

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____ /А.Н. Шишков/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Разработка модели системы автоматического управления теплоснабжения
с частотным регулированием электроприводов вентиляторов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ (РАБОТЕ)

ЮУрГУ-13.03.02.2017.889 ВКП (ВКР)

Руководитель проекта:

Профессор, д.т.н.

_____ /В.Л. Кодкин/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Автор проекта

студент группы ПЗ-576

_____ /В.С. Камаев/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер:

Доцент, к.т.н.

_____ /Т.А. Функ/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Камаев В.С. Разработка модели системы автоматического управления теплоснабжения с частотным регулированием электроприводов вентиляторов. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ; 2017, 66 с., 40 ил., 12 табл., библиографический список – 10 наим., 1 лист чертежей ф.А3.

В выпускной квалификационной работе рассматривается разработка модели системы автоматического управления теплоснабжения с частотным регулированием электроприводов вентиляторов.

В работе рассмотрено описание котла КВГМ-30, принцип его работы. Описан алгоритм работы оператора в ручном режиме. В ходе работы было выявлено, что при ручном регулировании оператором работа имеет очень низкую энергоэффективность, большие потери на инерционность, неточность поддержания требуемых параметров теплоснабжения жилых и производственных помещений, вероятность возникновения аварий.

В связи с этим было принято решение модернизировать работу котла КВГМ-30. Перед проведением модернизации системы необходимо провести математическое моделирование данной системы с целью уточнения процессов регулирования на данном объекте и предварительного расчета энергоэффективности.

Результаты моделирования показали эффективность предложенной модернизации. По результатам моделирования и требованиям к оборудованию были выбраны микроконтроллер, преобразователи частоты для двигателей подачи воздуха и дымососа.

ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>
<i>Разраб.</i>		Камаев В.С.		
<i>Провер.</i>		Кодкин В.Л.		
<i>Реценз</i>				
<i>Н. Контр.</i>		Функ Т.А.		
<i>Утверд.</i>		Шишков А.Н.		
<i>Разработка модели системы автоматического управления теплоснабжения с частотным регулированием электроприводов вентиляторов</i>				
		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
			4	
ЮУрГУ Кафедра «АЭП»				

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АКТУАЛЬНОСТЬ ПОСТАВЛЕННЫХ В ПРОЕКТЕ ЗАДАЧ.....	7
1.1 Актуальность работы.....	7
2 ОПИСАНИЕ МОДЕРНИЗИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ	10
2.1 Описание котла	10
2.2 Описание работы котла	15
2.3 Выбор кривой графика температуры теплоносителя.....	26
2.4 Выбор коэффициента рассеивания	28
3 АЛГОРИТМ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА.....	30
3.1 Алгоритм работы оператора вручную.....	30
4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В КОТЛЕ	34
4.1 Описание автоматизации	34
4.2 Разработка моделей автоматизации	34
5 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	47
5.1 Выбор частотного преобразователя.....	47
5.2 Выбор микроконтроллера	52
5.3 Выбор модуля для микроконтроллера.....	55
5.4 Выбор дисплея.....	56
5.5 Выбор блока питания для микроконтроллера	57
5.6 Выбор датчиков давления	59
5.7 Выбор датчика температуры наружного воздуха.....	60
5.8 Выбор датчика температуры теплоносителя	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	66

ВВЕДЕНИЕ

Общество с ограниченной ответственностью «Коммунальщик» – Управляющая компания, которая является одним из основных поставщиков тепловой энергии для многоквартирных жилых домов и различного рода организаций. Начало свою деятельность 01 сентября 2010 года. В течение последних 7 лет ООО «Коммунальщик» организует бесперебойную подачу тепловой энергии для отопления и снабжения горячей водой 216 многоквартирных жилых домов, 98 различных предприятий, учреждений.

Котельный цех является структурным подразделением ООО «Коммунальщик». Основная задача котельной – это постоянно поддерживать требуемую температуру в отапливаемых помещениях согласно режимным картам.

Управление всей системой регулирования, всеми процессами, происходящими в котле, выполняется оператором вручную. В связи с этим производительность котла достаточно низкая, имеет большие потери на инерционность, низкую энергоэффективность, неточность поддержания требуемых параметров теплоснабжения жилых и производственных помещений.

В связи с вышеуказанными недостатками системы было решено произвести модернизацию котла КВГМ-30. До проведения модернизации системы необходимо провести математическое моделирование данной системы с целью уточнения процессов регулирования на данном объекте и предварительного расчета энергоэффективности.

Результаты моделирования показали эффективность предложенной модернизации. По результатам моделирования и требованиям к оборудованию были выбраны микроконтроллер, преобразователи частоты для двигателей подачи воздуха и дымососа.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 АКТУАЛЬНОСТЬ ПОСТАВЛЕННЫХ В ПРОЕКТЕ ЗАДАЧ

1.1 Актуальность работы

Исследуемая и модернизируемая система представляет собой реально существующий промышленный объект. В проекте рассматривается водогрейный котел КВГМ-30.

Основной задачей котельной установки является отопление жилых и производственных помещений. Внутри этих помещений температура должна поддерживаться в пределах $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ независимо от температуры наружного воздуха. Чтобы постоянно поддерживать требуемую температуру в помещениях оператор должен соблюдать температурный режим в котле КВГМ-30 согласно режимным картам-графикам. Их всего 4: график зависимости требуемой температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха, график зависимости давления газа от температуры теплоносителя, график зависимости давления воздуха от давления газа, график зависимости давления разряжения от угла открытия заслонки. Для этого он воздействует на поворотнo-регулируемые заслонки (ПРЗ), ориентируясь на приборы давления и температуры.

Данный котёл оснащен системой подачи воздуха и дымососа с неуправляемыми по скорости приводами с асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. В рабочем режиме электродвигатели постоянно работают на максимальной скорости. Оператор регулирует подачу воздуха и создание разряжения в топке котла изменением эффективного сечения трубопровода с помощью заслонки.

Перекрытие воздушного канала системой заслонок создает значительную нагрузку на электродвигатель вентилятора, двигатель начинает работать с большим скольжением, тратит энергию на преодоление противодействия заслонки, что приводит к большим потерям энергии, а повышенное давление вызывает износ оборудования. [3]

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Регулирование подачи газа в топку котла оператор производит вручную посредством поворотной-регулируемой заслонки (ПРЗ). Кроме того, существует возможность отрыва факела при переизбытке подаваемого воздуха на горелку и при отводе отработавших газов, с последующим аварийным остановом водогрейного котла.

Анализ режимов работы показал, что наиболее сложным с точки зрения управления является основной режим с динамически изменяющимися нагрузками. Существующая система управления водогрейным котлом является ручной, и как следствие, имеет низкое быстродействие, большую вероятность ошибочного регулирования, в результате чего возникают наиболее частые отклонения параметров от номинальных режимов и работе на предельных значениях, что приводит к неисправностям котла. В связи с этим существующая система управления не позволяет стабилизировать температурный режим отходящей воды с требуемой точностью, и в водогрейном котле возникают частые и резкие изменения температуры.

В связи с вышеуказанными техническими недостатками существующей системы регулирования ее следует модернизировать. Для этого требуется установка преобразователей частоты для управления скоростью асинхронных двигателей вентилятора и дымососа. Чтобы исключить работу оператора по управлению работой котельной нужно поставить программируемый логический контроллер (ПЛК), который будет анализировать показания с датчиков и автоматически регулировать подачу газа в топку котла, поддерживать требуемое соотношение «газ-воздух».

Применение регулирования скорости вращения электродвигателей вентиляторов позволит значительно улучшить управляемость и снизить потери энергии в электроприводах вентилятора и дымососа, а также снизить вероятность аварийного останова котла.

Распространенным способом регулирования скорости асинхронного электродвигателя в настоящее время является частотное управление, которое осуществляется преобразователями частоты, путем регулирования

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

напряжения и частоты питающего двигателя напряжения, что дает возможность плавного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя, плавный пуск и останов. Вследствие этого стало возможным применения регулируемых асинхронных электроприводов там, где раньше применялись нерегулируемые привода, или регулируемые привода постоянного тока. Успешное внедрение частотных преобразователей для решения различных технологических задач, объясняется в первую очередь широким распространением асинхронных электродвигателей (до 90% рынка), отличающихся простотой конструкции, высокой надежностью, дешевизной, т.д.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

2 ОПИСАНИЕ МОДЕРНИЗИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ

2.1 Описание котла

Котел водогрейный КВГМ-30 в эксплуатацию запущен в апреле 2001 года. Он предназначен для получения горячей воды с температурой до 130°C, используемой в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения промышленного и бытового назначения, а также для технологических целей, и устанавливаются в котельных, оборудованных системой водоподготовки. Котел КВГМ-30 обладает большим количеством контролируемых и управляемых параметров, функционально котел и его оборудование можно разделить на несколько частей:

- система подачи топлива;
- система подачи воздуха;
- горелочные устройства;
- топка;
- система подачи воды;
- барабан котла.

Котел состоит из стального цилиндрического корпуса, внутри которого расположен циркуляционный контур, снаружи корпуса закреплен газоотводящий короб, снизу к корпусу крепится охлаждаемая циклонная топка. Верхнее отверстие корпуса закрыто охлаждаемой крышкой. Снаружи корпус котла обшит листом, между которым и стенкой корпуса проложен теплоизолирующий материал. Внешний вид котла представлен на рисунке 2.1.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10



Рисунок 2.1 – Внешний вид котла КВГМ-30

Топочная камера имеет горизонтальную компоновку, экранирована трубами, входящими в коллекторы. Конфигурация камеры в поперечном разрезе напоминает профиль железнодорожного габарита, который представлен на рисунке 2.2.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

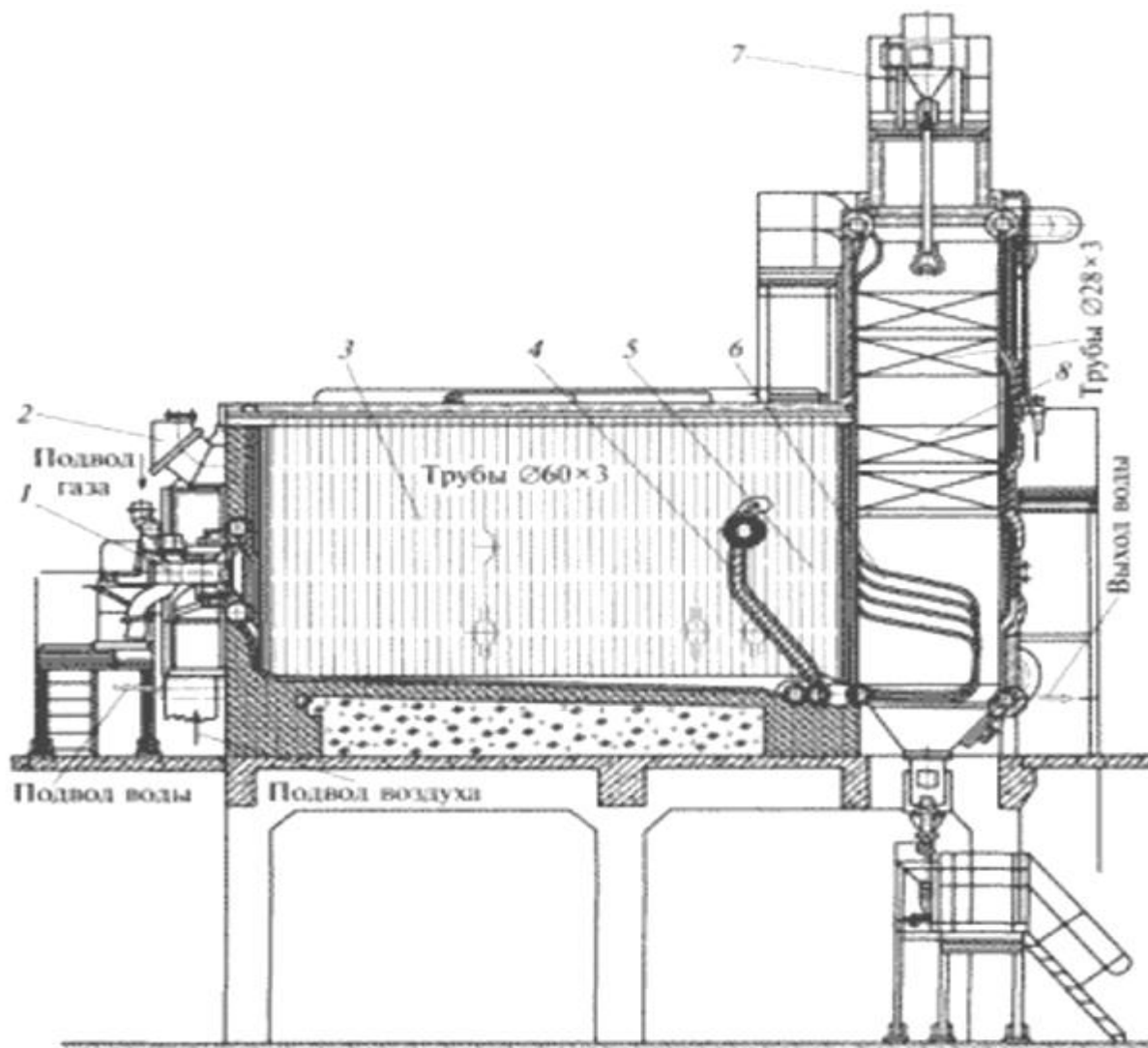


Рисунок 2.2 – Котел КВГМ-30 в поперечном разрезе

На рисунке 2.2 цифрами обозначено:

- 1 – низкоэффективная газомазутная горелка;
- 2 – взрывной клапан;
- 3 – топочная камера;
- 4 – промежуточный экран;
- 5 – камера догорания;
- 6 – фестон;
- 7 – установка дробеочистки;
- 8 – конвективная поверхность нагрева.

Конвективная поверхность нагрева отопительного котла 8 включает в себя два конвективных пучка труб и расположена в вертикальной шахте с полностью экранированными стенами. Конвективные пучки набраны из U-образных ширм, расположенных в шахматном порядке, выполненных из труб Ø28 х 3 мм. Задняя и передняя стены шахты отопительного котла экранированы вертикальными трубами Ø60х3 мм, боковые стены — трубами Ø85х3 мм, которые служат стояками для ширм конвективных пакетов.

Передняя стена шахты, являющаяся одновременно задней стеной топки, выполнена цельносварной. В нижней части стены трубы разведены в четырехрядный фестон 6. Трубы, расположенные на передней, боковой и задней стенах конвективной шахты отопительного котла, вварены в коллекторы Ø219х10 мм.

Продукты горения отопительного котла из топки проходят в камеру догорания 5, далее через фестон в конвективную шахту и из нее через отверстие в верхней части покидают котел. Для очистки конвективных поверхностей предусмотрена установка дробеочистки 7.

Котел КВГМ-30 имеет теплопроизводительность 30 Гкал/ч. Он оборудован вентилятором для подачи воздуха в топку и дымососом для отвода отработавших газов мощностью 75 и 55 кВт соответственно. [2]

Котел имеет следующие режимы функционирования:

- розжиг;
- основной режим;
- останов.

Основные характеристики установленного на котельной котлоагрегата серии КВГМ-30 показаны в таблице 2.1. В данном случае котел работает только на топливе в виде газа. Технические характеристики котла указаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики котла КВГМ-30

Наименование величины	Единица измерения	Значение
Номинальная теплопроизводительность	Гкал/час	30
Расход воды	т/час	370
Расход топлива:		
газ	м ³ /час	3680
мазут	кг/час	3490
Температура уходящих газов		
газ	°С	130
мазут	°С	250
КПД при номинальной нагрузке		
на газе	%	91,2
на мазуте	%	87,7
Гидравлическое сопротивление котла	кгс/м ²	19000
Давление воды расчетное	кгс/см ²	25
Видимое теплонапряжение топочного объема		
газ	ккал/м ³ час	551'103
мазут	ккал/м ³ час	480'103

2.2 Описание работы котла

На рисунке 2.3 показана упрощенная схема водогрейного котла КВГМ - 30 котельной.

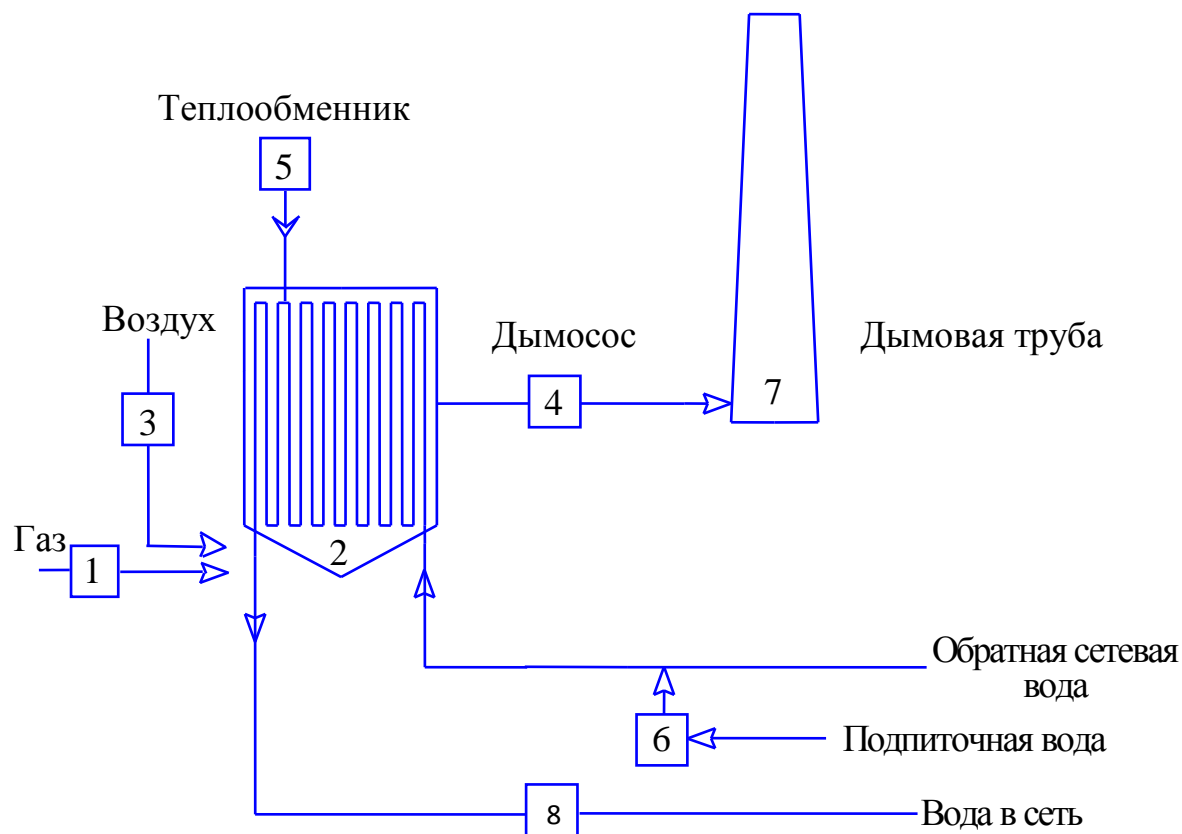


Рисунок 2.3 – Упрощенная схема водогрейного котла КВГМ-30

На рисунке 2.2 цифрами обозначено:

- 1 – узел топливоподачи;
- 2 – водогрейный котел;
- 3 – вентилятор;
- 4 – дымосос;
- 5 – теплообменник;
- 6 – насос подпитки;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ

Лист

15

7 – дымовая труба;

8 – сетевой насос.

Подача топлива осуществляется через узел топливоподачи 1 в топку водогрейного котла 2, где происходит его сгорание. Для обеспечения процесса горения топлива в топку подается воздух. Подача воздуха осуществляется с помощью вентилятора 3. При помощи дымососа 4 отработанные газы удаляются через дымовую трубу 7, которая создает тягу и отвод газов в атмосферу.

Нагрев воды происходит до 130°C в теплообменнике 5, который расположен в топке водогрейного котла, и далее при помощи сетевого насоса 8 вода подается в сеть теплоснабжения. Обратная сетевая вода возвращается в теплообменник. Недостаток воды в системе восполняется насосом подпитки 6.

Анализ режимов работы показал, что наиболее сложным с точки зрения управления является основной режим с динамически изменяющимися нагрузками и исправность котла во многом зависит от уровня давления пара и количества воды в теплоносителе. Существующая система управления водогрейным котлом является релейно-контакторной и как следствие имеет низкое быстродействие, в результате чего возникают наиболее частые отклонения параметров от номинальных режимов и работе на предельных значениях, что приводит к неисправностям котла.

В связи с тем, что существующая система управления не соответствует современным требованиям к точности поддержания температурного режима теплоносителя, подаваемого в сеть с требуемой точностью, предлагается техническая модернизация котельной установки с целью повышения ее энергоэффективности, повышения точности поддержания температурного режима теплоносителя. [2]

Более подробная схема работы котла КВГМ-30 приведена на рисунке 2.4.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

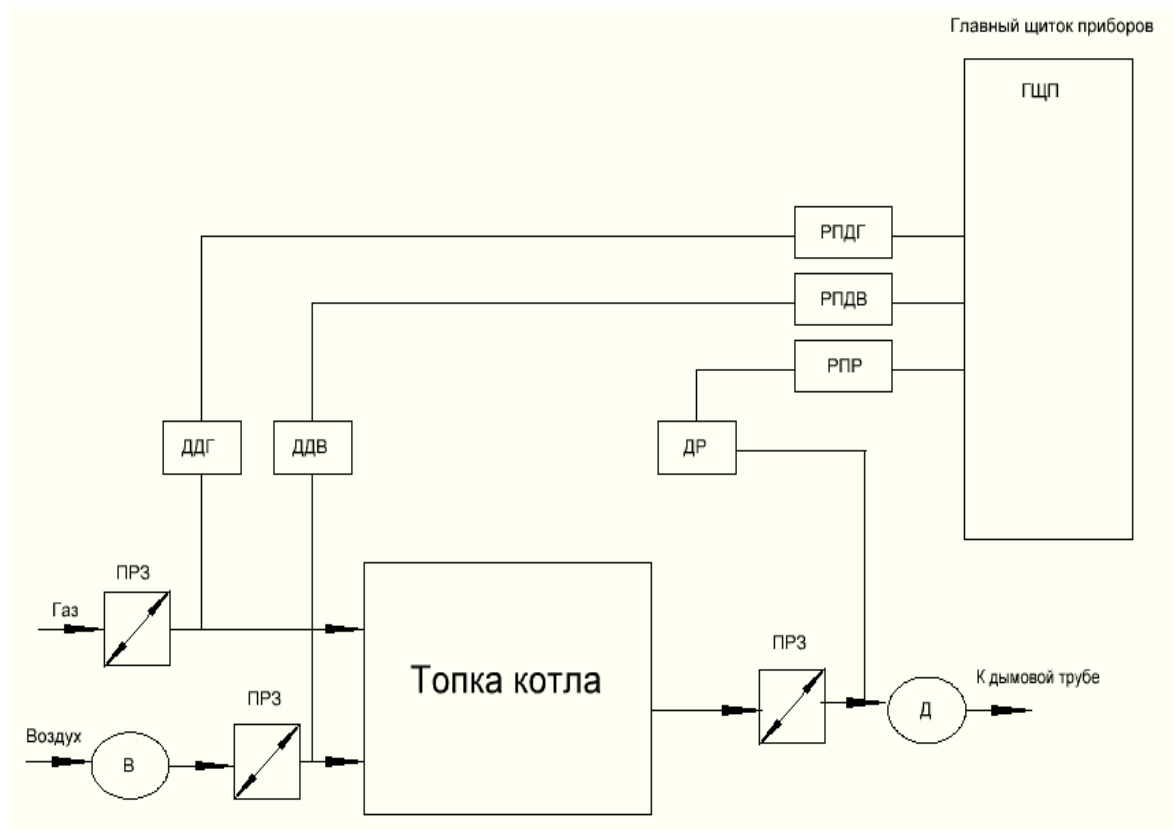


Рисунок 2.4 – Принцип регулирования параметров котла КВГМ-30

На рисунке 2.2 обозначено:

ПРЗ – поворотная регулирующая заслонка;

В – двигатель вентилятора;

Д - двигатель дымососа;

ДДГ – датчик давления газа;

ДДВ – датчик давления воздуха;

ДР – датчик разряжения;

РПДГ – регистрирующий прибор давления газа;

РПДВ – регистрирующий прибор давления воздуха;

РПР – регистрирующий прибор разряжения.

Основной задачей котельной установки является отопление жилых и производственных помещений. Температура внутри этих помещений должна поддерживаться постоянной в пределах $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ градусов независимо от температуры наружного воздуха.

Чтобы постоянно поддерживать нужную температуру в помещениях оператор должен соблюдать температурный режим согласно режимной карты, по одному из графиков, приведенных на рисунке 2.5.

(Алгоритм выбора графика приведен ниже), для этого должна изменяться температура теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха посредством регулирования температуры теплоносителя в котле. Для получения информации о температуре наружного воздуха, снаружи котельной установлен датчик температуры, а на отходящей трубе теплоносителя в сеть потребителям установлен датчик температуры теплоносителя.

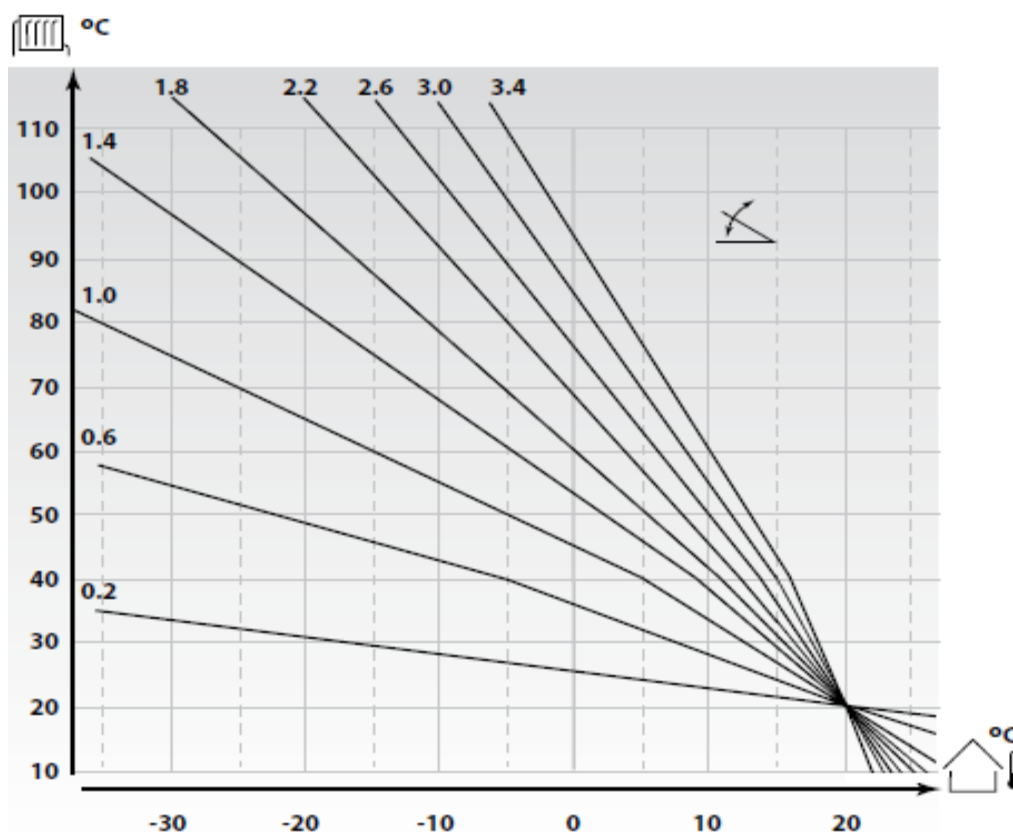


Рисунок 2.5 – Зависимость требуемой температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха

Регулировка температур производится на основании этих показаний путем изменения давления газа в горелке.

Ориентировочная зависимость давления газа от температуры теплоносителя в горелке котла приведена на рисунке 2.6.

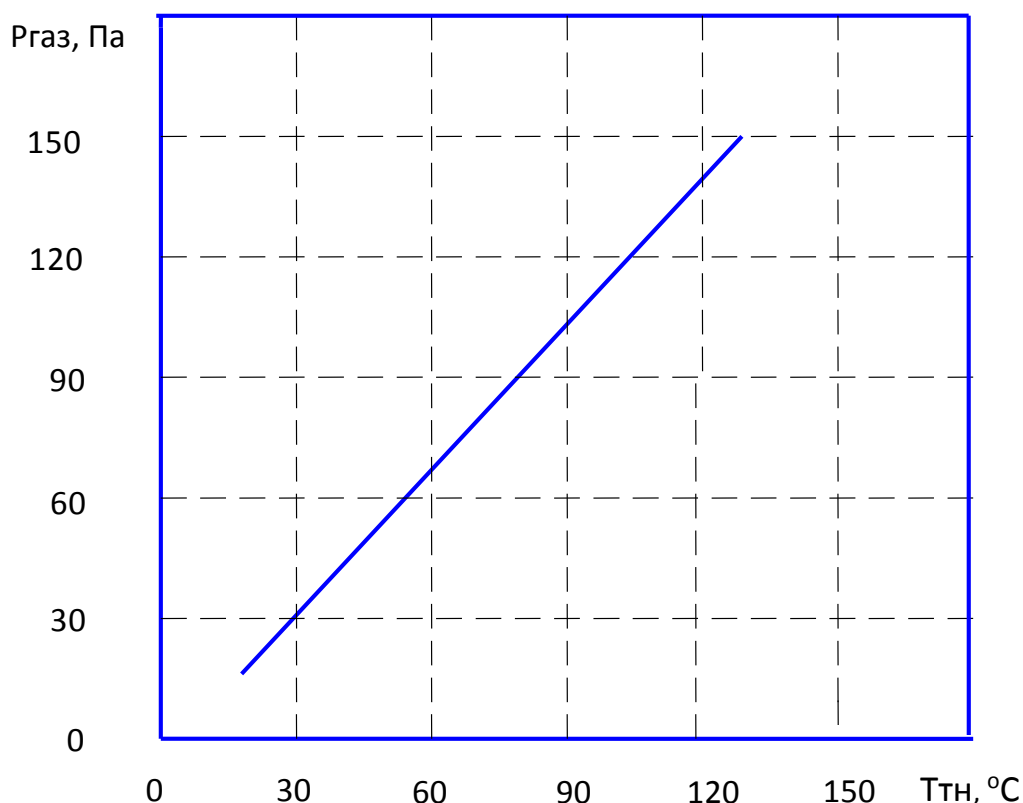


Рисунок 2.6 – Зависимость давления газа от температуры теплоносителя

Рабочим топливом для данного котла является природный газ. Подача топлива в топку котла осуществляется оператором при помощи поворотной регулируемой заслонки (ПРЗ). Для подачи необходимого объема газа в топку котла перед поворотной регулируемой заслонкой установлен датчик давления газа (ДДГ), который выводит показания на главный щиток приборов и на который визуальнo ориентируется оператор.

Химическая сторона горения природного газа представляет собой реакцию окисления горючих элементов молекулами кислорода, следовательно требуется подача кислорода (воздуха) в область горения.

Подача воздуха в топку котла КВГМ-30 осуществляется при помощи электрического вентилятора, приводимого в действие асинхронным двигателем мощностью 75 кВт. Двигатель вентилятора постоянно работает в своем номинальном режиме с постоянной скоростью 940 об/мин.

Для оптимального сжигания газа в топку котла требуется подавать необходимый объем воздуха. Соотношение газ - воздух составляет примерно 1:10, его график показан на рисунке 2.7.

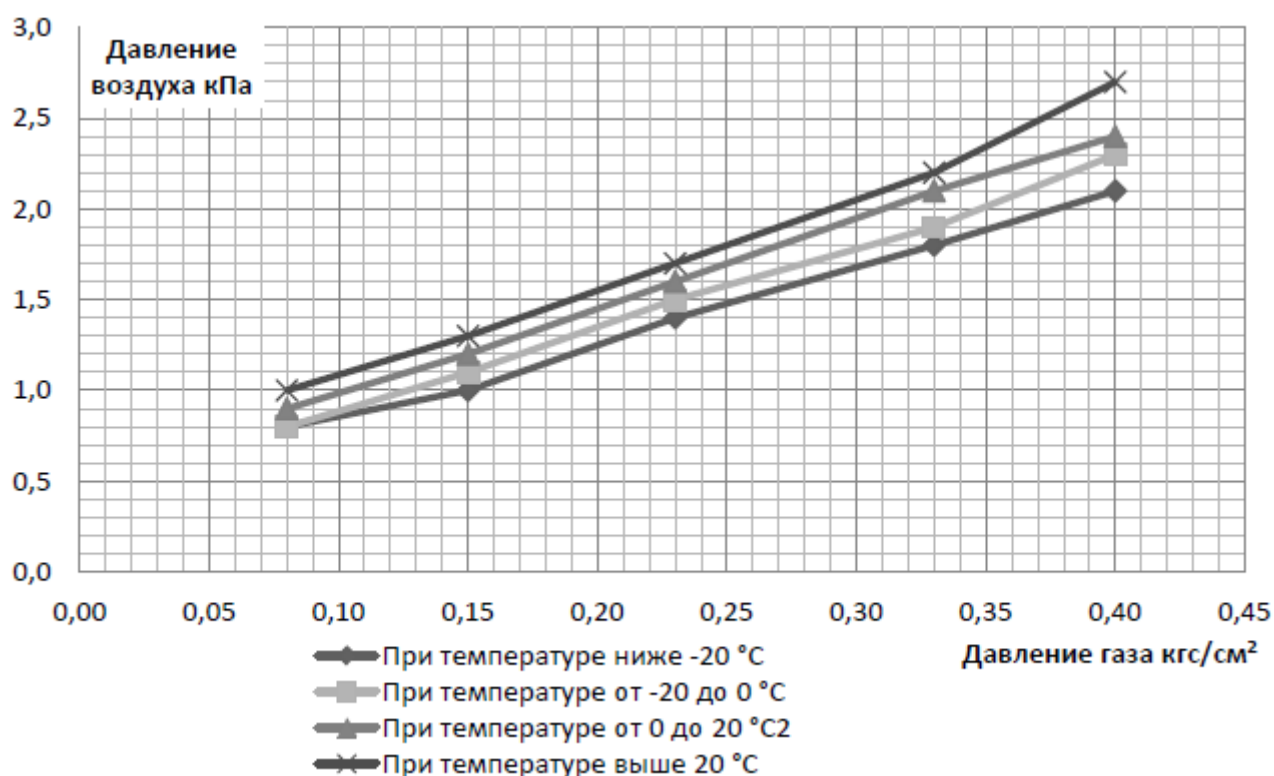


Рисунок 2.7 – Зависимость давления воздуха от давления газа

Так как двигатель вентилятора постоянно работает с одной и той же частотой, оператору приходится вручную регулировать подачу воздуха в топку котла поворотной – регулируемой заслонкой (ПРЗ) в виде дросселя. Для поддержания соотношения газ – воздух после поворотной-регулируемой заслонкой (ПРЗ) установлен датчик давления воздуха – манометр (ДДВ), который выводит информацию на главный щиток приборов.

Для поддержания оптимального процесса горения в топке должно быть создано разрежение. Если оно будет недостаточным, то возможно погасание пламени, если слишком велико, то возможен отрыв пламени от горелки.

Разрежение регулируется в зависимости от угла открытия заслонки изменением производительности дымососа.

Его график показан на рисунке 2.8.

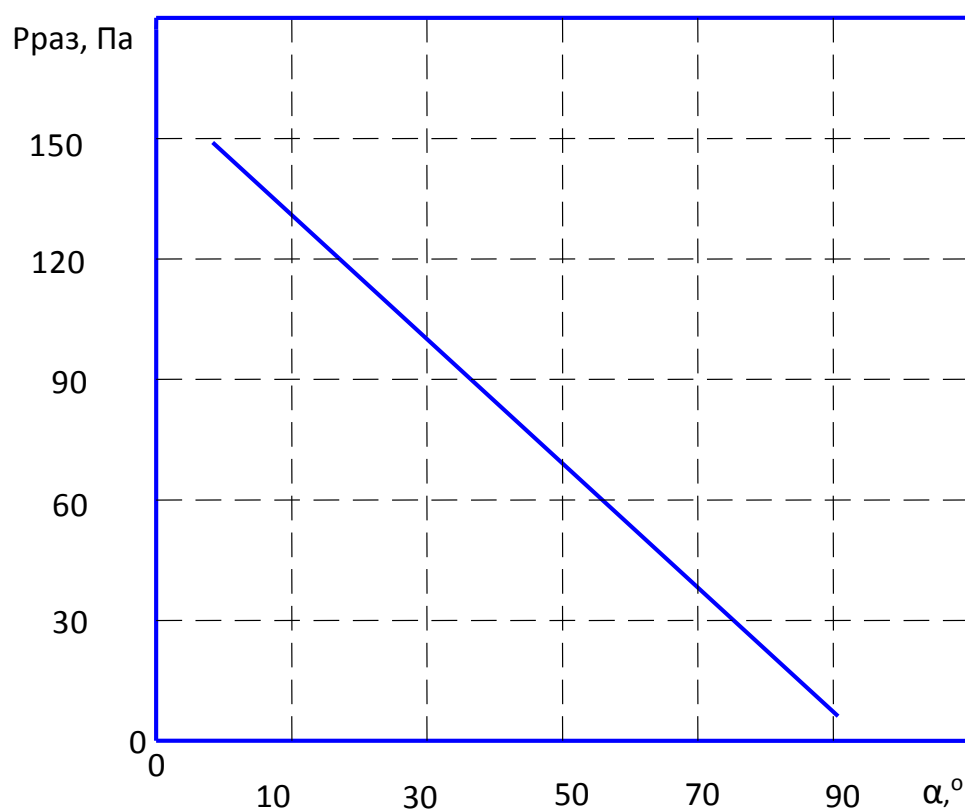


Рисунок 2.8 – Зависимость давления разрежения от угла открытия заслонки

При недостатке воздуха в топочной камере происходит неполное сгорание топлива, и несгоревший газ выбрасывается в атмосферу, что ведет к снижению экологических характеристик котельной и нерациональному использованию топлива. Избыточная же подача воздуха в топочную камеру приводит к полному сгоранию топлива.

Однако при этом происходит охлаждение топки, что также снижает эффективность агрегата. Кроме того, остатки кислорода и азот, присутствующий в воздухе, будут образовывать двуокись азота, что также недопустимо, поскольку это соединение вредно для человека и окружающей среды.

Поэтому регулирование подачи воздуха для сжигания топлива необходимо как с технологической точки зрения, так и с экономической.

Также нужен отвод отработавших газов из топки котла дымососом. Для этого установлен вентилятор, приводимый в действие асинхронным двигателем мощностью 55 кВт, который также работает с номинальной скоростью 940 об/мин. Дымосос создает разрежение, необходимое для отвода отработавших газов в тех случаях, когда не хватает естественной тяги в дымовой трубе. Вместе с тем отсутствие разрежения в топке может привести к обгоранию горелок в нижней части котла, вследствие чего газо-воздушная смесь из топки может проникать в помещение цеха, что сделает невозможной работу обслуживающего персонала. Таким образом, создание и поддержание разрежения в топке котла является необходимым условием для поддержания нормального горения. Чтобы разрежение поддерживалось в пределах требуемых значений, оператор регулирует поворотно-регулируемую заслонку (ПРЗ) в соответствии с графиком, приведенным на рисунке 2.8 по показаниям датчика разрежения (ДР), который установлен после ПРЗ.

Работа котла КВГМ-30 должна тщательно контролироваться. Контролю подлежат те параметры, по значениям которых осуществляется оперативное управление технологическим процессом, а также его пуск и остановка. Обязательному контролю подлежат параметры, значения которых регламентируются технологической картой:

- температура теплоносителя;
- давление воздуха;
- разрежение в топке котла;

Кроме регулируемых параметров контролю подлежат следующие:

- расход газа;
- давление воздуха после дутьевого вентилятора;
- давление газа;
- разряжение перед дымососом;
- наличие пламени.

Контроль расхода газа и расхода воды необходим для расчета технико-экономических показателей.

Контроль давления воздуха после дутьевого вентилятора необходим для определения работы вентилятора. Понижение давления воздуха происходит в случае отключения вентилятора. Так как в момент отключения вентилятора воздух в топку не поступает, разряжение увеличивается, происходит отрыв факела.

Понижение давления газа ниже допустимого приводит к погасанию факела. Поэтому давление топлива необходимо контролировать. При погасании факела, топка котла и помещение заполняются газом, и может произойти взрыв. Для предотвращения этого предусмотрен контроль по наличию пламени в топке котла. Сигнализации подлежат все параметры, изменения которых могут привести к аварии, несчастным случаям или серьезному нарушению технологического режима.

К ним относятся:

- повышение температуры теплоносителя;
- понижение и повышение давления газа;
- наличие пламени;
- понижение давления воздуха;
- повышение разряжения дымовых газов;
- понижение расхода газа;

Котел подлежит защите при отклонении следующих параметров:

- повышение температуры теплоносителя;
- понижение давления воздуха;

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

- повышение или понижение давления газа;
- уменьшение разряжения в топке котла;
- погасание факела в топке котла.

Защита заключается в автоматическом прекращении подачи топлива при отклонении любого из вышеперечисленных параметров за границы допустимых значений.

Из-за устаревшего оборудования оператор не может стабильно поддерживать требуемое соотношения газ-воздух. При функционировании котла наблюдаются неравномерность соотношения газ-воздух.

Как видно из описания, для нормальной устойчивой работы котла КВГМ-30 необходимо постоянное вмешательство оператора. Ему необходимо непрерывно наблюдать за процессами, происходящими в котельной, и при помощи поворотно-регулируемых заслонок поддерживать требуемые параметры процессов в соответствии с режимной картой. Это приводит к запоздалой реакции на изменения параметров системы, кроме того усталость оператора может привести к возможным ошибкам и повышает аварийную ситуацию на рабочем месте. Также не соблюдается режимная карта, которая необходима для оптимальной работы всей системы отопления жилых и производственных помещений.

В связи с этим снижение эксплуатационных затрат возможно при использовании системы автоматического управления: установка ПЛК, который будет заменять человека и будет быстрее и точнее регулировать все параметры в соответствии с режимной картой; установка ПЧ (преобразователей частоты) на двигатели вентилятора подачи воздуха и дымососа с целью повышения их энергоэффективности, установка УМП (устройство мягкого пуска) на сетевые и подпиточные насосы с целью предотвращения гидроударов, возникающих при пуске этих двигателей, которые могут повредить трубы и оборудование.

Вывод по разделу: Настройки давления газа, давления воздуха, разряжения в топке котла осуществляет оператор котла. Так как система управления водогрейным котлом является ручной, в результате чего возникают частые отклонения параметров от номинальных режимов. В связи с этим существующая система управления не позволяет стабилизировать температурный режим отходящей теплоносителя с требуемой точностью, и при регулировке параметров показания отклоняются от нормы на 10-20%, а это в свою очередь влечет перерасход электрической энергии и газа.

Двигатели, установленные на вентиляторе и дымососе котла полностью соответствуют предъявляемым к ним требованиям, и их замена не целесообразна.

Асинхронные двигатели, установленные на вентиляторе и дымососе имеют марки АМН250М6У3 (вентилятор) и АЛР35556У3 (дымосос).

Паспортные данные двигателя вентилятора котла КВГМ-30 приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Паспортные данные двигателя асинхронного АМН250М6У3

Наименование характеристики	Значение характеристики
Напряжение, В	380
Мощность, кВт	75
Синхронная частота вращения, об/мин	1000
Род тока	Переменный
Сила тока, А	150,2
$\cos\varphi$	0,82
$\eta, \%$	92,5
$M_{\text{макс}} / M_{\text{н}}$	2,5
Номинальная частота вращения, об/мин	940

Паспортные данные двигателя дымососа котла КВГМ-30 приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Паспортные данные двигателя асинхронного АЛР35556У3

Наименование характеристики	Значение характеристики
Напряжение, В	380
Мощность, кВт	55
Синхронная частота вращения, об/мин	1000
Род тока	Переменный
Сила тока, А	288,0
$\cos\varphi$	0,9
$\eta, \%$	94,0
$M_{\text{макс}} / M_{\text{н}}$	2,5
Номинальная частота вращения, об/мин	940

2.3. Выбор кривой графика температуры теплоносителя

Температура теплоносителя, подаваемого в сеть должна зависеть от наружной температуры (температура вне помещения), согласно графику, приведенному на рисунке 2.5. Температурный график, по которому регулируется котел КВГМ-30 имеет 9 кривых. Шаг между этими кривыми составляет 0,4.

Для выбора оптимальной кривой графика нужно руководствоваться месторасположением котельной, а именно: в каком регионе находятся отапливаемые объекты, какая средняя температура зимой. К региону, где установлен котел КВГМ-30, приведена таблица 2.4 с указанием средних температур по месяцам.

Также требуется руководствоваться количеством людей, которые постоянно находятся, проживают в данных отапливаемых помещениях, степенью теплоизоляции зданий, мощностью и количеством установленных радиаторов отопления.

Таблица 2.4 – Средние температуры по месяцам

	Мелеуз	Янаул	Уфа	Дуван	Верхние Киги	Республика, Область, край
	-16,1	-18,6	-15,5	-20,3	-23,9	Январь
	-14,4	-17,6	-13,9	-18,7	-20,4	Февраль
	-6,3	-8,1	-9,2	-10,8	-12,6	март
	6	5	2	0	0,7	Апрель.
	13,5	12,7	12,4	11,9	10,4	Май
	23,7	23,5	24,2	22,6	20,1	Июнь
	24,8	24,3	23,9	23,4	22,0	Июль
	24,2	23,8	23,1	21,9	21,2	Август
	18,6	18,3	17,1	16,4	15,7	Сентябрь
	2,1	1,9	1,6	1	0,7	Октябрь
	-10,8	-10,5	-11,9	-12,2	-13,8	Ноябрь
	-18,6	-18,7	-19,9	-19,2	-20,6	Декабрь
	0,7	0,8	1	0,9	0,6	Годовой

2.4. Выбор коэффициента рассеивания

Коэффициент рассеивания модифицируется в диапазоне от 0,2 – для хорошо изолированных зданий, до 3,4 – для зданий, которые излучают тепло в окружающее пространство (плохо изолированные здания).

В соответствии с нижеприведенными таблицей 2.5 можно простым способом определить оптимальную отопительную кривую для данного объекта.

Для данного отапливаемого региона выбрана кривая 1.0, так как отходящая магистраль и отапливаемые помещения хорошо теплоизолированы.

Таблица 2.5 – Выбор коэффициента рассеивания

Коэффициент рассеивания	Потери тепла (Вт/м ³)	Тепловое сопротивление стен R (м ² К/Вт)	Соответствующая толщина стены (см)			
			Кирпич полнотелый	Кирпич поперечно- дырчатый	Бетон	Итонг (Hebel) (газосиликат)
0,2	<15	>2,9	>250	>180	>377	>50
0,3-0,6	15-20	2,9-2,2	250-190	180-136	377-290	50-38
0,7-1,0	21-25	2,2-1,7	190-146	136-105	290-220	38-29
1,1-1,5	26-30	1,7-1,5	146-129	105-93	220-190	29-26
2,3-2,6	31-35	1,5-1,2	129-100	93-75	190-160	26-21
2,7-3,0	36-40	1,2-1,05	100-90	75-65	160-140	21-18
3,1-3,3	41-45	1,05-0,95	90-80	65-59	140-120	18-16
3,4	>45	<0,95	<80	<59	<120	<16

Продолжение таблицы 2.5

Коррекция толщины стены при использовании различных изоляционных материалов (см)				
штукатурка перлитовая	+13	+9	+20	+2,5
полистирол (Orsil) 3см	+50	+37	+77	+10
полистирол (Orsil) 5см	+85	+60	+127	+17
полистирол (Orsil) 7см	+118	+85	+178	+23

3 АЛГОРИТМ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА

3.1 Алгоритм работы оператора вручную

Оператор должен поддерживать постоянной температуру внутри отапливаемых помещений в пределах $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Для этого он должен следить за температурой теплоносителя в котле, ориентируясь на температуру наружного воздуха. В связи с этим у оператора имеется режимная карта-график, которая изображена на рисунке 2.5.

Структурная схема описания алгоритма работы оператора приведена на рисунке 3.1.

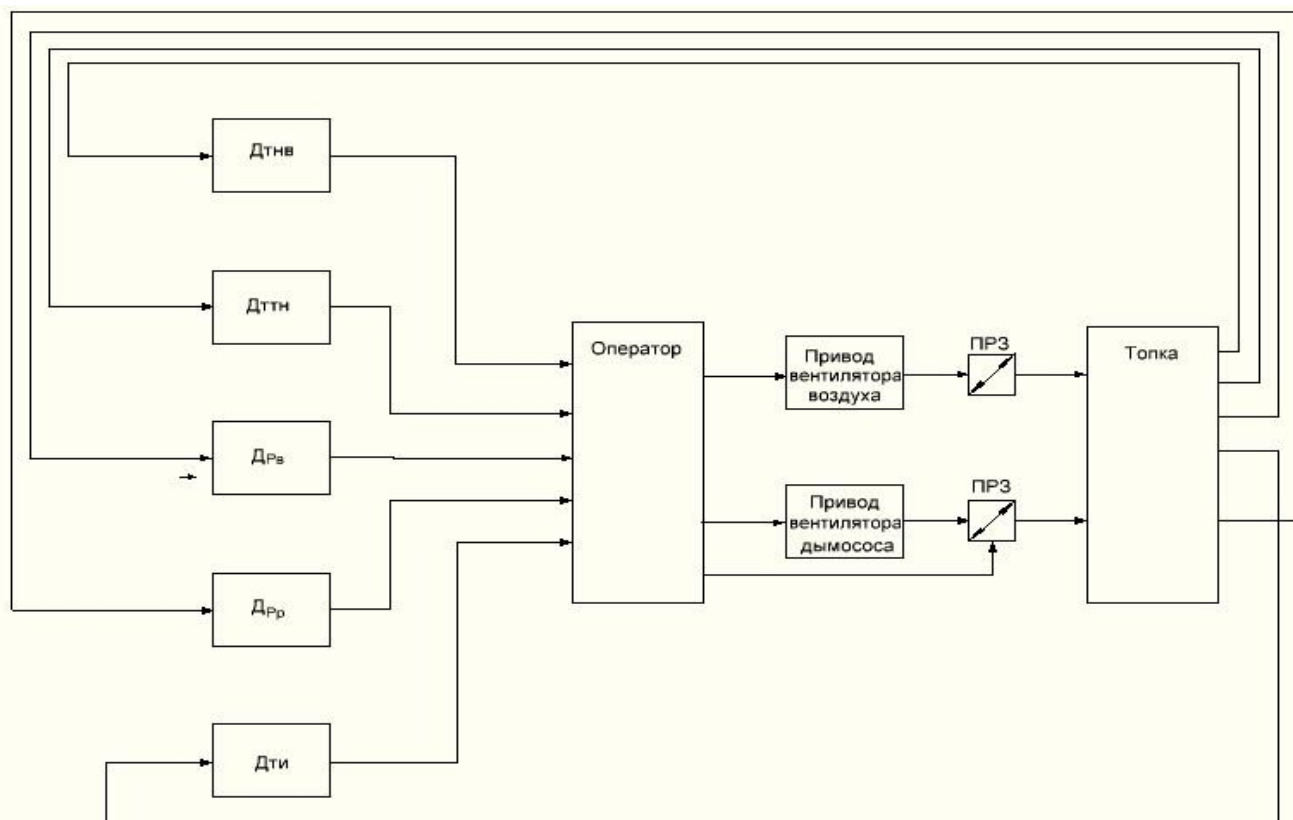


Рисунок 3.1 – Структурная схема описания алгоритма работы оператора

Зависимости от температуры наружного воздуха, которые должен выполнять оператор показаны на рисунке 3.2.

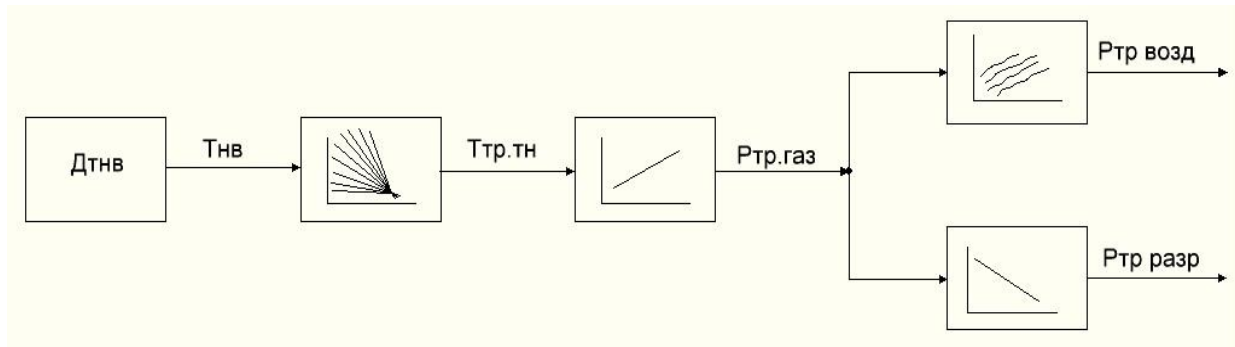


Рисунок 3.2 – Зависимости от температуры наружного воздуха, которые должен выполнять оператор

Чтобы регулировать температуру теплоносителя в котле оператор смотрит на термометр, который показывает температуру наружного воздуха. Показания на этот прибор приходят от датчика температуры наружного воздуха, который установлен на улице. Ориентируясь на режимную карту-график (см. рис. 2.5) зависимости требуемой температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха оператор регулирует подачу газа в топку котла. Для подачи нужного давления газа оператор руководствуется графиком зависимости давления газа от температуры теплоносителя, изображенном на рисунке 2.6 и показанием манометра. Чтобы подать газ в топку котла оператор воздействует на поворотную-регулируемую заслонку (ПРЗ), перед которым для контроля установлен датчик давления газа (ДДГ). Также в топку котла КВГМ-30 оператор подает определенный объем воздуха, необходимого для полного сгорания газа, ориентируясь на график зависимости давления воздуха от давления газа, который изображен на рисунке 2.7. Поворотной-регулируемой заслонкой (ПРЗ) оператор поддерживает соотношение «газ-воздух» 1:10, а контролирует все это датчиками давления воздуха (ДДВ) и давления газа (ДДГ) – манометрами. Для нормальной работы котла КВГМ-30 и отвода отработавших газов через дымовую трубу в топке котла должно быть создано разрежение, которое контролируется оператором по датчику давления разрежения (ДДР) и при помощи открытия/закрытия заслонки поддерживает его в соответствии с графиком зависимости давления разрежения.

Данный график приведен на рисунке 2.8.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Разряжение регулируется открытием/закрытием на определенный угол поворотно-регулируемой заслонки и контролируется датчиком разряжения, который установлен после него. Все эти операции контроля и слежения за графиками и датчиками, управление приводами заслонок оператор производит вручную.

Вследствие того, что оператору требуется за всем этим процессом следить и регулировать одновременно, и так как присутствует большая инерционность системы регулирования, то существует большая вероятность ошибок и неточности ручного регулирования. Оператор не в состоянии с точностью по режимной карте поддерживать все параметры, что приводит к перерасходу энергоресурсов и износу оборудования, а также очень большая вероятность аварий.

Для более энергоэффективной, безопасной, точной и быстрой работы всей системы регулирования было решено автоматизировать работу оператора посредством модернизации, а именно: установкой преобразователей частоты на привода вентиляторов асинхронных двигателей, установкой программируемого логического контроллера ПЛК. Это позволит существенно снизить эксплуатационные расходы: повысится срок службы асинхронных двигателей, понизится износ оборудования, повысится точность и быстрота регулирования.

Чтобы разработать алгоритм автоматизации на предприятии и модернизировать работу системы регулирования котла КВГМ-30, в первую очередь ее нужно опробовать на модели. Для этого разработаны модели узлов наиболее важных элементов. Структурная схема модели узлов на микроконтроллере показаны на рисунке 3.3.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

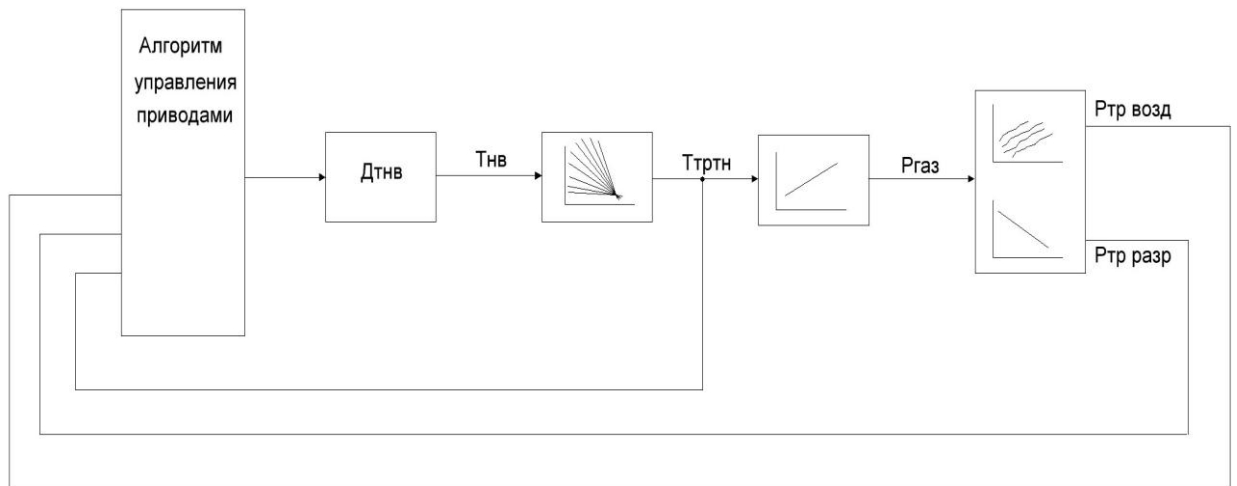


Рисунок 3.3 – Структурная схема описания алгоритма управления приводами микроконтроллером

4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ К КОТЛЕ

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

4.1 Описание автоматизации

В автоматизации выделим две главные задачи – автоматизация выбора требуемых задающих величин $T_{тр.тн}$, $P_{газа}$, $P_{возд}$ и тех переменных, которые задаются специальными картами и разработку алгоритма управления электроприводами вентиляторов. Разработка оптимального алгоритма управления – это очень сложная задача, поскольку требуется разработать алгоритм одновременного управления двумя механизмами – газом, воздухом и горелкой. Поэтому нужно разработать модель системы управления котлом. Целью данного диплома является разработка структуры комплекса и моделей для наиболее важных узлов электроприводов, насосов и устройств формирователей заданий регулируемых величин: температуры, давлений.

4.2 Разработка моделей автоматизации

Рассмотрим модель формирования температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха на рисунке 4.1. Рабочая карта приведена на рисунке 2.5. Зависимости могут быть аппроксимированы участками линейных графиков вида:

$$T_{тр.тн} = -K_1 \times T_{нв} + A_1, \quad (1)$$

где K_1 и A_1 – постоянные величины, подбираются для конкретных условий;

K_1 – угол кривой, который определяется коэффициентом рассеивания;

A_1 – смещение, которое определяется коэффициентом рассеивания.

$$T_{тн} = T_{нв} \frac{45^0}{30^0} + 45^0 = -T_{нв} \cdot 1,5 + 45^0. \quad (2)$$

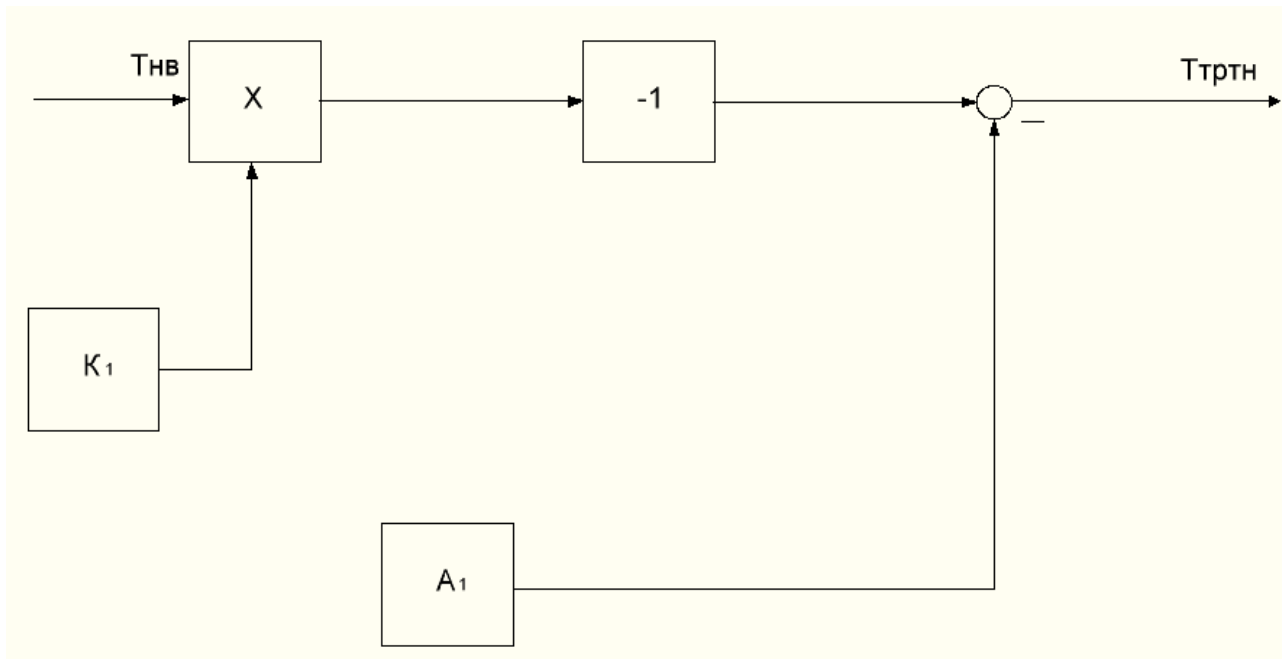


Рисунок 4.1 – Модель зависимости требуемой температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха

Модель регулирования давления газа от температуры теплоносителя показана на рисунке 4.2. Рабочая карта приведена на рисунке 2.6. Зависимости могут быть аппроксимированы участками линейных графиков вида:

$$P_{\text{газа}} = T_{\text{тр.тн}} \times K_2 - A_2, \quad (3)$$

где K_2 и A_2 – постоянные величины, подбираются для конкретных условий;
 K_2 – угол кривой, который определяется из соответствующих графиков;
 A_2 – смещение, которое определяется из соответствующих графиков.

$$P_{\text{газа}} = T_{\text{тн}} \frac{140\text{Па}}{120^0} - 5 = \frac{7}{6} T_{\text{тн}} - 5 \quad (4)$$

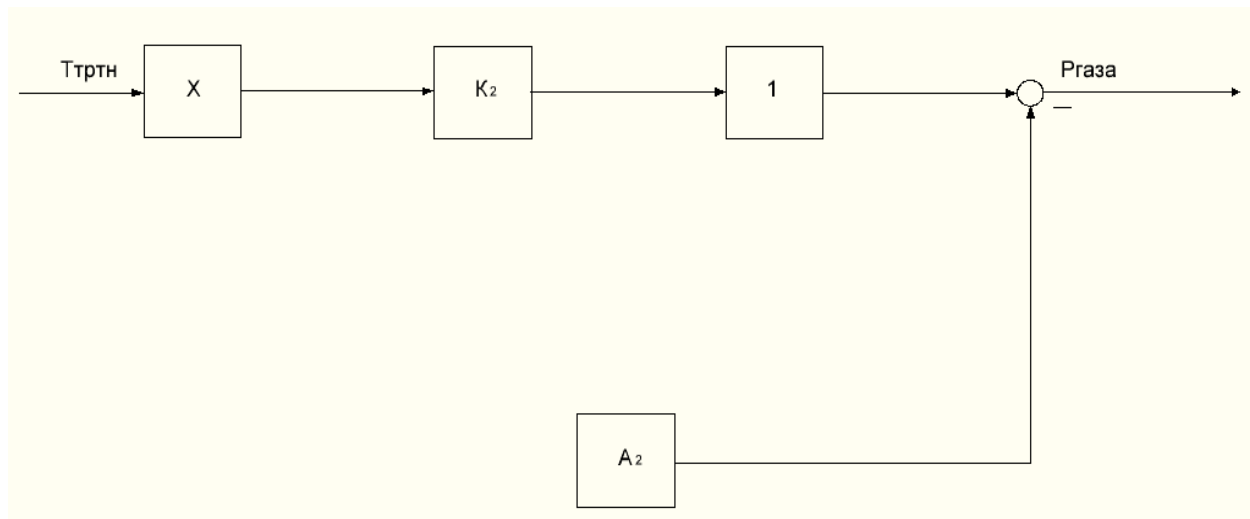


Рисунок 4.2 – Модель зависимости давления газа от требуемой температуры теплоносителя

Следующая модель показывает соотношения давления газа и давления воздуха при разных температурах наружного воздуха. Рабочая карта приведена на рисунке 2.7. Зависимости могут быть аппроксимированы участками линейных графиков вида:

$$P_{\text{возд}} = K_3 \times P_{\text{газа}} + A_3 - \text{при } T \leq -20^{\circ}\text{C}; \quad (5)$$

$$P_{\text{возд}} = K_4 \times P_{\text{газа}} + A_4 - \text{при } -20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}; \quad (6)$$

$$P_{\text{возд}} = K_5 \times P_{\text{газа}} + A_5 - \text{при } 0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 20^{\circ}\text{C}; \quad (7)$$

$$P_{\text{возд}} = K_6 \times P_{\text{газа}} + A_6 - \text{при } T \geq 20^{\circ}\text{C}, \quad (8)$$

где $K_3 - K_6$ и $A_3 - A_6$ – постоянные величины, подбираются для конкретных условий.

$K_3 - K_6$ – углы кривых, которые определяются из соответствующих графиков;

$A_3 - A_6$ – смещения, которые определяются из соответствующих графиков.

$$P_{\text{возд}} \begin{cases} P_{\text{газа}} \cdot K_3 + A_3; & \text{при } T \leq -20^{\circ}\text{C}; & (9) \\ P_{\text{газа}} \cdot K_4 + A_4; & \text{при } -20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}; & (10) \\ P_{\text{газа}} \cdot K_5 + A_5; & \text{при } 0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 20^{\circ}\text{C}; & (11) \\ P_{\text{газа}} \cdot K_6 + A_6; & \text{при } T \geq 20^{\circ}\text{C}. & (12) \end{cases}$$

Его модель на рисунке 4.3.

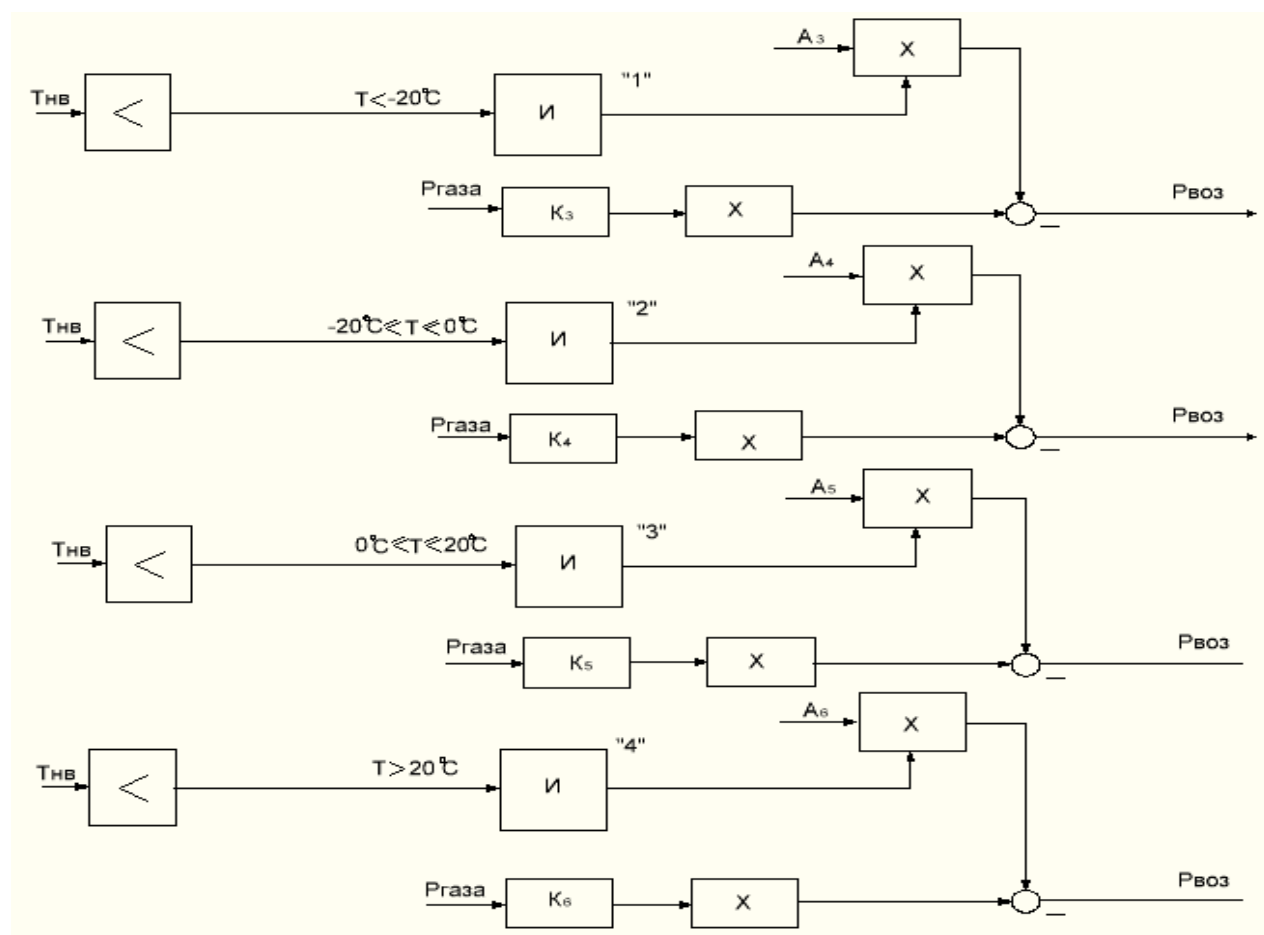


Рисунок 4.3 – Модель зависимости давления воздуха от давления газа

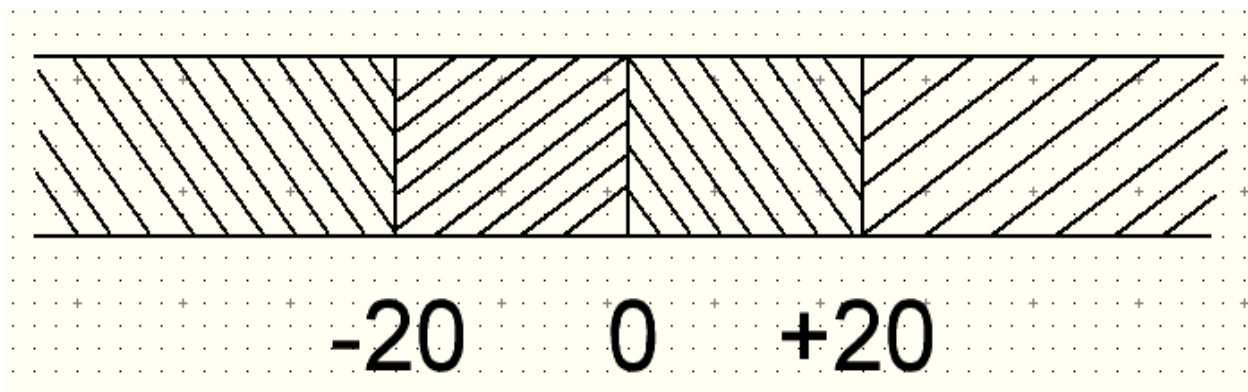


Рисунок 4.4 – Температурные значения

Модель зависимости давления разряжения от угла открытия заслонки на рисунке 4.5. Рабочая карта приведена на рисунке 2.8.

Зависимости могут быть аппроксимированы участками линейных графиков вида:

$$P_{\text{разр}} = -K_7 \times \alpha + A_7, \quad (13)$$

где K_7 – углы кривых, которые определяются из соответствующих графиков;
 A_7 – смещения, которые определяются из соответствующих графиков.

Разряжение в топке котла регулируется оператором вручную углом открытия/закрытия поворотной-регулируемой заслонки.

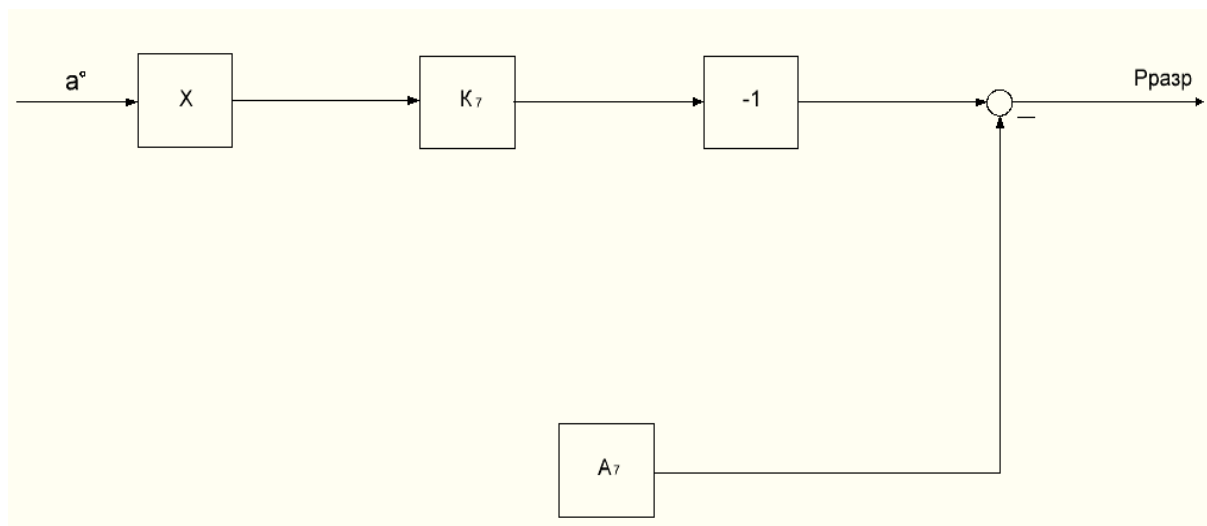


Рисунок 4.5 – Модель зависимости давления разряжения от угла открытия заслонки

Рассмотрим модель работы двигателя вентилятора подачи воздуха.

Блок «двигатель» учитывает механическую инерционность привода, потери в приводе и нагрузку двигателя вентилятора, показан на рисунке 4.7.

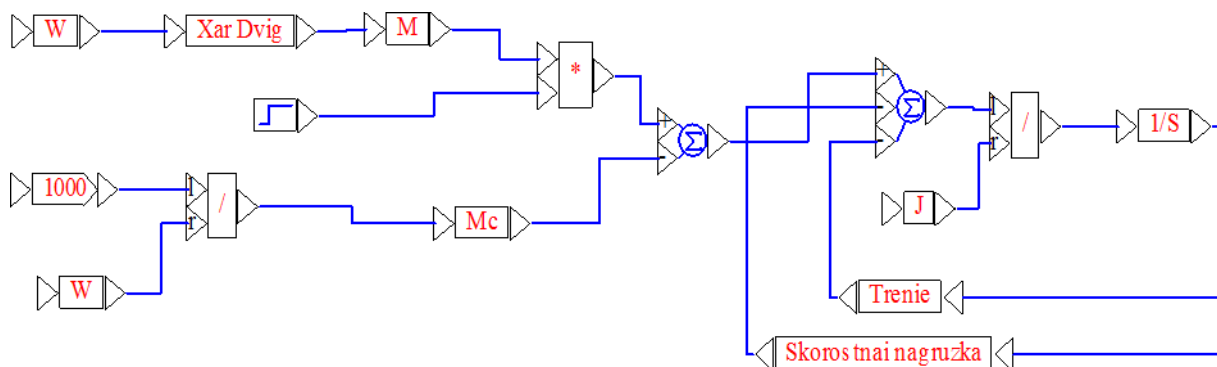


Рисунок 4.6 – Работа блока двигателя вентилятор

Номинальную частоту вращения двигателя вентилятора $\omega_{\text{НОМ.В}}$, рад/с определяется по формуле:

$$\omega_{\text{НОМ.В}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ.В}}}{60}, \quad (14)$$

где $n_{\text{НОМ.В}}$ – номинальная скорость вращения двигателя вентилятора, об/мин.

$$\omega_{\text{НОМ.В}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 940}{60} = 98,4 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя вентилятора находится по формуле

$$M_{\text{НОМ.В}} = \frac{P_{\text{НОМ.В}}}{\omega_{\text{НОМ.В}}}, \quad (15)$$

где $\omega_{\text{НОМ.В}}$ – номинальная угловая скорость вращения двигателя вентилятора, рад/с;

$P_{\text{НОМ.В}}$ – номинальная мощность двигателя вентилятора, Вт. [1]

$$M_{\text{НОМ.В}} = \frac{75000}{102} = 735,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Значение максимального момента двигателя вентилятора $M_{\text{МАХ.В}}$ определяется из соотношения

$$M_{\text{max.v}} = \lambda \cdot M_{\text{ном.v}}, \quad (16)$$

где $M_{\text{ном.v}}$ – номинальный момент двигателя вентилятора, Н·м;

λ – коэффициент.

$$M_{\text{max.v}} = 2,5 \cdot 735,3 = 1838,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное скольжение двигателя вентилятора $s_{\text{ном.v}}$ находится по формуле:

$$s_{\text{ном.v}} = \frac{\omega_{0.v} - \omega_{\text{ном.v}}}{\omega_{0.v}}, \quad (17)$$

где $\omega_{0.v}$ – угловая скорость идеального холостого хода двигателя вентилятора, рад/с.

$$s_{\text{ном.v}} = \frac{104,7 - 98,4}{104,7} = 0,06.$$

Критическое скольжение двигателя вентилятора $s_{\text{к.v}}$ находится из уравнения

$$s_{\text{к.v}} = s_{\text{ном.v}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (18)$$

$$s_{\text{к.v}} = 0,06 \cdot (2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,29.$$

Момент асинхронного двигателя вентилятора рассчитывается по формуле Клосса

$$M_v = \frac{2 \cdot M_{\text{max.v}}}{\left(\frac{s_{\text{ном.v}}}{s_{\text{к.v}}} + \frac{s_{\text{к.v}}}{s_{\text{ном.v}}} \right)}. \quad (19)$$

Для двигателя вентилятора приведенный статический момент $M_{\text{с.v}}$, Н·м

$$M_{\text{с.v}} = \frac{M_v \cdot \eta_v}{i}, \quad (20)$$

где M_v – момент электропривода вентилятора, Н·м;

η_v – КПД привода вентилятора;

i – передаточное отношение.

Момент электропривода вентилятора, M_v вычисляется по формуле

$$M_v = J_v \cdot \omega_v, \quad (21)$$

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

где J_v – суммарный момент инерции электропривода вентилятора, кг/м².

Суммарный момент инерции J_v для электропривода вентилятора составляет 2 кг·м².

Блок реализующий "характеристику двигателя" вентилятора, показан на рисунке 4.8.

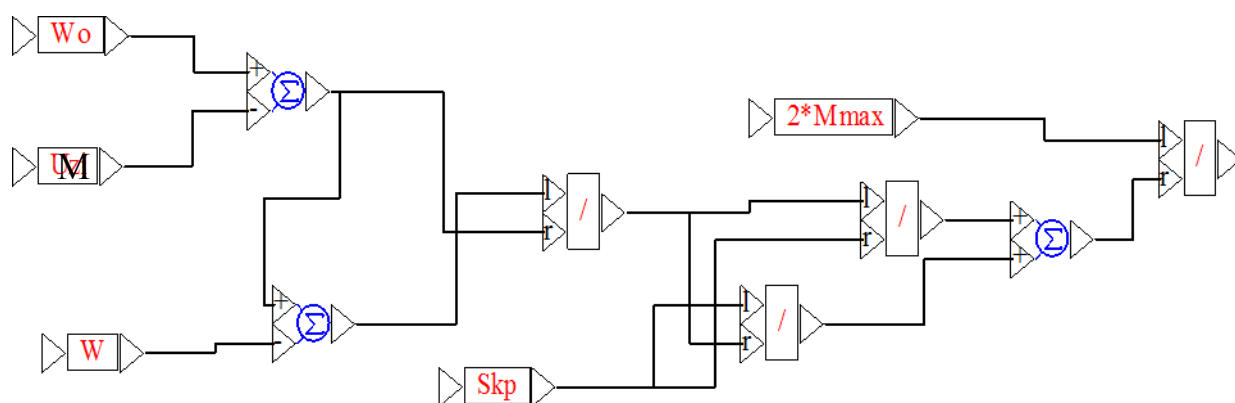


Рисунок 4.7 – Блок "характеристика двигателя" вентилятора

Блоки «Трение» и «Скоростная нагрузка» учитывают механические $M_{тр}$ и вентиляционные M_v потери в двигателе вентилятора рисунок 4.9.

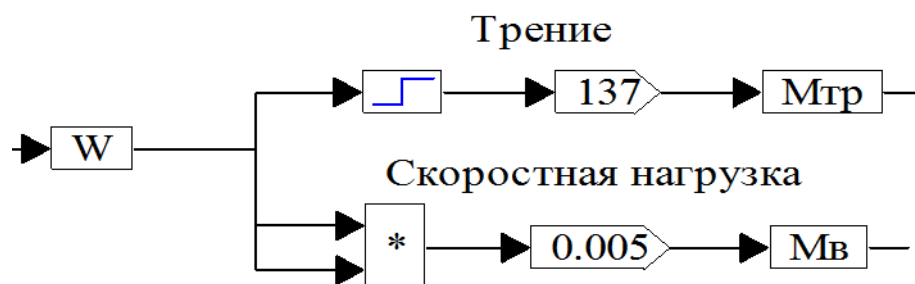


Рисунок 4.8 – Реализация блоков «Трение» и «Скоростная нагрузка»

Блок «двигатель» учитывает механическую инерционность привода, потери в приводе и нагрузку двигателя дымососа, показан на рисунке 4.10.

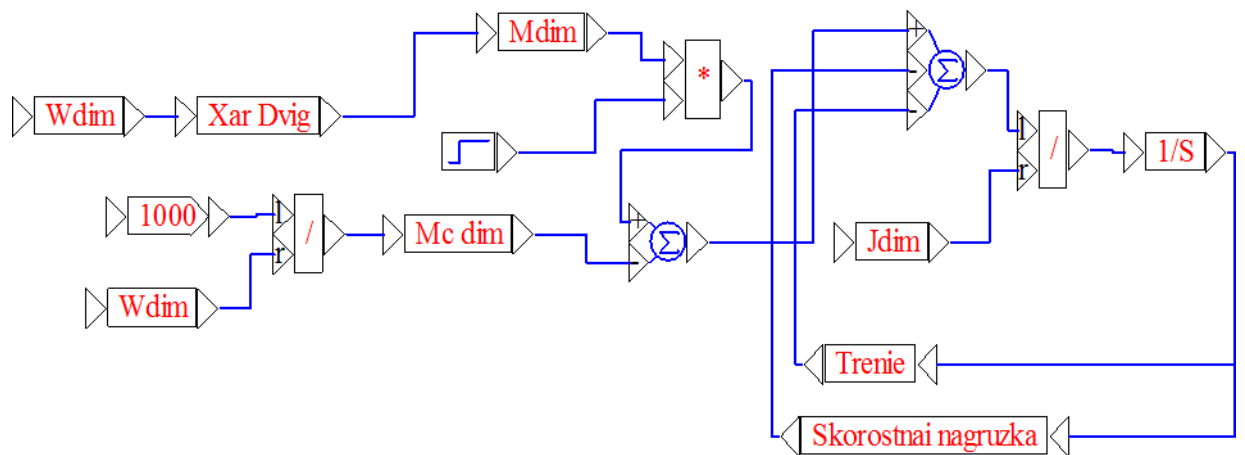


Рисунок 4.9 – Блок "двигатель" дымососа

Номинальную частоту вращения двигателя дымососа $\omega_{\text{НОМ.d}}$, рад/с определяется по формуле

$$\omega_{\text{НОМ.d}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ.d}}}{60}, \quad (22)$$

где $n_{\text{НОМ.d}}$ – номинальная скорость вращения двигателя дымососа, об/мин.

$$\omega_{\text{НОМ.d}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 940}{60} = 98,4 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя дымососа находится по формуле

$$M_{\text{НОМ.d}} = \frac{P_{\text{НОМ.d}}}{\omega_{\text{НОМ.d}}}, \quad (23)$$

где $\omega_{\text{НОМ.d}}$ – номинальная угловая скорость вращения двигателя дымососа, рад/с;

$P_{\text{НОМ.d}}$ – номинальная мощность двигателя дымососа, Вт.

$$M_{\text{НОМ.d}} = \frac{55000}{98,4} = 559 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Значение максимального момента двигателя дымососа $M_{\text{МАХ.d}}$ определяется из соотношения

$$M_{\text{МАХ.d}} = \lambda \cdot M_{\text{НОМ.d}}, \quad (24)$$

где $M_{\text{ном.d}}$ – номинальный момент двигателя дымососа, Н·м;

λ – коэффициент.

$$M_{\text{max.d}} = 2,5 \cdot 559 = 1397 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное скольжение двигателя дымососа $s_{\text{ном.d}}$ находится по формуле

$$s_{\text{ном.d}} = \frac{\omega_{0.d} - \omega_{\text{ном.d}}}{\omega_{0.d}}, \quad (25)$$

где $\omega_{0.d}$ – угловая скорость идеального холостого хода двигателя дымососа, рад/с.

$$s_{\text{ном.d}} = \frac{104,7 - 98,4}{104,7} = 0,06.$$

Критическое скольжение двигателя дымососа $s_{\text{к.d}}$ находится из уравнения

$$s_{\text{к.d}} = s_{\text{ном.d}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (26)$$

$$s_{\text{к.d}} = 0,06 \cdot (2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,29.$$

Момент асинхронного двигателя дымососа рассчитывается по формуле Клосса

$$M_d = \frac{2 \cdot M_{\text{max.d}}}{\left(\frac{s_{\text{ном.d}}}{s_{\text{к.d}}} + \frac{s_{\text{к.d}}}{s_{\text{ном.d}}} \right)}, \quad (27)$$

Для двигателя дымососа приведенный статический момент $M_{\text{с.d}}$, Н·м

$$M_{\text{с.d}} = \frac{M_d \cdot \eta_d}{i}, \quad (28)$$

где M_d – момент электропривода дымососа, Н·м ;

η_d – КПД привода дымососа;

i – передаточное отношение.

Момент электропривода дымососа, M_d вычисляется по формуле

$$M_d = J_d \cdot \omega_d, \quad (29)$$

где J_d – суммарный момент инерции электропривода дымососа, кг/м².

Суммарный момент инерции J_d для электропривода вентилятора составляет $2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Блок реализующий "характеристику двигателя" дымососа, показан на рисунке 4.11.

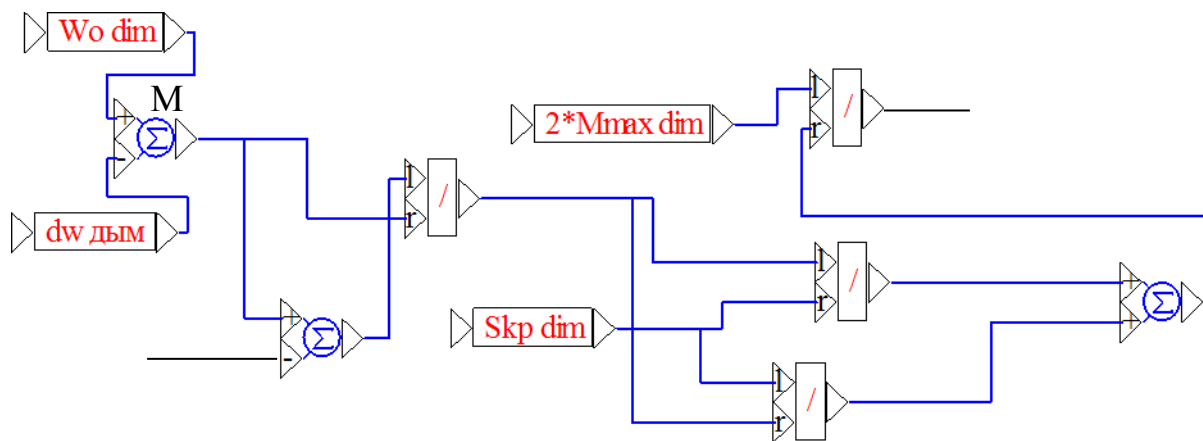


Рисунок 4.10– Блок "характеристика двигателя" дымососа

Блоки «Трение» и «Скоростная нагрузка» учитывают механические $M_{тр}$ и вентиляционные M_v потери в двигателе вентилятора рисунок 4.12.

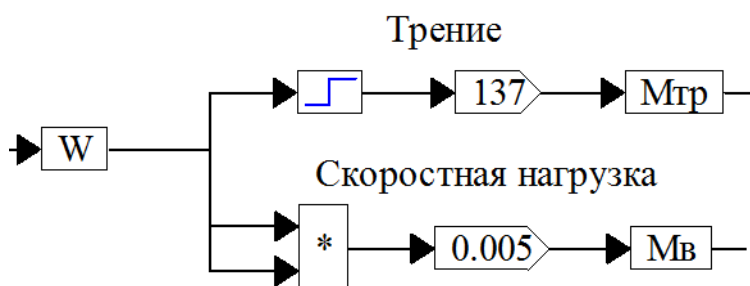


Рисунок 4.11 – Реализация блоков «Трение» и «Скоростная нагрузка»

В системе VisSim скорость вращения электродвигателя дымососа, n_d , об/с, может быть реализована формулой вида.

$$n_d = 2 \cdot \pi \cdot \omega_d \quad (30)$$

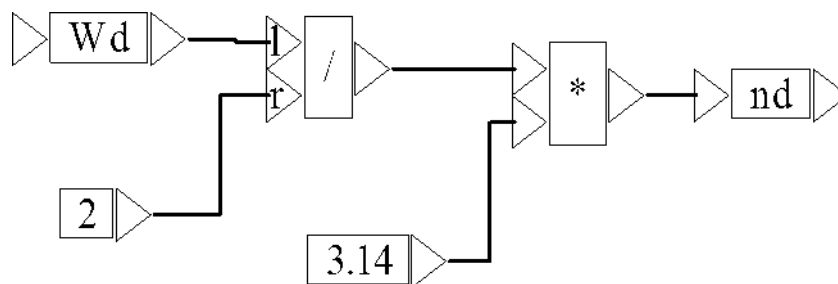


Рисунок 4.12 – Блок реализующий скорость вращения электродвигателя дымососа

В системе VisSim напорная характеристика дымососа с достаточной степенью точности может быть реализована формулой вида.

$$P_d = k_d \cdot n_d^2, \quad (31)$$

где k_d – коэффициент напора дымососа;

n_d – скорость вращения дымососа, об/с.

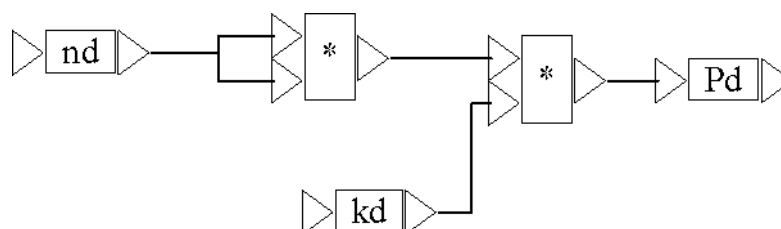


Рисунок 4.13 – Блок реализующий напорную характеристику дымососа

В системе VisSim характеристика расхода дымососа \bar{Q}_d , с достаточной степенью точности может быть реализована формулой вида.

$$\bar{Q}_d = k_Q \cdot n_d, \quad (32)$$

где k_Q – коэффициент расхода дымососа;

n_d – скорость вращения дымососа, об/с.

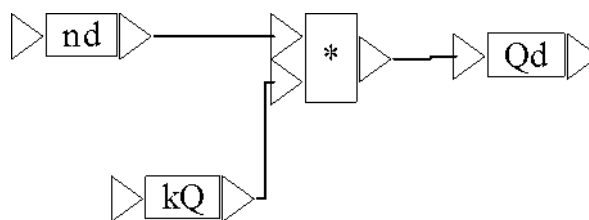


Рисунок 4.14 – Блок реализующий характеристику расхода дымососа

Мощность, потребляемая дымососом при работе, \bar{P}_D , может быть реализована формулой вида.

$$\bar{P}_D = k_3 \cdot \frac{P_d \cdot Q_d}{\eta} \quad (33)$$

где k_3 – коэффициент запаса мощности, принимаем равным 1,1

$\eta_{пер}$ – КПД дымососа;

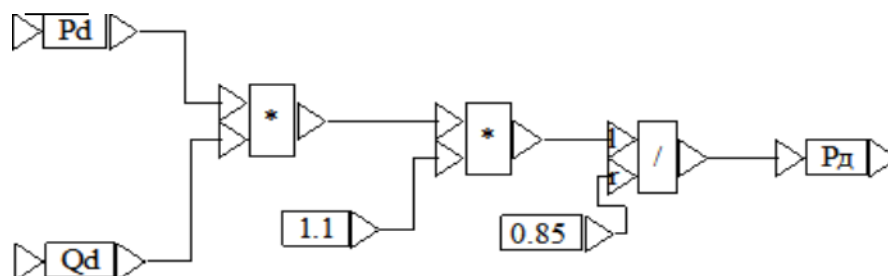


Рисунок 4.15 – Блок реализующий характеристику потребления мощности при работе дымососа

Вывод по разделу: В процессе моделирования были разработаны модели наиболее важных элементов узлов, которые участвуют в процессе формирования сигналов задания для основных технологических переменных, а именно: температуры теплоносителя и давления воздуха, газа, а также модели электроприводов вентиляторов.

5 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

5.1 Выбор частотного преобразователя

В качестве основного элемента системы частотного управления электропривода двигателей вентилятора и дымососа выбраны преобразователи частоты DELTA VFD-750F43A и DELTA VFD-550F43A соответственно производства фирмы Delta Electronics.

Основным критерием выбора стала направленность этой модели на системы вентиляции, дымососы, подачи воздуха, системы канализации, системы холодного и горячего водо- тепло снабжения, вспомогательного оборудования котельных, ТЭС, ТЭЦ и т.д.

Преобразователи частоты Delta Electronics предназначены для управления асинхронными двигателями, что обеспечивает поддержания заданного технологического параметра, в данном случае давления воздуха и разряжения в топке котла КВГМ-30. [7]

Внешний вид преобразователя частоты представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Преобразователь частоты DELTA VFD

Преобразователь частоты VFD используется для трехфазных асинхронных двигателей мощностью от 0,75 кВт до 220 кВт.

В электроприводе реализован:

- плавный пуск;
- длительная работа в заданном диапазоне частот вращения и нагрузок;
- торможение и остановка.

Модель VFD специализирована для работы с электродвигателями в составе насосных и вентиляционных установок и отличается большим количеством функций, которые позволяют настроить ПЧ для управления насосной или вентиляционной системой с обратными связями по давлению, температуре и др. наличием функции управления группой электродвигателей, которая позволяет организовать последовательное управление группой из четырех электродвигателей от одного VFD, без использования каких-либо внешних электрических схем. При этом каждый из электродвигателей выводится на заданный режим, а затем переключается на промышленную сеть и обратно съемным пультом управления, который может быть вынесен с помощью кабеля, например, на дверь электрошкафа. Вместо штатного пульта можно установить опционный пульт VFD-PU06 с функциями копирования настроек одного VFD на другой. Этот пульт подключается к порту RS-485 и может быть вынесен на расстояние до 300 м с помощью телефонного кабеля (витой пары) широкими (имеется 209 параметров, значения которых пользователь может изменять с пульта управления или через последовательный интерфейс RS-485 с компьютера).

Преобразователем частоты могут реализовываться следующие законы управления асинхронными двигателями:

- скалярное управление по 2 и по 5 точкам: $\frac{U}{f} = const$;

- квадратичный: $\frac{U}{f^2} = const$ для вентиляторного характера

управления.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Схема подключения преобразователя частоты представлена на рисунке 5.2.

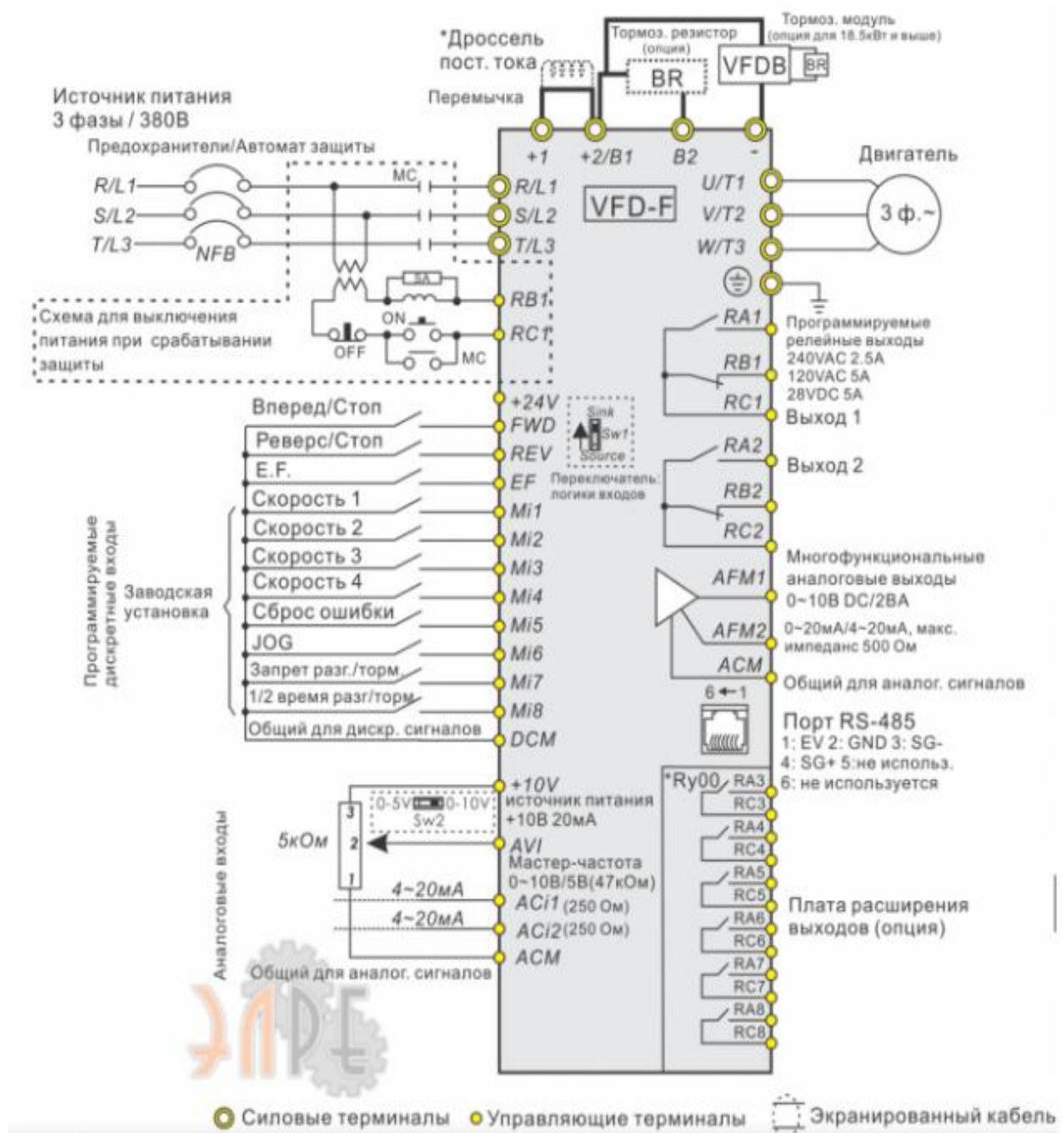


Рисунок 5.2 – Схема подключения преобразователя частоты DELTA VFD

Основные технические характеристики преобразователя частоты DELTA VFD-750F43A приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Паспортные данные частотного преобразователя DELTA VFD-750F43A

Характеристика	Параметр
Семейство продуктов	Delta Electronics
Применение	Насосное и вентиляционное оборудование
Входные характеристики	
Номинальное напряжение питания, В	3x380 – 400
Число входных фаз	3
Мощность, кВт	75
Частота питания, Гц	47..... 63 Гц
Номинальный входной ток, А	160
Выходные характеристики	
Номинальная мощность двигателя, кВт	75
Выходное напряжение, В	0... U _{вх.} VAC
Число выходных фаз	3
Выходная частота, Гц	0,1 – 120
Номинальный входной ток, А	150
Перегрузочная способность	1.2x I _н в течение 60 сек.
Режим управления	U/f (скалярное, вольт-частотное)
Частота ШИМ, кГц	2-6
ПИД регулятор	да
Рабочая температура, °С	-10 – +40
Протокол обмена информацией	Profibus DP, DeviseNet, LonWorks, Modbus.

Основные технические характеристики преобразователя частоты DELTA VFD-550F43A приведены в таблице 5.2.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Таблица 5.2 – Характеристики преобразователя частоты DELTA VFD-550F43A

Характеристика	Параметр
Семейство продуктов	Delta Electronics
Применение	Насосное и вентиляционное оборудование
Входные характеристики	
Номинальное напряжение питания, В	3x380 – 400
Число входных фаз	3
Мощность, кВт	55
Частота питания, Гц	47..... 63 Гц
Номинальный входной ток, А	120
Выходные характеристики	
Номинальная мощность двигателя, кВт	55
Выходное напряжение, В	0... U _{вх.} VAC
Число выходных фаз	3
Выходная частота, Гц	0,1 – 120
Номинальный входной ток, А	110
Перегрузочная способность	1.2x I _н в течение 60 сек.
Режим управления	U/f (скалярное, вольт-частотное)
Частота ШИМ, кГц	2-6
ПИД регулятор	да
Рабочая температура, °С	-10 – +40

Продолжение таблицы 5.2

Характеристика					Параметр	
					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					Лист	51

Протокол обмена информацией	Profibus DP, DeviseNet, LonWorks, Modbus.
-----------------------------	---

5.2 Выбор микроконтроллера

В систему автоматического управления процессами работы котла КВГМ-30 устанавливаем микроконтроллер Modicon M241 фирмы Schneider Electric. Микроконтроллер Modicon M241 показан на рисунке 5.3. [6]



Рисунок 5.3 – Микроконтроллер Modicon M241

Логические контроллеры Modicon M241 предназначены для высокопроизводительных компактных машин со встроенными функциями контроля скорости и положения. Они оснащены встроенным портом Ethernet с функциями FTP и веб-сервера, что позволяет легко интегрировать их в архитектуры систем управления для удаленного мониторинга и техобслуживания машин благодаря использованию программных приложений для смартфонов, планшетных компьютеров и ПК.

Большое количество встроенных модулей минимизирует стоимость машины:

- Функции, встроенные в контроллер: последовательный порт Modbus, порт USB для программирования, полевая шина CANopen для распределенных архитектур, расширенные функции контроля положения (высокоскоростные счетчики и импульсные выходы для управления серводвигателем).

- Функции, встроенные в модуль расширения Modicon TM3: модули функциональной безопасности, модуль управления пускателем двигателя и система удаленного расширения.

- Функции, встроенные в коммуникационные модули Modicon TM4.

Благодаря высокой вычислительной мощности и большому объему памяти контроллеры M241 идеально подходят для систем, где требуется высокая производительность.

Быстрое создание приложений при помощи интуитивно понятного и мощного ПО SoMachine. ПО также позволяет быстро выполнять автоматическую загрузку существующих приложений, которые хранятся в контроллерах Modicon M221, M238 и M258, что максимально увеличивает отдачу от вложенных средств.

Основные технические характеристики микроконтроллер Modicon M241 приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Характеристики микроконтроллера Modicon M241

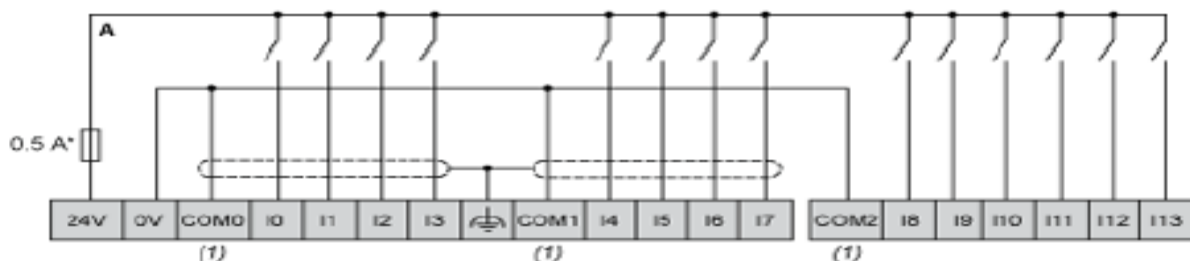
Характеристика	Параметр
----------------	----------

Серия Микроконтроллера	Modicon M241
Количество дискретных входов	14 дискретных входов включая 8 быстр. вх. в соответствии с IEC 61131-2 Type 1
Тип дискретного выхода	Реле, Транзистор
Напряжение дискретного выхода	24 В постоянного тока для транзисторн. вых. 5...250 В переменного тока для релейн. вых. 5...125 В постоянного тока для релейн. вых.
Ток дискретного выхода	1 А
Us номинальное напряжение питания	100...240 V AC
Количество дискретных входов/выходов	24
Напряжение дискретного входа	24 V
Ток дискретного входа	5 мА для вход
Входное сопротивление	4.7 кОм для вход
Точность	+/- 1 % для 100 Гц...1 кГц для быстр. вых. +/- 0.1 % для 20...100 Гц для быстр. вых.
Ёмкость памяти	64 МБ для системной памяти RAM 8 Мбайт для программы
Протокол коммуникационного порта	Modbus последовательная линия с мастер/слейв типом неизолированная

Схема подключения Modicon M241 показана на рисунке 5.4.

Digital Inputs

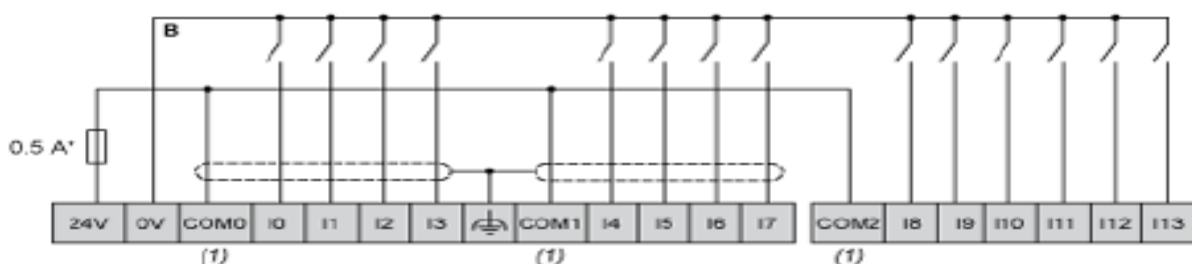
Wiring Diagram (Positive Logic)



(*) : Type T fuse

(1) : The COM0, COM1 and COM2 terminals are not connected internally.

Wiring Diagram (Negative Logic)



(*) : Type T fuse

(1) : The COM0, COM1 and COM2 terminals are not connected internally.

Рисунок 5.4 – Схема подключения микроконтроллера Modicon M241

5.3. Выбор модуля ТМЗАМ6 для микроконтроллера Modicon M241

Выбираем модуль расширения ТМЗАМ6 для соединения с микроконтроллером.

Модуль ТМЗАМ6 показан на рисунке 5.5.



Рисунок 5.5 – Модуль TM3AM6

Основные технические характеристики модуль TM3AM6 приведены в таблице 5.4. [10]

Таблица 5.4 – технические характеристики модуль TM3AM6

Характеристика	Параметр
Модель	TM3AM6
Ток на входе	7 мА
Количество цифровых входов	6
Количество цифровых выходов	6
Тип питающего напряжения	DC (постоянный)
Выходной ток	2А
Тип выходного напряжения	AC/DC (перемен./пост.)

5.4. Выбор дисплея Magelis STU «5,7»

Дисплей требуется для отображения всех данных на экране и в соответствии с ними производится управление системой регулирования.

Дисплей Magelis STU «5,7» показан на рисунке 5.6.



Рисунок 5.6 – Дисплей Magelis STU «5,7»

Основные технические характеристики дисплея Magelis STU «5,7» приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – технические характеристики дисплея Magelis STU «5,7»

Характеристика	Параметр
Модель	Magelis STU «5,7»
Напряжение питания	=24В
Пусковой ток	≤30 А
Потребляемая мощность	6,5 кВт
Тип экрана	TFT, цветной
Подсветка (срок службы)	50 000 часов

5.5. Блок питания для микроконтроллера Modicon M241

Блок питания SITOP power 24 В/3,5 А разработан для совместного применения с программируемыми контроллерами.

Блок питания SITOP power 24 В/3,5 А показан на рисунке 5.7 [9].



Рисунок 5.7 – Блок питания для микроконтроллера Modicon M241

Типовые области применения:

Питание цепей, потребляющих ток, превышающий допустимую нагрузочную способность встроенного блока питания центрального процессора. Питание центральных процессоров с номинальным напряжением питания = 24 В. Применение блоков питания SITOP 24 В/3,5 А позволяет получить целый ряд преимуществ: продление срока службы подключенных приемников электроэнергии: отсутствие колебаний напряжения и наличие электронных защит, минимальное выделение тепла, высокий КПД блока питания, простота установки: общие со всеми модулями S7-200 способы монтажа, минимальные затраты: возможность использования более дешевых центральных процессоров с напряжением питания = 24 В. Схема подключения показана на рисунке 5.8.

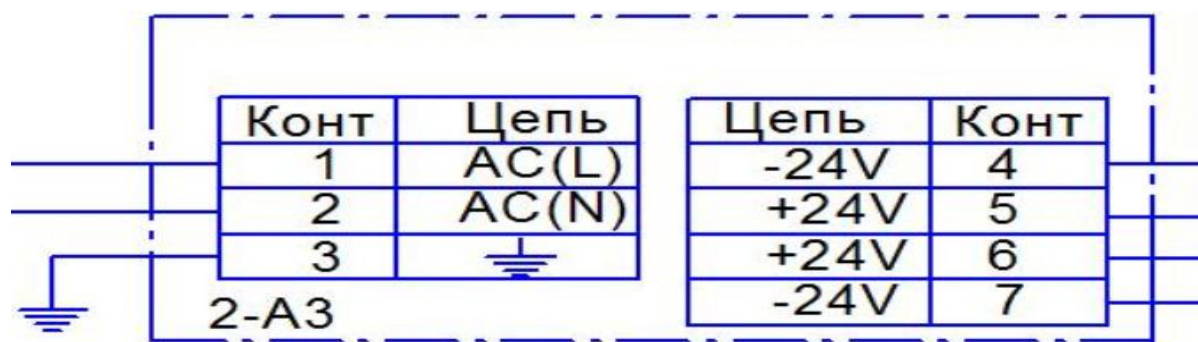


Рисунок 5.8 – Схема подключения блока питания

5.6. Выбор датчиков давления – разрежения Метран – 100 ДИВ 1131, 100ДИ 1141

Датчики давления Метран – 100 предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование измеряемых величин – давления избыточного, абсолютного, разрежения, давления разрежения, разности давлений, гидростатического давления нейтральных и агрессивных сред в унифицированный токовый выходной сигнал дистанционной передачи, цифровой сигнал на базе HART – протокола и цифровой сигнал на базе интерфейса RS – 485 с протоколами обмена ICP или Modbus. Датчик давления Метран – 100 показан на рисунке 5.9 [4].



Рисунок 5.9 – Датчик давления Метран – 100

Схема подключения Метран показана на рисунке 5.10.

<i>2-ВР1 (2)</i>	
<i>Конт.</i>	<i>Обозначение</i>
<i>1</i>	<i>Rx+</i>
<i>2</i>	<i>Rx-</i>
<i>3</i>	<i>NC</i>
<i>4</i>	<i>TX-</i>
<i>5</i>	<i>TX+</i>
<i>6</i>	<i>NC</i>
<i>7</i>	<i>NC</i>
<i>8</i>	<i>NC</i>
<i>9</i>	<i>Ground</i>

Рисунок 5.10 – Схема подключения датчика Метран 100 ДИВ и 100 ДИ

Вывод по разделу: Выбранное оборудование обеспечивает требованию технического задания по условиям работы и климатическому исполнению. Позволяют кроме автоматического управления обеспечить контроль режимов работы при удаленном доступе.

5.7. Выбор датчика температуры наружного воздуха Schneider Electric STO100

Датчик температуры наружного воздуха предназначен для измерения параметров окружающего воздуха снаружи котельной установки с целью контроля и в дальнейшем задания оператором необходимых параметров для температуры теплоносителя. Датчики температуры наружного воздуха предназначены для монтажа на наружной стене здания. Датчики выпускаются в исполнениях для систем ТАС Vista, ТАС I/NET, Andover Continuum и Satchwell. Корпус имеет отверстие Ø20 мм для кабеля, кабельный ввод поставляется в комплекте. Датчика температуры наружного воздуха Schneider Electric STO100 показан на рисунке 5.11 [5].



Рисунок 5.11 – Датчик температуры наружного воздуха Schneider Electric STO100

Основные технические характеристики датчика температуры наружного воздуха STO100 приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Технические характеристики датчика температуры наружного воздуха STO100

Модель	STO 100
Описание	Датчик температуры наружного воздуха
Вариант исполнения	TAC Vista TAC Xenta
Напряжения питания	220В
Степень защиты	IP 54 EN60529
Диапазон измерений	-50 °С+70 °С
Погрешность измерений: при -50 °С при +70 °С	+ 0,6 °С + 0,9 °С

5.8. Выбор датчика температуры теплоносителя Danfoss ESM-11

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Датчик температуры теплоносителя предназначен для измерения параметров температуры теплоносителя, который уходит в сеть к потребителям. На основе его показаний формируется задание на подачу необходимого объема газа и воздуха в топку котла КВГМ-30. Датчик температуры поверхностный Danfoss ESM-11 предназначен для монтажа на трубе ESM-11 и представляет собой платиновый термометр сопротивления, 1000 Ом при 0°C. Датчик Danfoss ESM-11 является двухпроводным устройством с симметричной схемой включения. Он снабжен прижимной пружиной для обеспечения надежного контакта с поверхностью трубы. Датчика температуры теплоносителя Danfoss ESM-11 показан на рисунке 5.12.



Рисунок 5.12 – Датчик температуры теплоносителя Danfoss ESM-11

Основные технические характеристики датчика температуры теплоносителя Danfoss ESM-11 приведены в таблице 5.7 [8].

Таблица 5.7 – технические характеристики датчика температуры теплоносителя Danfoss ESM-11

Измерительный элемент	Pt1000
Диапазон применения	0...100 °С
Электрическое соединение	Две винтовые клеммы под крышкой
Степень защиты	IP32
Постоянная времени	3 с
Материалы	Крышка:ABS Кабель: PC (поликарбонат)

Схема подключения датчика температуры теплоносителя Danfoss ESM-11 показана на рисунке 5.13.

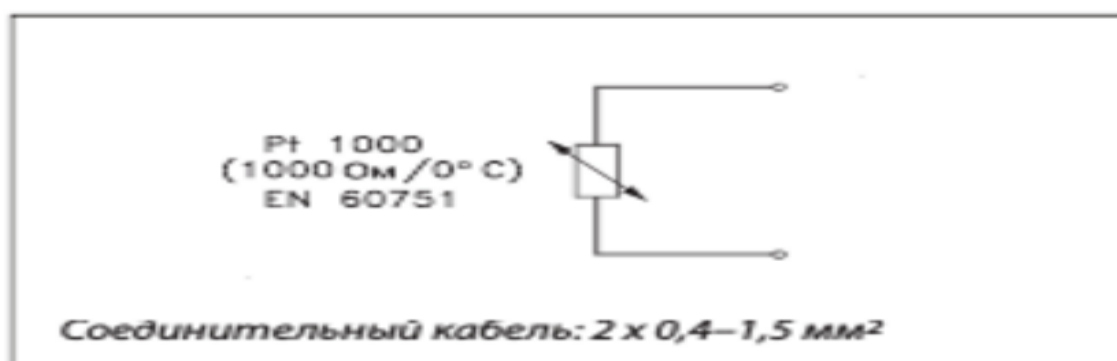


Рисунок 5.13 – Схема подключения датчика температуры теплоносителя Danfoss ESM-11

График изменения сопротивления датчика от изменения температуры среды показан на рисунке 5.14.

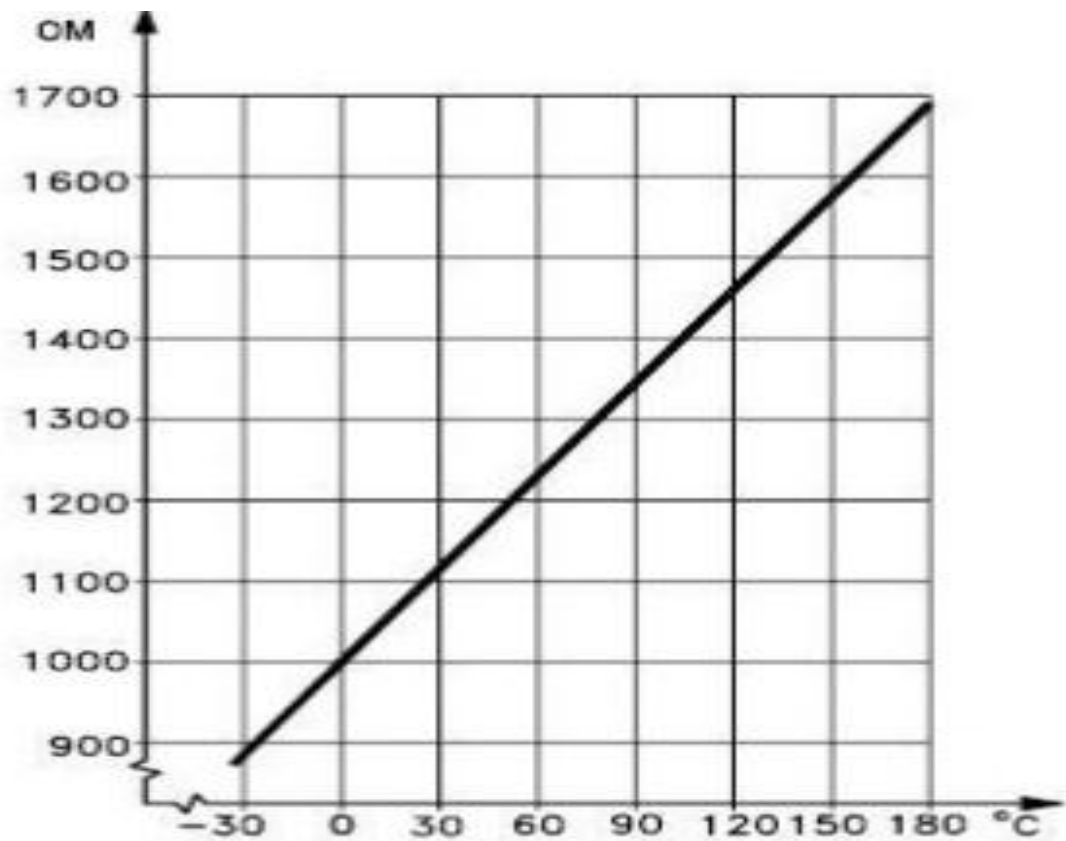


Рисунок 5.14 – График изменения сопротивления датчика от изменения температуры среды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была произведена разработка модели системы автоматического управления теплоснабжения с частотным регулированием электроприводов вентиляторов водогрейного котла КВГМ-30 ООО «Коммунальщик»:

1. Подробно проанализирован алгоритм полуавтоматического управления котельной ООО «Коммунальщик». Показано, что участие оператора в одновременном управлении несколькими агрегатами по картам режимов неэффективно и приводит к большим энергетическим потерям.

2. Для решения задач автоматизации разработаны модели основных узлов котлового агрегата, участвующих в процессе формирования сигналов задания для основных технологических переменных: температуры теплоносителя и давления воздуха газа, а также модели электроприводов вентиляторов.

3. Модели указанных устройств могут быть использованы для разработки и моделирования оптимального алгоритма управления горелкой котельной.

4. Разработанные модели формирователей технологических переменных в зависимости от температуры наружного воздуха могут быть использованы при разработке автоматизированного алгоритма управления технологическими параметрами котельной.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.889.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авербах, А.И. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средство энергосбережения. / А.И. Авербах, Е.И. Барц. – Тяжпромэлектромет, 2002. – С. 90–117.
2. Папанин, В.И. Обслуживание коммунальных котельных и тепловых сетей. / В.И. Папанин. – М.: Стройиздат, 1995. – С. 63–89.
3. Борисов, Ю.М. Электротехника/ Ю.М. Борисов, Д.Н. Липатов, Ю.Н. Зорин, Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – С. 48-75.
4. Датчик Метран 100 ДИВ // Сайт производитель ООО "УралЭнергоСервис".(дата обращения: 01.06.2017 г.)
5. Датчик температуры наружного воздуха // http://schneider-electric.promsis.biz/avtomatizacija_i_dispatcherizacija_zdanij/tac_vista/datchiki_2/datchiki_temperatury_naruzhnogo_vozduha/(дата обращения: 02.06.2017 г.)
6. Микроконтроллер Modicon M241 // <http://www.schneider-electric.ru/ru/product-range/62129-logiceskij-kontroller-modicon-m241>
(дата обращения: 06.06.2017 г.).
7. Преобразователь частоты // <http://www.delta-electronics.info/VFDF/0823987410> (дата обращения: 05.06.2017 г.).
8. Датчик температуры теплоносителя // http://danfoss.nt-rt.ru/images/manuals/pt_1000.pdf (дата обращения: 04.06.2017 г.)
9. Блок питания SITOP power 24 В/3,5 А // https://www.siemens-pro.ru/docs/sitop/SITOP_r.pdf (дата обращения: 05.06.2017 г.)
10. http://schneider-electric.promsis.biz/promyshlennaja_avtomatizacija/programmiruemye_logicheskie_kontrollery/oborudovanie_dlja_upravlenija_promyshlennymi_mashinami/optimalnaja_serija_ustrojstv_raspreljonnoogo_vvoda-vyvoda/schneider_electric_tm3ai8
(дата обращения: 06.06.2017)

