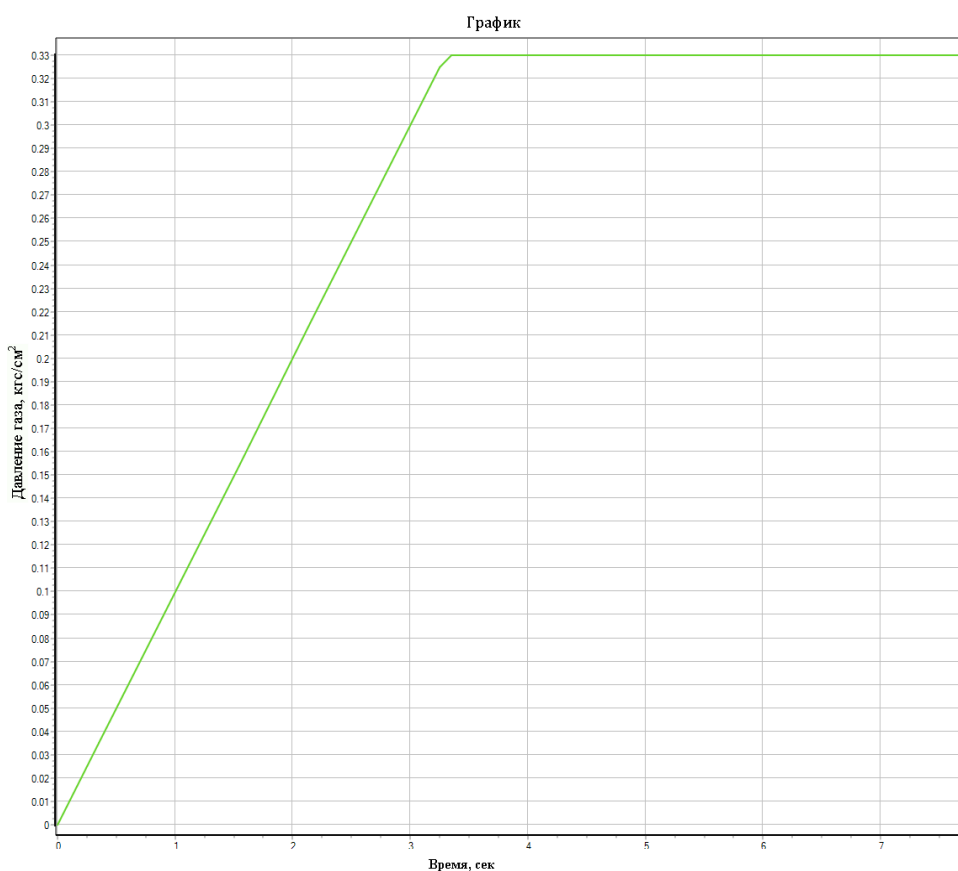


Рисунок 3.9 – Временной график изменения давления между отсечными клапанами

Система «Газ-воздух» регулирует соотношение газа и воздуха. Необходимое количество воздуха для эффективного сжигания газа было рассчитано в главе 3.1. На рисунке 3.10 представлен график изменения давления воздуха с момента открытия дроссельной заслонки и подачи газа через сопло газовой горелки.

В рабочем режиме системы давление газа перед горелкой должно быть 0.33 кгс/см^2 , давление воздуха, с учетом коэффициента k , должно быть на отметке 3.3 кгс/см^2 .

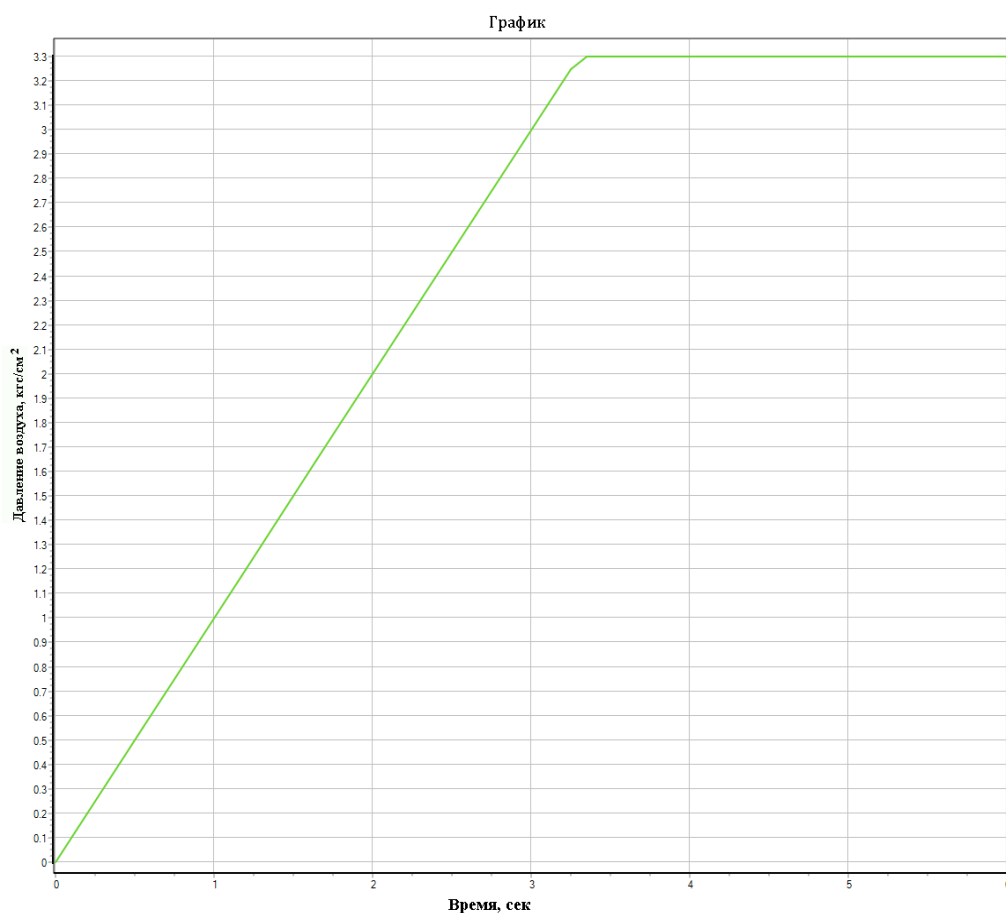


Рисунок 3.10 – Временной график изменения давления воздуха

Изучив графики на рисунках 3.9 и 3.10, можно сделать вывод, что система «газ-воздух» стремится обеспечить соотношение давлений газа и воздуха с коэффициентом $k = 10$.

3.2.2 Моделирование аварийной ситуации

При моделировании аварийной ситуации рассматриваем падение давления между отсечными клапанами 1 и 2 до критически малого. В момент падения давления ниже допустимого значения в $0,2 \text{ кгс/мм}^2$, система переходит в аварийный режим работы. На рисунке 3.11 представлен общий вид модели при аварийном режиме.

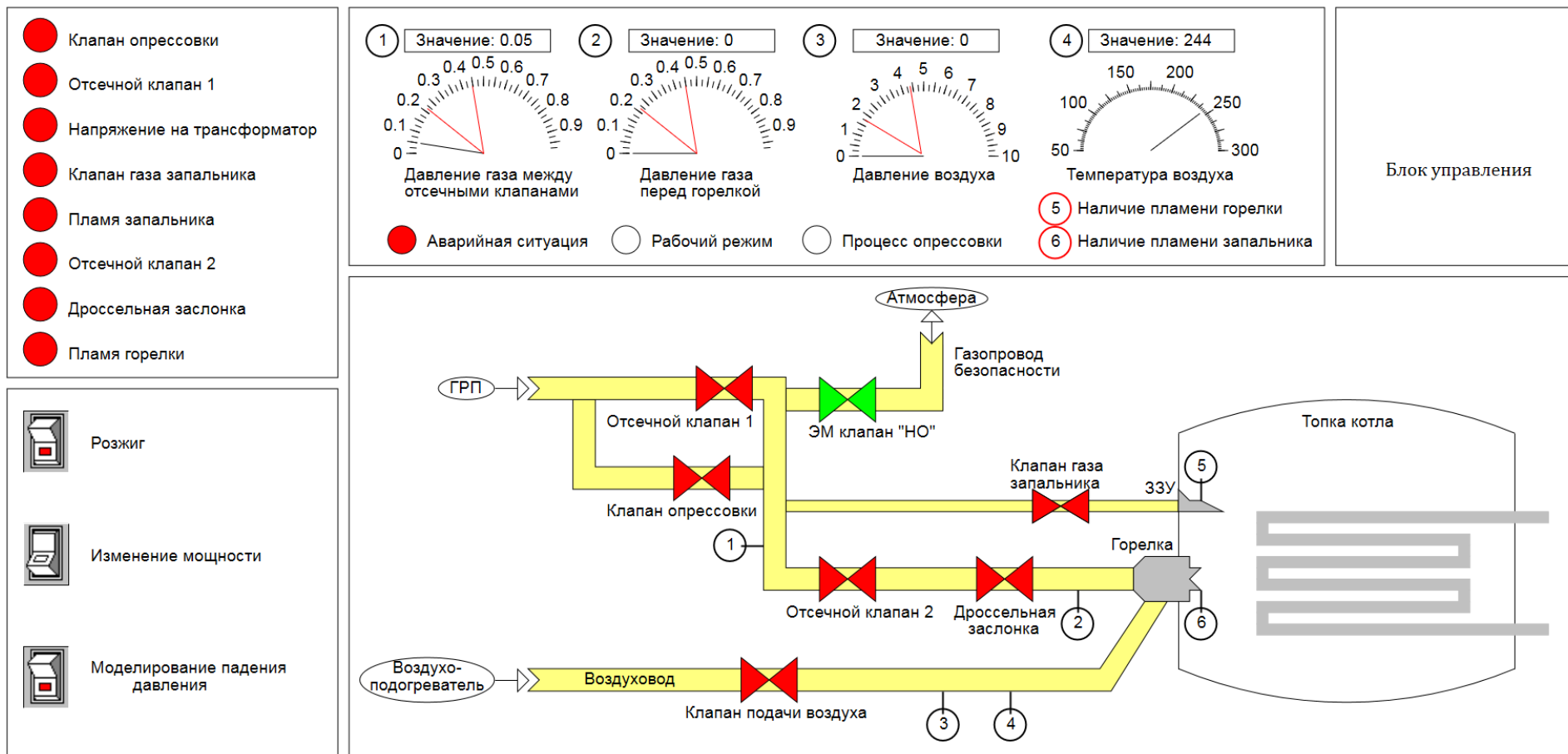


Рисунок 3.11 – Общий вид модели при аварийном режиме

Последовательность действий при перепаде давления в газоблоке:

- 1) загорается индикатор аварийной ситуации;
- 2) отсечные клапаны перекрываются;
- 3) электромагнитный клапан «НО» открывает газопровод безопасности, чтобы предотвратить утечку газа в случае неисправности одного из отсечных клапанов, газ отводится в атмосферу через газопровод безопасности.

3.2.3 Моделирование ситуации изменения давления газа

Смежная система управления мощностью парового котла может инициировать в нашей системе изменение давления газа. При поступлении такого сигнала система автоматического розжига изменяет положение дроссельной заслонки регулирования давления газа для достижения необходимого значения.

Изменение мощности котла допускается выполнять только при автоматическом поддержании соотношения «газ-воздух». Поэтому подсистема «газ-воздух» системы розжига автоматически регулирует давление воздуха, исходя из изменения давления газа.

На рисунке 3.12 мы можем наблюдать приборную панель контроля после получения системой сигнала об изменении давления газа.

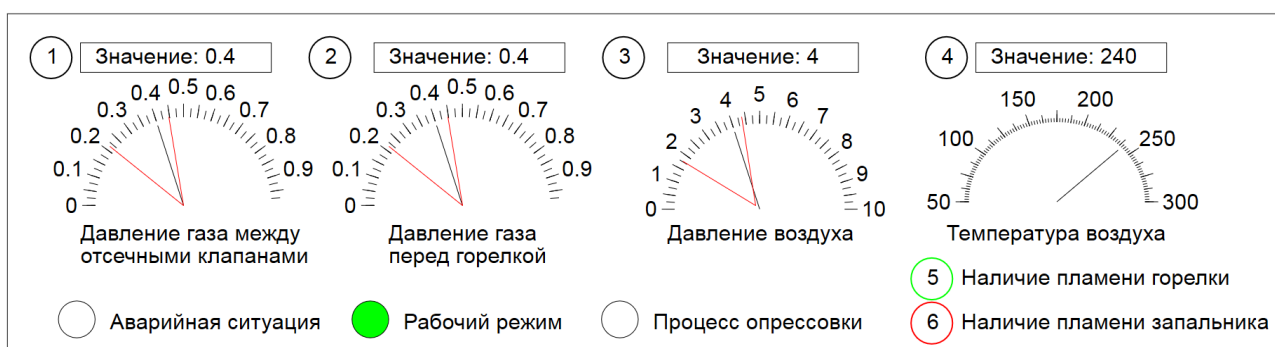


Рисунок 3.12 – Приборная панель контроля при увеличенном давлении газа

Значение давления возросло с 0.33 кгс/см^2 до 0.4 кгс/см^2 . Благодаря подсистеме «газ-воздух» давление воздуха было изменено вслед за давлением газа до 4 кгс/см^2 и было сохранено благоприятное для растопки котла соотношение газа и воздуха.

В реальных производственных условиях в рабочем режиме параметры давления воздуха, газа и температура воздуха указаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технологические параметры розжига в разных режимах работы

Параметры	Рабочий режим	Аварийный режим
Давление газа, кгс/см^2	0,33	менее 0,2 или более 0,44
Давление воздуха, кгс/см^2	3,3	менее 2 или более 4,4
Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	245	менее 220 или более 400

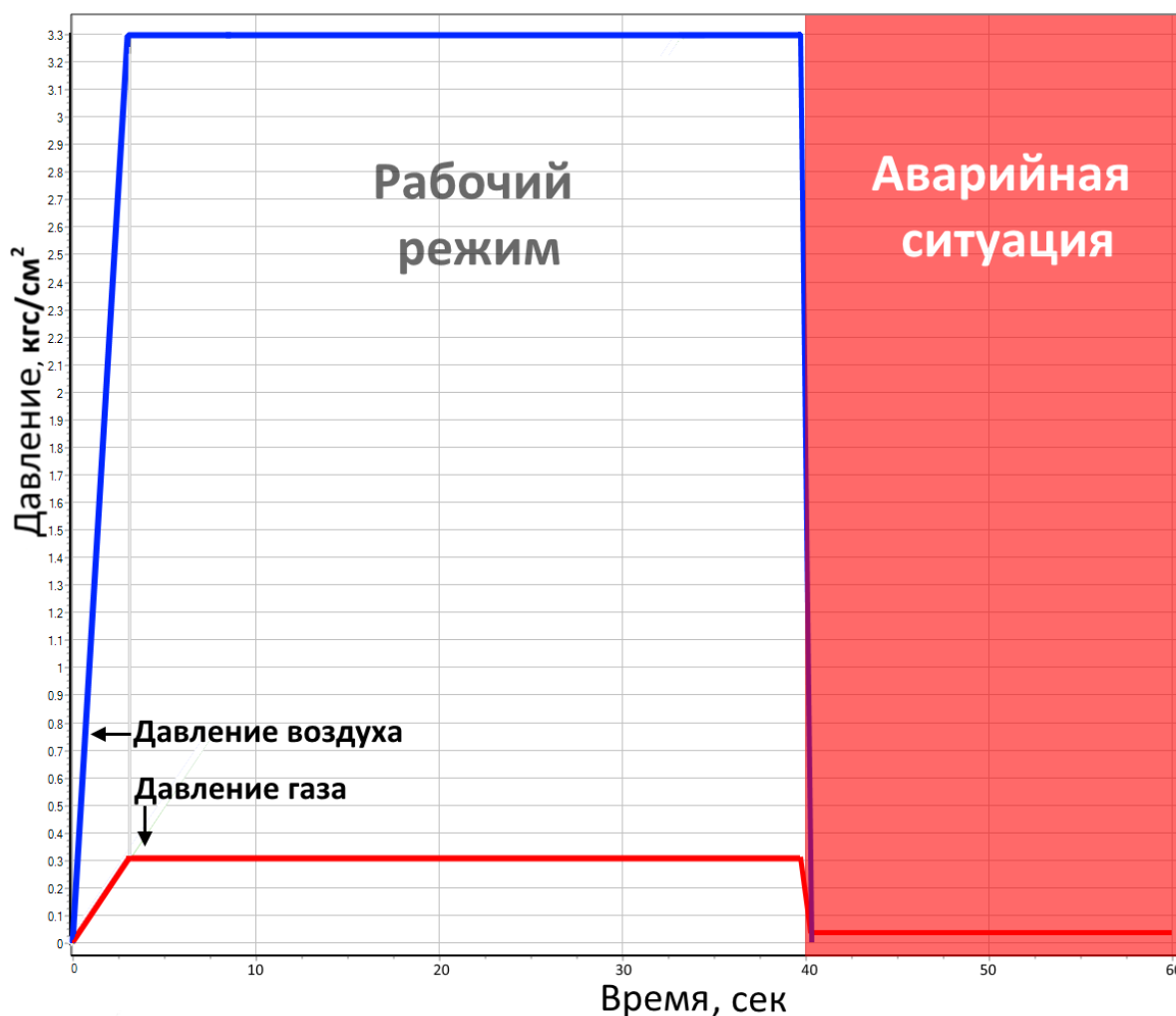


Рисунок 3.13 – Временной график изменения давлений воздуха и газа

На основании построенной модели проведем верификацию численных значений расчетных параметров, находящихся в допустимых пределах, обеспечивающих работоспособность системы розжига котла. Проведем численный эксперимент для выявления влияния изменения давления газа на изменение давление воздуха (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Численные эксперименты при рабочем режиме

Давление газа, кгс/см ²	Давление воздуха, кгс/см ²
0,2	2
0,25	2,5
0,3	3,0
0,35	3,5
0,4	4
0,44	4,4

Расчетные значения соответствуют установленной зависимости между давлением газа и воздуха, что подтверждает точность работы модели.

3.3 Выводы по главе 3

Математический расчет параметров горения природного газа, выявил, что необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 м³ природного газа составляет 10,13 м³, которое является входным параметром для компьютерной динамической модели.

Построенный алгоритм работы автоматизированного розжига газовой горелки позволил создать компьютерную модель с помощью которой смоделированы рабочие режимы и элементы системы предотвращающее взрывоопасную ситуации возникающую при снижении давления газа ниже 0,2 кгс/см².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы были изучены технологические принципы работы системы розжига котла и конструктивные особенности блоков газооборудования. Для рабочего режима рекомендовано давление газа 0.33 кгс/см^2 , однако, ввиду суровых климатических условий города Норильска, в зимнее время персонал вынужден увеличивать давление газа для поддержания необходимой паропроизводительности котла. На ТЭЦ-2 не предусматривается предварительный подогрев природного газа перед подачей на горелку, из-за этого в зимнее время газ поступает переохлажденный, что оказывает негативное влияние на температуру горения газа и, как следствие, на КПД котла. Для поддержания необходимой температуры выходного пара оперативный персонал ТЭЦ вынужден увеличивать объемы поступающего газа.

Температура воздуха, поступающего на горелку, также влияет на КПД котла. Предварительно воздух подогревается в воздухоподогревателе котла за счет температуры продуктов горения газа до $220\text{-}280^\circ\text{C}$. Операторы ТЭЦ осуществляют контроль температуры входного воздуха. При понижении температуры воздуха до 200°C и ниже, оперативный персонал должен принять решение об останове топки котла, выявить и устранить причины низкой температуры.

Взрывоопасные ситуации возникают по следующим причинам:

- при нарушении целостности газовой арматуры происходит высвобождение газа и резкое падение давления в газопроводе ниже допустимого значения в 0.2 кгс/см^2 ;
- при неудачном розжиге или затухании горелки газ выходит в топку котла, давление газа остается в допустимых пределах.

Система переходит в аварийный режим работы и производит автоматическую остановку котла без участия персонала, поскольку реакция оперативного персонала может быть недостаточно быстрой для предотвращения взрывоопасной ситуации.

В связи с необходимостью автоматизированного управления системой розжига изучены технологические средства автоматизации и создана компьютерная динамическая модель процесса управления системой автоматизации розжига котла ТП-13А в программе SimInTech, исследованы применяемые защитные меры, предотвращающие аварийные ситуации.

Построенная система позволяет изучать поведение системы в целом, давать рекомендации о допустимых диапазонах технических параметров и режимах работы. Численные эксперименты в компьютерной модели подтверждают, что значения технических параметров находятся в допустимых диапазонах.

Разработанная в SimInTech модель может быть рекомендована для обучения практикантов и работы персонала теплоэлектростанций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ключев, А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Ключев. – Москва : Высшая школа, 2008. – 351с.

2 СО 34.35.677-2003 Технические требования на систему автоматизированного управления горелками газомазутного котла, способствующую повышению взрывобезопасности при розжиге горелок. – РАО «ЕЭС России», 2003. – 221с.

3 Полещук, И.З. Введение в теплоэнергетику: учебное пособие / И.З. Полещук. – Уфимский государственный авиационный технический университет. – Уфа, 2003. – 127с.

4 Атоян, Э.М. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов направления «Теплоэнергетика»: учебное пособие / Э.М. Атоян. – Саратовский государственный университет. – Саратов, 2009. – 195с.

5 Бочарников, В.Ф. Справочник мастера по ремонту нефтегазового технологического оборудования: справочник / В.Ф. Бочарников. – Москва: Инфра-Инженерия, 2008. – Т. 2. – 576 с.

6 Фарзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы / Н.Г. Франзе. - Москва: Высшая школа, 2010. – 456 с.

7 Хапов, П.В. Технологическое оборудование автоматизированных производств : лабораторный практикум / П.В. Хапов, В.Д. Щепин. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет», Министерство образования и науки Российской Федерации. – Йошкар-Ола, 2012. – 125 с.

8 Щинников, П.А. Перспективные ТЭС: особенности и результаты исследования : монография / П.А. Щинников. - Новосибирск : НГТУ, 2007. – 284 с.

9 Наумов, Н.С. Схема теплоснабжения муниципального образования город Норильск на период с 2013 года до 2028 года / Н.С. Наумов. – Норильск, 2013. – 178 с.

10 СТО 4.2-07-20014 Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2-07-2012; Дата введения 30.12.2013. – Красноярск, 2013. – 60 с.

11 ГОСТ 2.701-84 Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – с. 53.

12 ГОСТ 2.702-89 Правила выполнения электрических схем. – с. 18.

13 Техническое описание на датчик давления Метран 150CG2.

14 Техническое описание на датчик температуры МетранТСМУ 274.

15 Техническое описание на датчик Манометр МТИ-1218.

16 Техническое описание на устройство ЗЗУ-6.

17 Техническое описание на исполнительные механизмы фирмы Aumamatic.

18 Техническое описание на Фотодатчик ФДЧ.

19 Техническое описание на клапан ASCO/JOUCOMATICSC210D154.

20 Техническое описание на клапан ПЗК-50Н.

21 Техническое описание на клапан DN50 PN16.

22 Техническое описание на клапан ASCONumaticsSCG238CO18

23 Руководство по выбору ControlLogix.

24 Дискретные модули ввода-вывода ControlLogix.

25 Аналоговые модули ввода-вывода ControlLogix

26 «Положение о работе котлотурбинного цеха ТЭЦ-2». – Норильск, 2013.