

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте

Факультет техники и технологии

Кафедра электрооборудования и автоматизации производственных процессов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ю.С. Сергеев  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ  
ПЕЧИ АРП–6.

ПОЯНТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ– 13.03.02.19.282.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ С.Н. Трофимова  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель работы  
Заведующий кафедрой, доц. к.т.н.

\_\_\_\_\_ Ю.С. Сергеев  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Экономическая часть  
Заведующий кафедрой, доц. к.т.н.  
\_\_\_\_\_ Ю.С. Сергеев  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы  
студент группы \_\_\_\_\_ ФТТ–533  
\_\_\_\_\_ Неволин С.А.  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ О.В. Терентьев  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Златоуст 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

Неволин С.А. Разработка автоматизированной системы поддержания технологических параметров аэродинамической печи АРП–6. – г. Златоуст: филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте, кафедра ЭАПП; 2019 г., 65 с., 26 ил., библиогр. список – 33 наим., 1 прил., 9 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе предложен вариант автоматизированной системы поддержания заданных технологических параметров аэродинамической печи АРП–6.

В работе произведен анализ последовательности выполнения технологического процесса, на основании этого разработана структурная схема системы управления, а также разработана схема электрическая принципиальная автоматизированного управления печью.

Произведено динамическое моделирование автоматизированной системы управления аэродинамической печью АРП–6 в среде «VISSIM».

В технико-экономической части диплома рассчитан экономический эффект при автоматизации технологического процесса и срок окупаемости.

Рассмотрены вопросы по охране труда, произведен расчет искусственного освещения цеха.

Использование материалов работы планируется внедрить для автоматизации работы аэродинамической печи АРП–6

					13.03.02.19.282.00.00.ПЗ		
Разраб.	Неволин С.А.			Разработка автоматической системы поддержания технологических параметров аэродинамической печи АРП-6. Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Сергеев Ю.С.				Д	4	65
Т. Контр.					Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоуст Кафедра ЭАПП		
Н. Контр.	Терентьев О.В.						
Утверд.	Сергеев Ю.С.						

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	7
2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	12
2.1 Принцип нагрева печи.....	12
2.2 описание работы печи.....	12
3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ....	16
4 АНАЛИЗ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ.....	20
4.1 Законы регулирования в терморегуляторах.....	20
4.2 Законы регулирования в частотных преобразователях.....	21
5 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	24
6 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	32
6.1 Расчет мощности двигателя вентилятора.....	32
6.2 Проверка двигателя по перегрузочной способности.....	34
6.3 Выбор частотного преобразователя.....	35
6.4 Выбор силового контактора.....	37
6.5 Выбор программируемого термодата.....	39
6.6 Выбор элементов аварийной сигнализации.....	41
6.7 Выбор кабелей и проводов.....	43
7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА.....	44
7.1 Расчет затрат с ручным управлением процессом.....	44
7.2 Расчет затрат при автоматизированном управлении процессом.....	45
7.3 Экономический эффект.....	47
7.4 Расчет выпуска бракованной продукции.....	49
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	50
8.1 Краткое описание рассматриваемого объекта, производственного участка.....	50
8.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	50
8.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды и трудового процесса.....	50
8.4 Охрана труда.....	52
8.5 Производственная санитария.....	54
8.6 Эргономика и производственная эстетика.....	60
8.7 Противопожарная безопасность.....	60
8.8 Экологическая безопасность.....	61
8.9 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	64

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Златоустовский машиностроительный занимается выпуском гражданской продукции и производством продукции для оборонно-промышленного комплекса. Технологический парк оборудования на заводе стареет, но многим советским образцам техники присуща уникальность и незаменимость, которым требуется модернизация и автоматизация, из-за морально устаревшего оборудования, и одна из рассматриваемых установок это печь, основанная на способе аэродинамического нагрева.

Аэродинамическая печь «АРП–6», введена на заводе в эксплуатацию в 1989 году и эксплуатируется до сегодняшнего времени. Она способна равномерно нагреть рабочее пространство до  $250\text{ C}^{\circ}$ , мощность нагревателя составляет 132 киловатт энергии. Данные установки применяют для сушки кабелей, применяемых в военной промышленности [1].

Печь имеет электрический привод с ручным управлением, в состав которого входит: электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением, тиристорные блоки управления, обратная связь реализована по температуре, частота вращения двигателя регулируется вручную оператором. Но такая система управления является устаревшей, и имеет ряд множественных недостатков:

- применение релейно – контактных схем;
- человеческий фактор;
- высокий расход электроэнергии.

Этого всего можно избежать путем внедрения автоматизированной системы управления температурой, включающую в себя: терморегулятор, частотный преобразователь, асинхронный двигатель.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение точности обеспечения заданных технологических параметров печи, уменьшение брака выпускаемой продукции.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- описание технологического процесса;
- разработка структуры автоматизированной системы;
- построение модели автоматизированного управления;
- расчёт и выбор электрооборудования;
- технико-экономическая оценка;
- рассмотреть вопросы безопасности жизнедеятельности.

Объект: аэродинамическая печь АРП–6

Предмет: автоматизированная система поддержания технологических параметров печи АРП–6.

# 1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

По способу управления температурой промышленные печи классифицируются на 6 групп:

– Местное управление или ручное – это когда все управление и контроль за всеми параметрами выполняет оператор.

– Автоматизированное управление – это когда оператор осуществляет подачу управляющих сигналов на включение и остановку, а правильную последовательность выполнения технологических процессов осуществляют средства автоматизации.

Автоматизированное управление делится на:

– Дистанционное управление – это когда оператор осуществляет контроль и управление на расстояние технологическими процессами, при помощи релейно-контактных схем

– Телемеханическое – это удаленное управление при помощи сетевого подключения интерфейса RS – 232 и RS – 485 на расстояние до 1200 метров.

– Централизованное – это когда оператор осуществляет удаленное управление сразу несколькими процессами из диспетчерского пульта.

– Автоматическое управление – исключает деятельность человека в технологической цепочке производства, все процессы выполняют аппараты автоматики. Человек нужен только для осуществления ремонта и осмотра оборудования.

Для сравнения выбраны регуляторы температуры с пределами измерений температуры от -300 до + 2500 .

Логический контроллер «Термодат 19Е6» , произведен в России , маркой «ОВЕН» . Данный прибор способен измерять, регулировать, заданные технологические параметры температуры по двухпозиционному, трехпозиционному и пропорционально-интегрально-дифференциальному закону регулирования. Также способен регулировать обороты двигателя, при помощи управления блоком аналоговых выходов. На регуляторе имеется 4 измерительных входа, способен считывать показания с 12 типов термопар и 5 типов термосопротивлений. Имеет выходы для аварийной сигнализации. На приборе установлен USB порт для сбора электронной информации [32].

Характеристики логического контроллера управляющего температурой печи «АРП-6», представлены в таблице 1.1 .

Таблица 1.1– Характеристики логического контроллера «Термодат– 19Е6»

Параметры	Значения параметра
Напряжение питания, В	от 160 до 250
Потребляемая мощность, ВА	15
Класс точности прибора, %	0,25
Номинальная частота переменного тока , Гц	от 50 до 60
Размер экрана, дюйм	5,7

Окончание таблицы 1.1

Параметры	Значения параметра
Встроенная память, Гб	8
Рабочий диапазон измерения напряжения, мВ	от 0 до 80
Диапазон измерения сопротивления, Ом	от 10 до 300
Диапазон измерения тока с шунтом (20м), мА	от до 40
Число дискретных входов, шт	4
Число релейно-симисторных выходов, шт	5
Число транзисторных выходов, шт	4
Время измерения для термопары, с	0,5
Диапазон измерения, С <sup>0</sup>	от -270 до + 2500
Выходной ток управления дискретными выходами, мА	от 0 до 24
Максимальная нагрузка на выходном реле, А	7
Максимальная нагрузка на симисторе, А	1
Информационный вход	RS 232, RS 485
Количество измерительных входов, шт.	4
Метод регулирования	двух позиционный, трехпозиционный, ПИД регулирование
Масса, кг	1,6
Цена, руб	45000

Прибор компании «Т- МОТОР» «ТРМ 500», произведен в России. Этот прибор многофункционален, способен регулировать параметры температуры по двум законам регулирования: двухпозиционный и пропорционально-интегрально-дифференциальный. Отличительная способность данного прибора в том, что он способен при помощи двух релейных выходов коммутировать силовую цепь без промежуточных реле. С нагрузкой до 30 ампер. Имеет 1 дискретный вход для удаленного включения. Также способен изменять параметры твердотельного реле, который регулирует ток нагрузки в широком диапазоне, при этом меняются параметры температуры печи [33].

Характеристики регулятора температуры «ТРМ 500» приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – Характеристики регулятора температуры «ТРМ 500»

Параметры	Значения параметра
Напряжение питания, В	от 96 до 264
Потребляемая мощность, ВА	5
Класс точности прибора, %	0,25
Номинальная частота переменного тока, Гц	от 47 до 63
Размер экрана, дюйм	1,5

## Окончание таблицы 1.2

Параметры	Значения параметра
Диапазон измерения, С <sup>0</sup>	от -100 до + 800
Максимальная нагрузка на выходном реле, А	от 5 до 30
Напряжение управления для твердотельного реле, В	от 3,9 до 5,61
Число дискретных входов, шт	1
Число релейно-симисторных выходов, шт	2
Число транзисторных выходов, шт	1
Время измерения для термопары, с	0,5
Напряжение управления для твердотельного реле, В	от 3,9 до 5,61
Количество измерительных входов, шт.	1
Метод регулирования	двух позиционный, ПИД регулирование
Масса, кг	0,5
Цена, руб	2100

Регулятора температуры марки «Schneider electrical E5CN», страна производитель прибора: Франция. Универсальный прибор, регулирует параметры температуры за счет двухпозиционного и пропорционально-интегрально-дифференциального закона регулирования. Имеет 2 дискретных входа для удаленного включения, есть выход для записи информации на самописец. Оборудован выходами для аварийной сигнализации. В приборе расположены датчики обрыва фаз, и отказа твердотельного реле [34].

Характеристики регулятора температуры марки «Schneider electrical E5CN», приведены в таблице 1.3

Таблица 1.3 – Характеристики регулятора температуры марки «E5CN»

Параметры	Значения параметра
Напряжение питания, В	от 100 до 240
Потребляемая мощность, ВА	6
Класс точности прибора, %	0,25
Номинальная частота переменного тока, Гц	от 50 до 60
Размер экрана, дюйм	0,5
Диапазон измерения, С <sup>0</sup>	от -200 до + 1800
Максимальная нагрузка на выходном реле, А	3
Число дискретных входов, шт	2
Число аналоговых выходов, шт	4
Характеристики аналогового выхода, В	от 0 до 10
Характеристики аналогового выхода, А	от 0 до 20
Информационный вход	RS 485
Напряжение управления для твердотельного реле, В	от 3,9 до 5,61

Окончание таблицы 1.3

Параметры	Значения параметра
Количество измерительных входов, шт.	2
Метод регулирования	двух позиционный, ПИД регулирование
Масса, кг	0,05
Цена, руб	3500

Программируемый логический контроллер марки «OMRON CJ1» ,совместно с блоком ввода аналоговых сигналов (модуль температурных датчиков) марки « OMRON CJ1W–MAD42», страна производитель: Япония. Применяются для управления температурой. Способны регулировать температурой при помощи 5 законов регулирования: двухпозиционный, трехпозиционный, пропорциональный , пропорционально-интегральный, пропорционально-интегрально-дифференциальный.

Программируемый логический контроллер «OMRON CJ1» это многофункциональный прибор, предназначенный для автоматизации управления производственными процессами, а также решения высокоскоростных операций с высокой точностью. Имеет модульную конструкцию, что позволяет расширить его область применения, благодаря разным модулям аналоговых сигналов. Благодаря модулям для карт памяти можно вести заранее записанные технологические процессы [35].

Характеристики программируемого логического контроллера «OMRON CJ1», представлены в таблице 1.4

Таблица 1.4 – Характеристики контроллера «OMRON CJ1»

Параметры	Значения параметра
Напряжение питания, В	От 160 до 240
Число дискретных входов, шт	16
Число дискретных выходов, шт	16
Максимальное число входов и выходов,шт	1280
Диапазон входного сигнала, В	от 0 до 10
Диапазон выходного сигнала, мА	от 4 до 20
Количество входов прерывания, шт	4
Количество входов счетчиков, шт	2
Количество импульсных выходов, шт	2
Информационный вход	RS 232, RS 485
Карта памяти	Compact Flash
Цена, руб.	7100

Блок ввода аналоговых сигналов «OMRON CJ1W», предназначен для считывания параметров различных температурных датчиков.



Характеристики блока ввода аналоговых сигналов «OMRON CJ1W» , приведены в таблице 1.5

Таблица 1.5 – Характеристики блока ввода аналоговых сигналов «OMRON CJ1W»

Параметры	Значения параметра
Напряжение питания, В	24
Число аналоговых входов, шт	4
Число аналоговых выходов, шт	2
Погрешность прибора, %	0,3
Диапазон выходного сигнала, В	от 0 до 10
Диапазон выходного сигнала, мА	от 4 до 20
Цена, руб.	8000

Вывод по разделу один

На Российском рынке присутствуют как зарубежные , так и отечественные промышленные терморегуляторы и программируемые логические контроллеры. Из зарубежных производителей по широкому уровню функциональности лидируют марки «Schneider Electric E5CN» , произведенные во Франции и «OMRON CJ1» , произведенные в Японии [34].

Японская марка «OMRON CJ1» , отличается тем, что может управлять температурой при помощи 5 законов регулирования, прибор модульной конструкции что позволяет его унифицировать под разное оборудование, имеет слоты для карт памяти, что позволяет вести заранее прописанные технологические процессы, но данный прибор имеет единственный недостаток из-за того, что оператор не имеет возможности посмотреть температуру печи, вследствие того, что у прибора нет дисплея [35].

Французский регулятора температуры марки «Schneider electrical E5CN» хорош тем, что имеет дисплей, позволяющий контролировать параметры печи, имеет низкую цену в сравнение с японским аналогом, но данный прибор имеет серьезный недостаток в том, что не имеет USB порта для вывода информации, поэтому данный прибор необходимо связывать обязательно с персональным компьютером [34].

Приборы Российского производства занимают среднюю ценовую категорию. Характеристики приборов не уступают зарубежным аналогом, по причине того, что электронно-компонентная база приборов производится и поставляется с зарубежных стран.

Из представленной линейки приборов терморегуляторов самым подходящим для аэродинамической печи является терморегулятор «ОВЕН 19Е6» потому, что имеет дисплей на 5.7 дюйма, вследствие чего оператор хорошо видит происходящий процесс в камере печи, 4 входа для термопар, что позволяет использовать один терморегулятор на 2 печи, соответственно сразу покрывает расходы по себестоимости при модернизации а также в приборе встроен USB порт для сбора информации о технологическом процессе [32].

## 2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

### 2.1 Принцип нагрева печи

Низкотемпературная аэродинамическая печь «АРП–6». Предназначена для термообработки композитных изделий и материалов из сплавов металлов. Способна нагреть рабочее пространство до 250<sup>0</sup>С. Воздух в камере нагревается за счет преодоления большого аэродинамического сопротивления. Температура возрастает за счет трение молекул воздуха, вследствие чего механическая энергия вращающегося воздуха переходит в тепловую энергию. Вращение по замкнутой траектории осуществляется центробежным вентилятором с лопатками, которые наклонены под определенным рассчитанным углом [1].

Достоинствами данной модели печи является очень высокий коэффициент полезного действия от 90% и более, достигается это за счет того, что практически вся энергия электропривода переходит в тепловую энергию. Равномерный прогрев рабочего пространства, выгодные технико-экономические показатели.

Технические характеристики приведены в соответствии с таблицей 2.1

Таблица 2.1 – Технические характеристики печи «АРП – 6»

Параметры	Значение
Температура нагрева, °С	250
Напряжение питающей сети, В	380
Частота вращения ротора, об/мин	1470
Условия эксплуатации, °С	От -5 до + 50
Габаритные размеры камеры – длина, мм	3500
Габаритные размеры камеры – ширина, мм	3500
Габаритные размеры камеры – высота, мм	3400
Масса агрегата, кг	5000
Мощность печи, кВт	135
Тип нагревателя	Циркуляционный центробежный вентилятор

Аэродинамическая печь (рисунок 2.1) состоит из асинхронного двигателя –1, подшипникового узла с водяным и масляным охлаждением – 2, бетонного основания – 3, выкатного пода – 4, циркуляционного центробежного вентилятора, который перемещает воздух в печи по замкнутому контуру – 5, изделия на поде – 6, дверей – 7, гидроцилиндра открывания дверей – 8, вытяжки – 9, пневматического замка дверей – 10.

### 2.2 Описание работы печи

Перед началом работы работник печи осматривает ее, чтобы в ней не было инородных предметов.

Двери печи не должны быть загромождены деталями, чтобы не препятствовать закрыванию их.

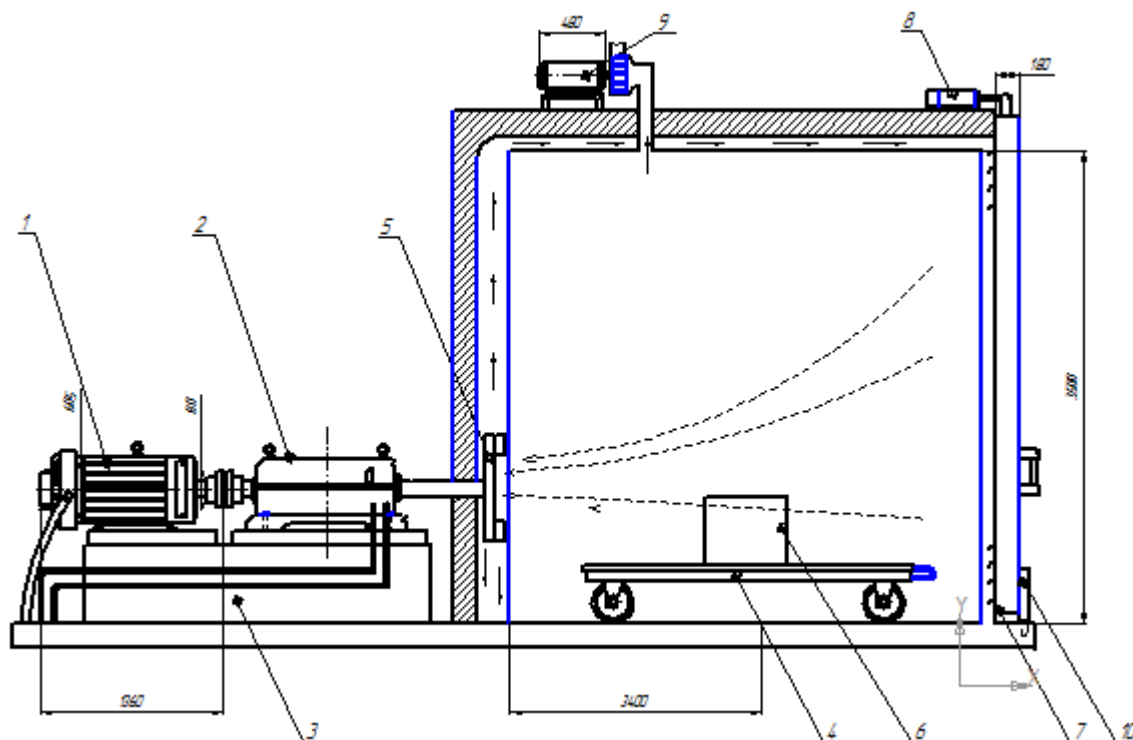


Рисунок 2.1 – Аэродинамическая печь АРП–6

- 1 – Асинхронный двигатель вентилятора;
- 2 – Подшипниковый узел;
- 3 – Бетонное основание;
- 4 – Выкатной под;
- 5 – Циркуляционный вентилятор;
- 6 – Изделие на поде;
- 7 – Двери;
- 8 – Гидроцилиндр открывания дверей;
- 9 – Вытяжки;
- 10 – Пневматический замок дверей.

Технологический процесс работы аэродинамической печи «АРП–6» включает в себя выполнения определенных технологических этапов (описание по электрической принципиальной схеме, которая представлена в графической части дипломного проекта 130302.19.282.00.01.Э3, 130302.19.282.00.02.Э3 и по функциональной схеме 130302.19.282.00.01.Э2):

- в исходном состоянии печь стоит с открытыми воротами с пустым подом;
- далее на под ставятся детали, мостовым краном под загоняется в печь;
- рабочий сообщает периметристу, что необходимо закрыть двери печи;
- периметрист в машзале подает питание на шкаф системы программного управления температурой «СПУРТ» (включение автоматического выключателя QF1);

Изм.	Лист-	№ докум.№	Под-	Дата-
------	-------	-----------	------	-------



– далее открывает левую створку двери, нажимая на кнопку управления SB6, включается реле K2, пневмокатушка замка двери YA1, гидроклапан YA2 и гидронасос M4;

– под вместе с деталью выкатывается из печи;

– процесс завершен.

Более подробная последовательность работа элементов схемы электрической принципиальной, изображена графически на рисунке 2.1.

Обозначения на циклограмме рисунок 2.1: M1– электродвигатель вентилятора вытяжки, M2 – электродвигатель гидронасоса, M3 – электродвигатель охлаждения двигателя, M4 – Электродвигатель привода вентилятора, YA1 – электропнеumo-катушка замка двери, YA2 – электро-гидро-катушка открытия левой двери, YA3 – электро-гидро-катушка открытия правой двери, YA4 – электро-гидро-катушка закрытия левой двери, YA5 – электро-гидро-катушка закрытия правой двери.

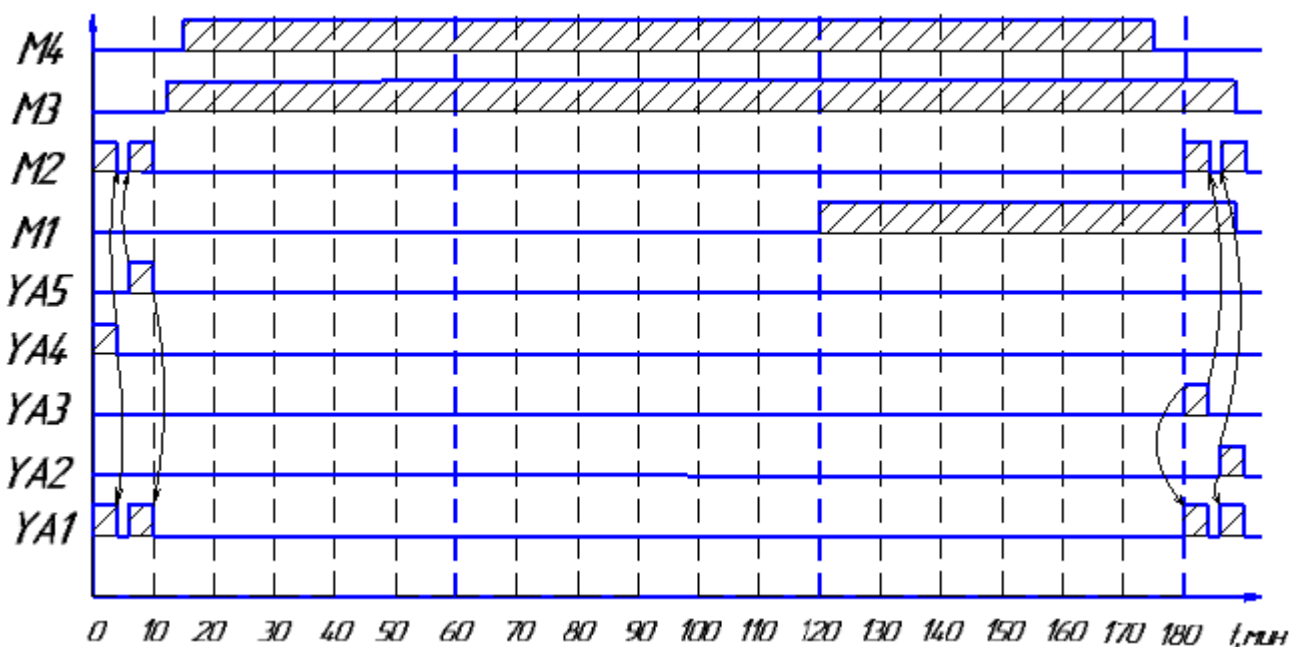


Рисунок 2.1 – Циклограмма работы печи «АРП-6»

#### Вывод по разделу два

В результате анализа технологического процесса работы аэродинамической печи выяснилось что при ручном дистанционном способе управления возникает большой риск появления человеческого фактора, потому что периметристу необходимо постоянно контролировать температуру и обороты двигателя печи.

Существующая ручная дистанционная система неприемлима и требует модернизации до автоматизированной системы управления температурой. Результат анализа работы аэродинамической печи «АРП-6» показал, что автоматизация в данном процессе будет играть основную роль производственного процесса.



Взамен двигателю постоянного тока независимого возбуждения, отдан приоритет асинхронному двигателю, который будет приводить во вращательное движение циркуляционный центробежный вентилятор. Данный вид двигателя отлично подходит для работы без резкого изменения нагрузки на валу двигателя. Естественные механические характеристики двигателя рассмотрены ниже «рисунок 3.1».

Естественная характеристика представлена под цифрой 2 рисунок 3.1 [2] асинхронного двигателя без регулирования частоты сети питающего двигателя, искусственные характеристики двигателя 2...5 рисунок 3.1

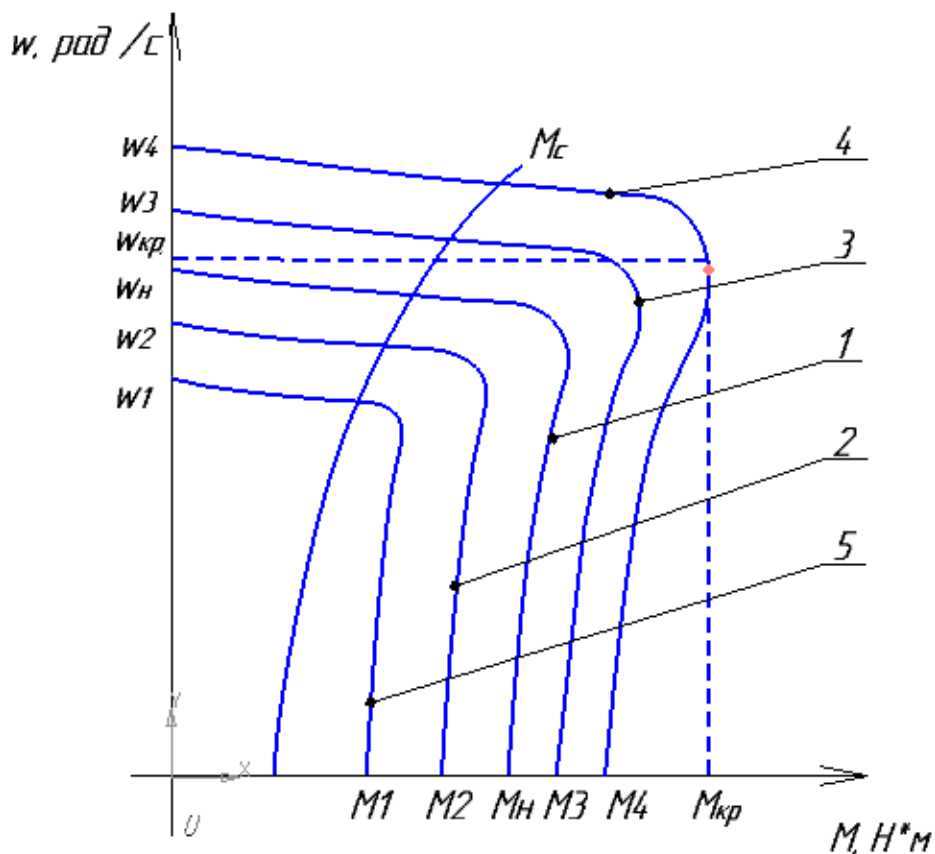


Рисунок 3.1 – Механические характеристики асинхронного двигателя  
 1 – Естественная характеристика  
 2...5 – Искусственные характеристики.

3) Для регулирования оборотов циркуляционного вентилятора применяется преобразователь частоты предназначенный для широкого диапазона изменения скорости асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, за счёт изменения частоты питающего напряжения и тока статора, вследствие чего меняется скорость вращения ротора электродвигателя по формуле (3.1) В свою очередь в частотном преобразователе переменное напряжение сети выпрямляется с помощью диодного выпрямителя, далее колебания уменьшаются в цепи индуктивного ёмкостного фильтра, далее инвертор из постоянного напряжения делает переменное с необходимым значением частоты.[6]

Структурная схема частотного преобразователя показана на рисунке 3.2.

Изменение скорости вращения двигателя  $\omega$ , об/мин, определяется по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi f_{\text{рег.}}}{p}; \quad (3.1)$$

где  $\pi$  – математическая константа,  $\pi = 3.14$ ;

$f_{\text{рег.}}$  – частота регулируемая, Гц;

$p$  – число пар полюсов обмотки статора.

В соответствие с выражением (3.1), за счёт изменения частоты питающей сети получаются различные искусственные характеристики рисунок 3.1.

Выходной каскад выполняется чаще всего из биполярных транзисторов с изолированным затвором, изображен ниже «рисунок 3.2».

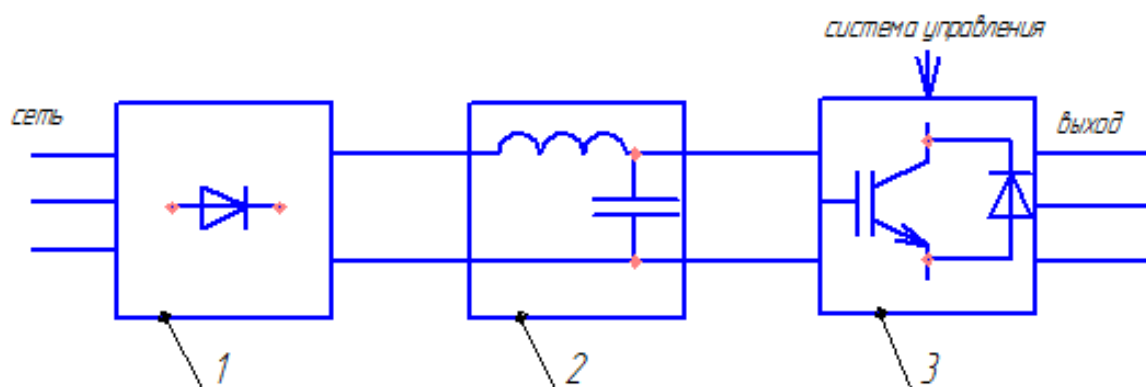


Рисунок 3.2 – Структурная схема частотного преобразователя

1 – Выпрямитель;

2 – Фильтр;

3 – Трёхфазный мостовой инвертор.

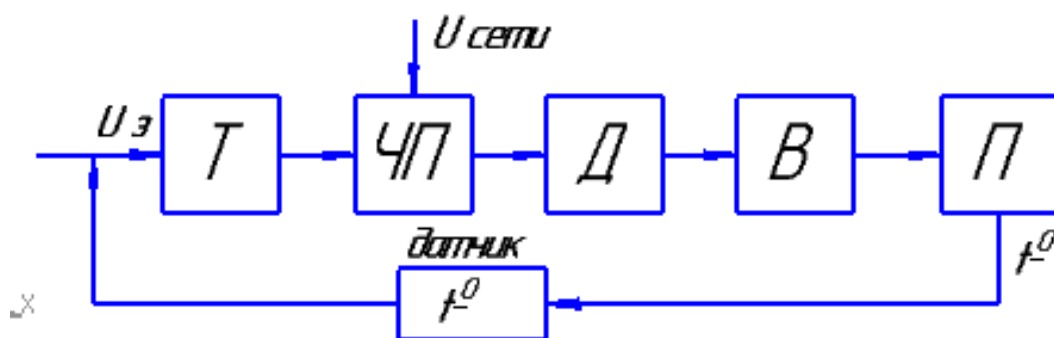


Рисунок 3.3 – Структурная схема автоматизированного управления печью

Т– Терморегулятор;

ЧП– Частотный преобразователь;

Д – Асинхронный двигатель;

В – Циркуляционный вентилятор;

П – Камера печи.



### Вывод по разделу три

Главным органом системы управления аэродинамической печью является терморегулирующей контроллер температуры. В данном приборе формируется сигнал управления, приходящий на частотный преобразователь, который изменяет скорость вращения электродвигателя[7]. В качестве обратной связи применяются 2 термопары установленные в камере печи, которые подключаются к входным каналам прибора. Также терморегулятор управляет аварийной сигнализацией.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист-	№ докум.№	Под-	Дата-		19



В данном методе задействованы 2 канала: транзисторный, который управляет нагревом, и релейно–симисторный, который управляет охлаждением, открытием электрозадвижки [32].

Результат методов управления температурой изображены на рисунке 4.2

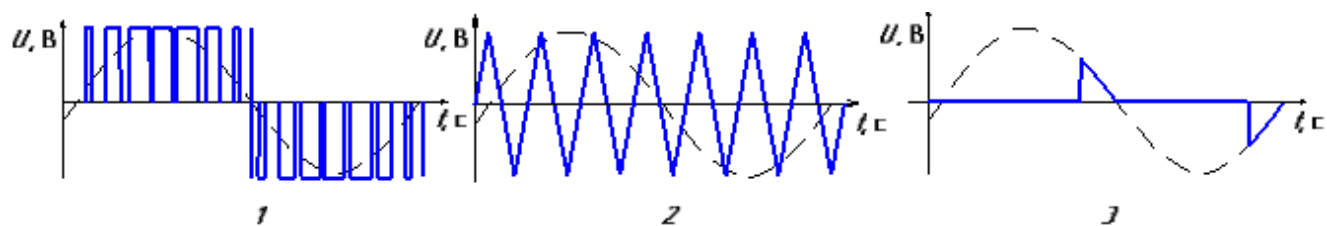


Рисунок 4.2 – Результат методов управления температурой

- 1 – Метод широтно-импульсной модуляции;
- 2 – Равномерно-распределенные сетевые периоды;
- 3 – Фазоимпульсное управление.

#### 4.2 Закон регулирования в частотных преобразователях

Для регулирования скорости в частотном преобразователе применяют 2 основных метода регулирования: скалярное и векторное регулирование [9].

Закон частотного управления имеет следующий вид:

$$\frac{U}{U_{\text{ном}}} = \frac{f}{f_{\text{ном}}} \cdot \sqrt{\frac{M}{M_{\text{ном}}}}, \quad (4.1)$$

где  $U$  – напряжение на выходе преобразователя, В;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, В;

$f$  – частота сети на выходе преобразователя, Гц;

$f_{\text{ном}}$  – номинальная частота сети, Гц;

$M$  – текущий момент на валу асинхронного двигателя, Нм;

$M_{\text{ном}}$  – номинальный момент асинхронного двигателя, Нм.

При различных нагрузках на валу двигателя, закон управления частотой сети и напряжения двигателя меняется.

При постоянном моменте  $M = \text{const}$ , закон имеет отношение:

$$U \cdot f = \text{const}, \quad (4.2)$$

При постоянной мощности  $P = \text{const}$ , закон имеет отношение:

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = \text{const}, \quad (4.3)$$



## Вывод по разделу четыре

В качестве регулирования температуры используется пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования, позволяющий более точно контролировать параметры температуры без сильного перерегулирования.

Для регулирования оборотов двигателя при вентиляторной нагрузке на валу двигателя, применяется скалярный закон регулирования, так как нет резких колебаний момента на валу двигателя.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист-	№ докум.№	Под-	Дата-		23

## 5 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Построение модели автоматизированного управления температурой аэродинамической печи «АРП–6», будет осуществляться при помощи программного обеспечения Vissim. Данная программа применяется при построение, моделирование и имитации различных систем управления технологическими процессами, а также построение моделей систем управления электроприводов.

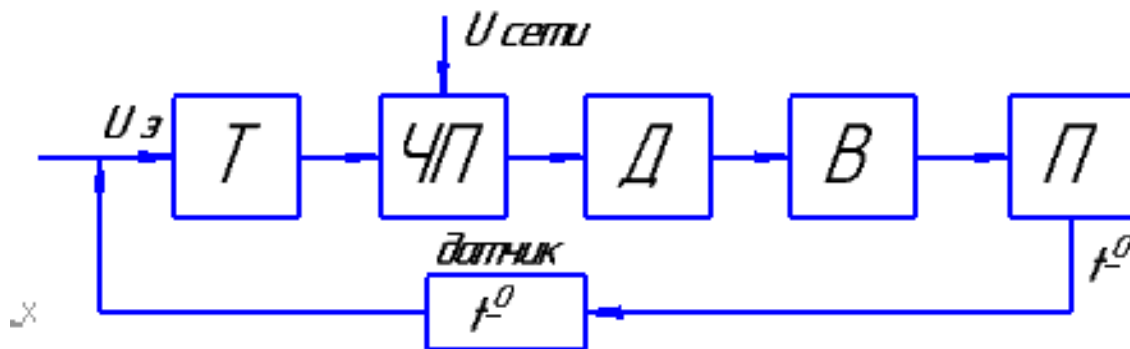


Рисунок 5.1 – Структурная схема

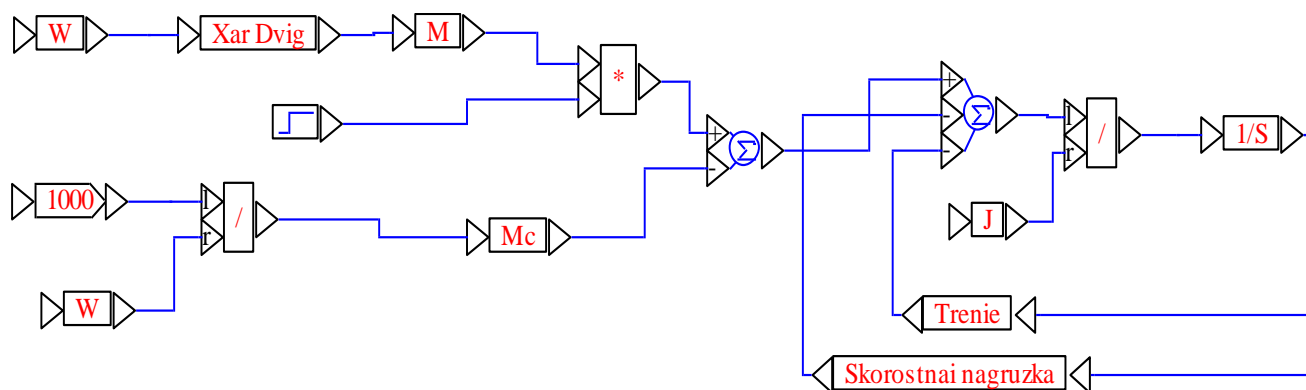


Рисунок – 5.2 Работа блока двигателя вентилятор

Частота вращения вентилятора  $\omega_{\text{ном.}v}$ , рад/с, вычисляется по формуле:

$$\omega_{\text{ном.}v} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{ном.}v}}{60}, \quad (5.1)$$

где  $n_{\text{ном.}v}$  – номинальная скорость вращения вентилятора, об/мин.

$$\omega_{\text{ном.}v} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1430}{60} = 149,6 \text{ рад/с}$$

Номинальный момент  $M_{\text{ном.}v}$ , двигателя вентилятора вычисляется по формуле:



$$M_v = \frac{2 \cdot 1087}{\left(\frac{0,9}{0,23} + \frac{0,23}{0,9}\right)} = 522 \text{ Нм.}$$

Приведенный статический момент  $M_{c.v}$ , Н·м, для двигателя вентилятора вычисляется по формуле:

$$M_{c.v} = \frac{M_v \cdot \eta_v}{i}, \quad (5.7)$$

где  $M_{c.v}$  – момент электропривода вентилятора, Н·м ;  
 $\eta_v$  – КПД привода вентилятора;  
 $i$  – передаточное отношение.

$$M_{c.v} = \frac{522 \cdot 0.98}{1} = 512 \text{ Нм.}$$

Момент электропривода вентилятора,  $M_v$ , Нм рассчитывается по формуле:

$$M_v = J_v \cdot \omega_v, \quad (5.8)$$

где  $J_v$  – суммарный момент инерции электропривода вентилятора, кг/м<sup>2</sup>.

Суммарный момент инерции  $J_v$  для электропривода вентилятора составляет 2 кг·м<sup>2</sup>.

$$M_v = 2 \cdot 149 = 298 \text{ Н·м.}$$

Блок реализующий "характеристику двигателя" вентилятора, показан на рисунке 5.3

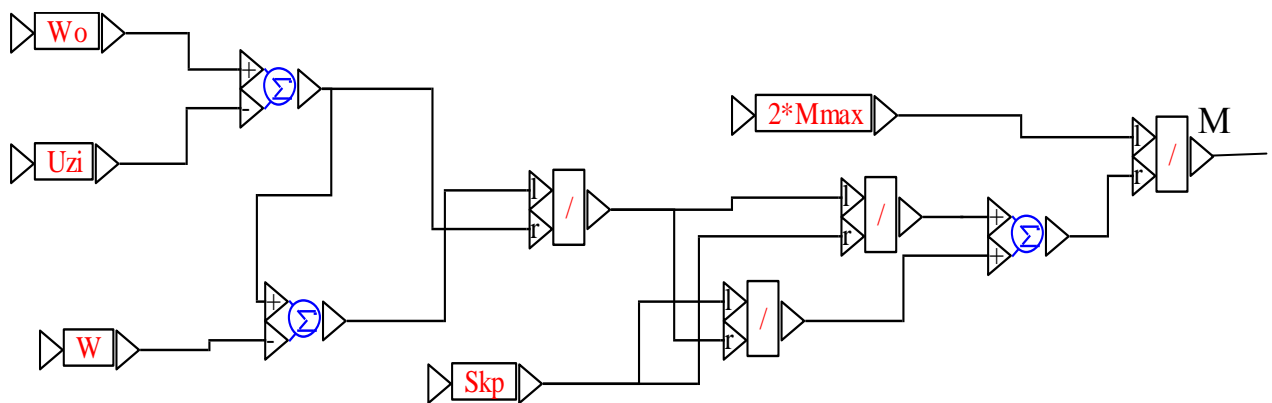


Рисунок 5.3 – Блок "характеристика двигателя" вентилятора  
 Блоки «Трение» и «Скоростная нагрузка» учитывают механические  $M_{тр}$ ,  
 и вентиляционные  $M_v$ , потери в двигателе вентилятора рисунок 5.4



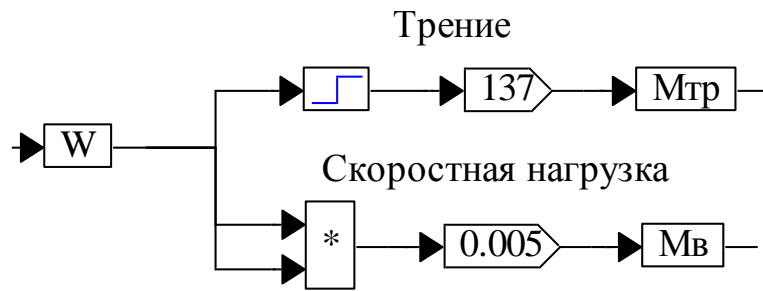


Рисунок 5.4 – Реализация блоков «Трение» и «Скоростная нагрузка»

Графики работы печи полученные при моделировании работы вентилятора показаны: на рисунке 5.5, давления воздуха  $P_v$ ; скорость вентилятора показана на рисунке 5.6; мощность вентилятора показана на рисунке 5.7; блок потребления мощности при вентиляторной нагрузке показан на рисунке 5.8. Все значения приведены в относительных единицах.

Мощность, потребляемая вентилятором при работе,  $P_v$ , Вт, рассчитывается по формуле:

$$P_v = k_3 \frac{Q \cdot H}{\eta_v \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}, \quad (5.9)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса,  $k_3=(1,1-1,6)$ , принимаем  $k_3=1,6$ ;

$Q$  – производительность вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H$  – давление на выходе вентилятора, Па;

$\eta_v$  – коэффициент полезного действия вентилятора, %;

$\eta_n$  – коэффициент полезного действия передачи, %.

На печи АРП–6 исполнительным органом нагрева воздуха является центробежный нагревательный вентилятор высокого давления, типа ВВД №9. Для достижения максимальной температуры  $t = 250^\circ\text{C}$  в печи вентилятором создается давление на выходе  $P=15000\text{Па}$ , и производительность вентилятора  $Q=9,5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Характеристики вентилятора приведены при плотности воздуха равной  $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Коэффициент полезного действия вентилятора,  $\eta_v$ , находится в пределах от 0,69 до 0,77,  $\eta_v = 0,75$ .

$$P_{\text{дв}} = 1,6 \frac{6 \cdot 10000}{0,96 \cdot 0,77} = 131,2 \text{ кВт.}$$

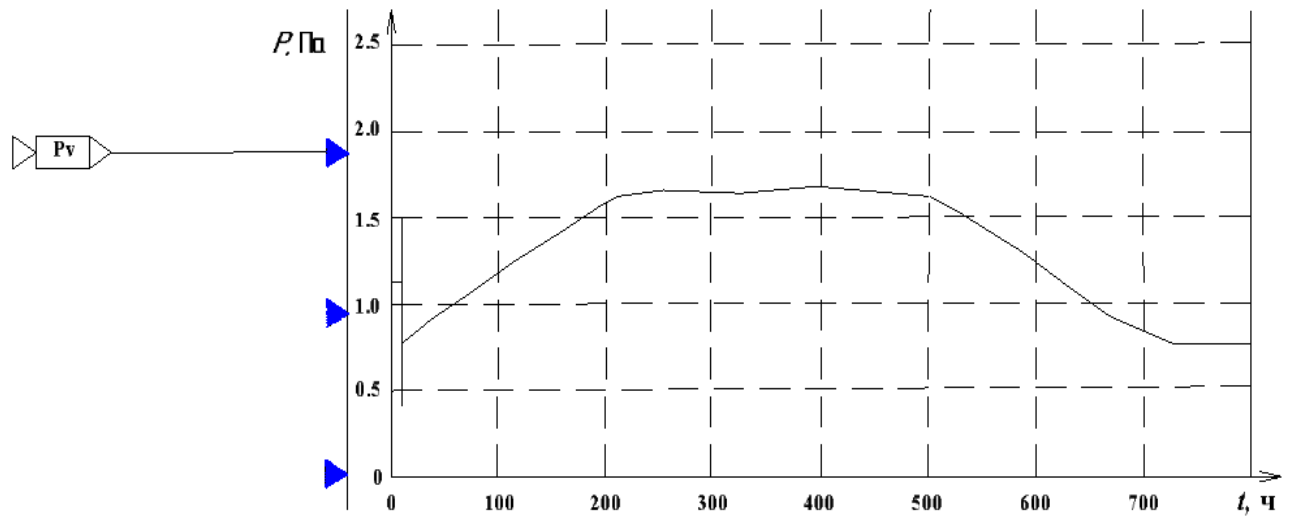


Рисунок 5.5 – Давление воздуха

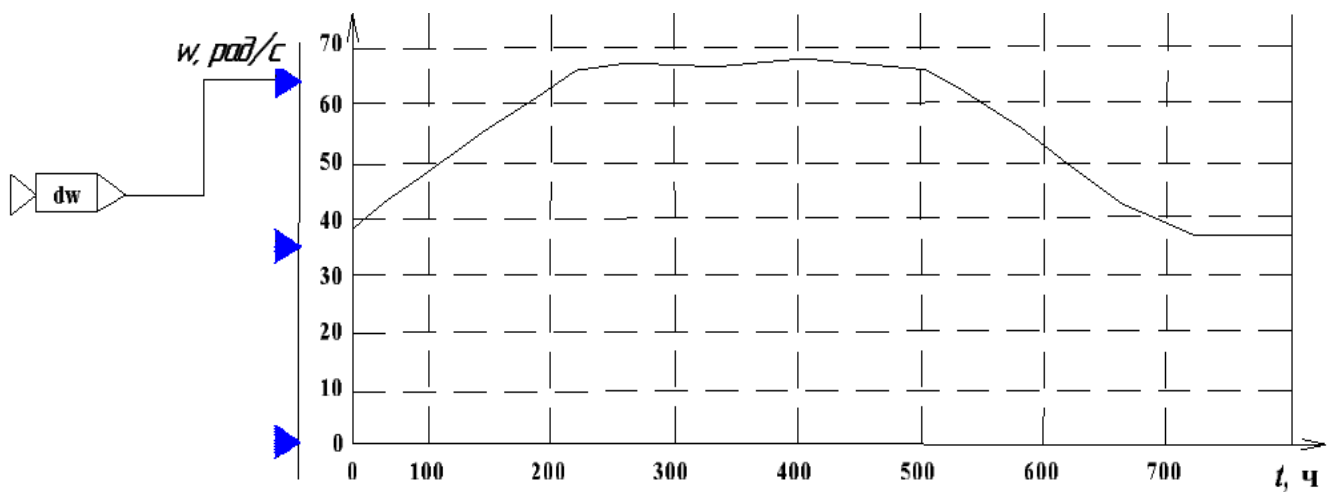


Рисунок 5.6 – Скорость вентилятора

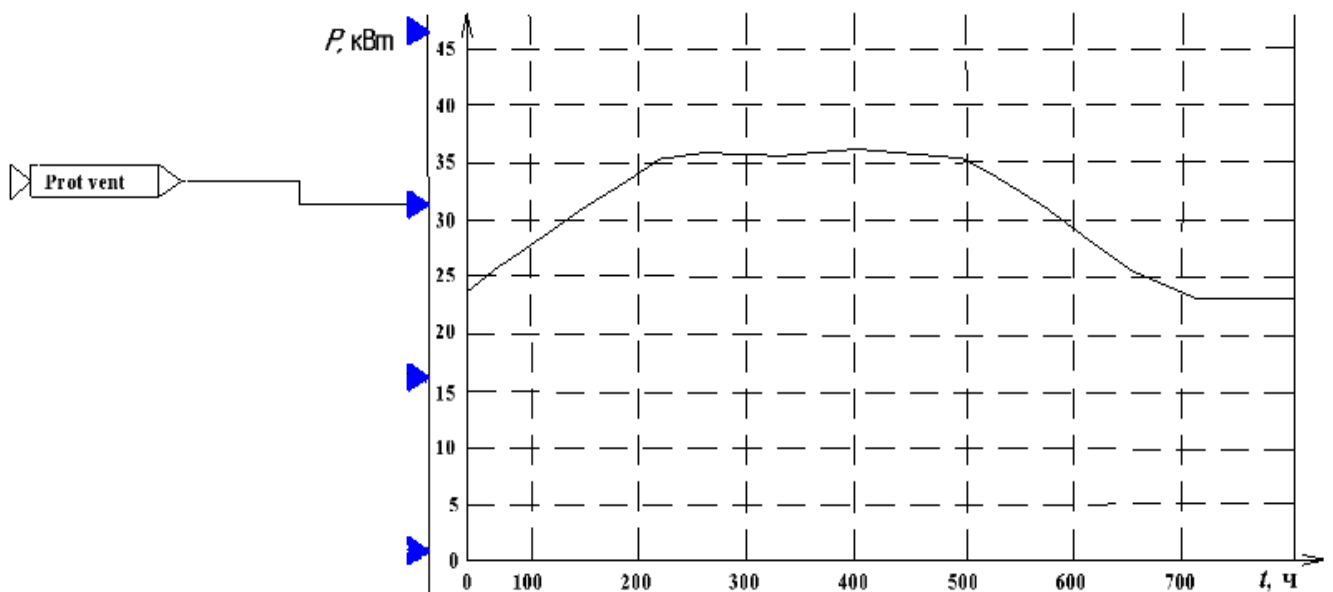


Рисунок 5.7 – Мощность потребляемая вентилятором за 24 часа

Изм.	Лист-	№ докум.№	Под-	Дата-
------	-------	-----------	------	-------

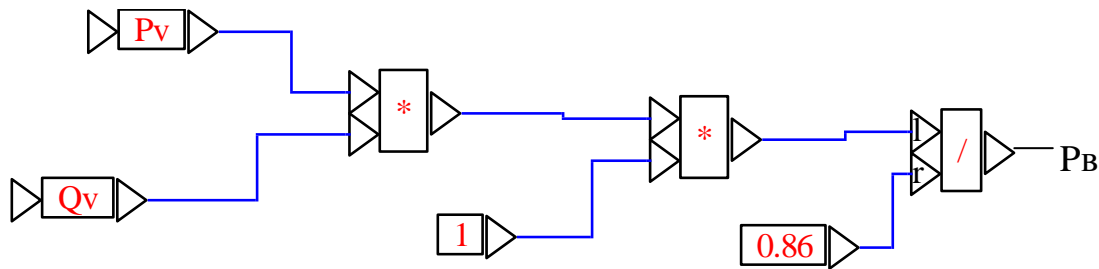


Рисунок 5.8 – Блок реализующий характеристику потребления мощности при работе вентилятора.

Блок преобразователя частоты для вентилятора с ПИД-регулятором в программе VisSim изображён на рисунке 5.9

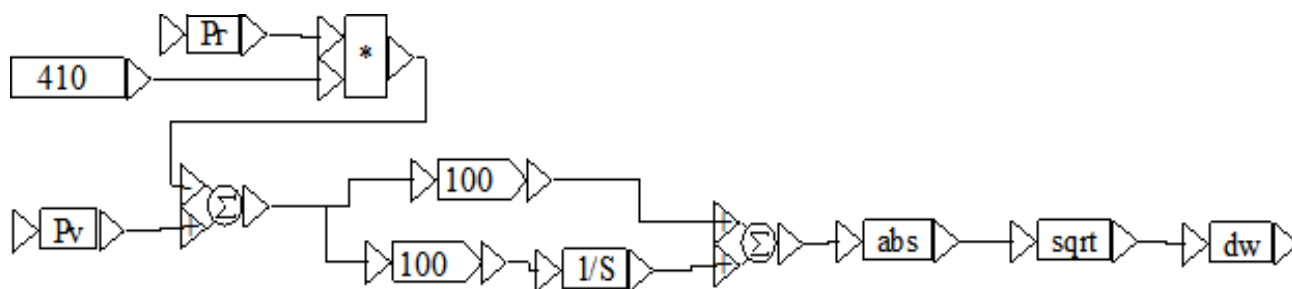


Рисунок 5.9 – Модель блок преобразователя частоты для вентилятора с ПИД-регулятором

Электрическая мощность потребляемая электродвигателем вентилятора при работе,  $P_{э.в}$ , Вт, находится по формуле:

$$P_{э.в} = \frac{P_B \cdot 100\%}{\eta_{эв}}, \quad (5.10)$$

где  $\eta_{п}$  – КПД электродвигателя вентилятора, %.

Электрическая мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора показана на рисунке 5.10

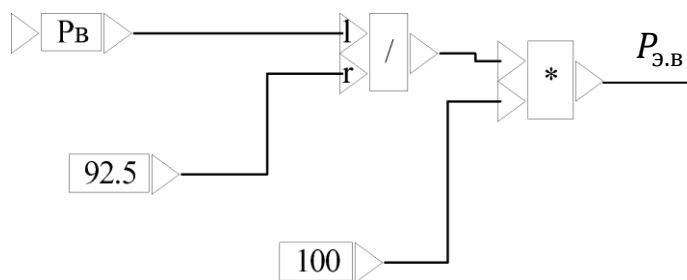


Рисунок 5.10 – Электрическая мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора

Регулирование температура в печи, смоделированы при помощи пакета VisSim.

Блок управления температурой в камере печи показан на рисунке 5.11. Указанные значения приведены в относительных единицах.

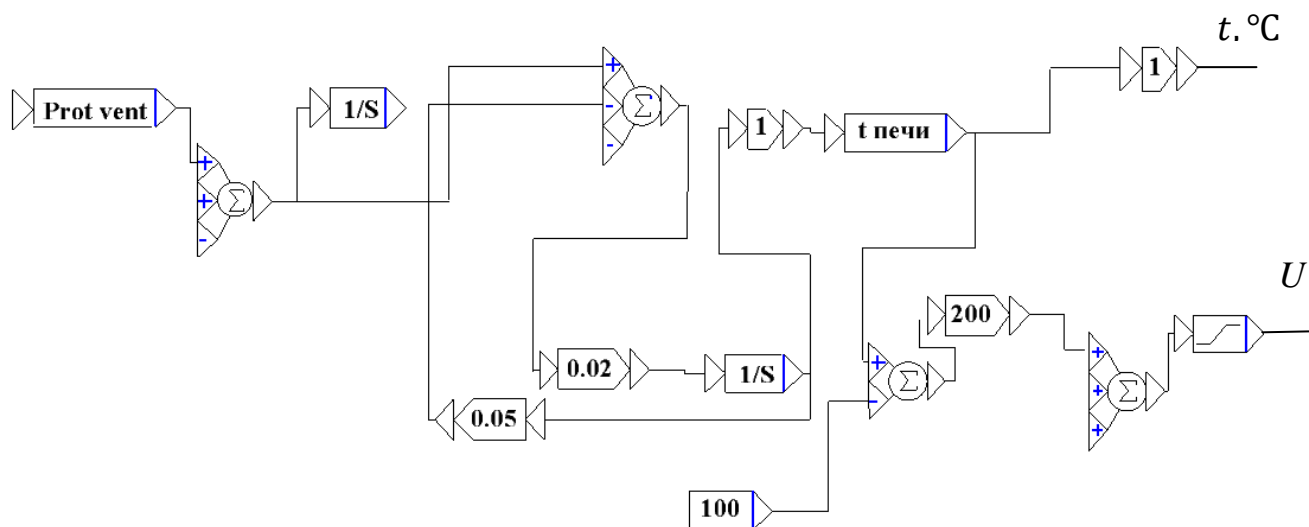


Рисунок 5.11 – Блок управление температурой в топке котла

Нагрев температуры в печи зависит от оборотов центробежного вентилятора, за определенный промежуток времени. Автоматическое управление вентилятором изображено на рисунке 5.12, где 1 температура, 2 обороты двигателя.

График нагрева печи при ручном управлении вентилятором, представлен на рисунке 5.13, где 1 температура, 2 обороты двигателя.

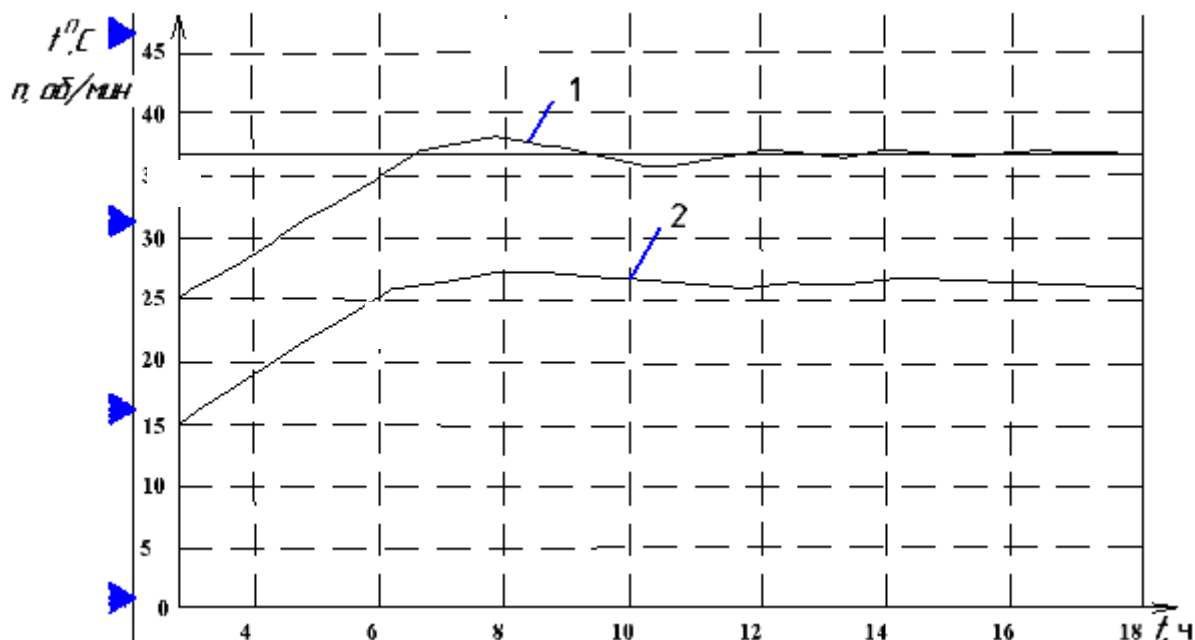


Рисунок 5.12 – График нагрева воздуха при автоматическом управлении  
1 – Температура нагрева камеры печи;  
2 – Обороты двигателя.

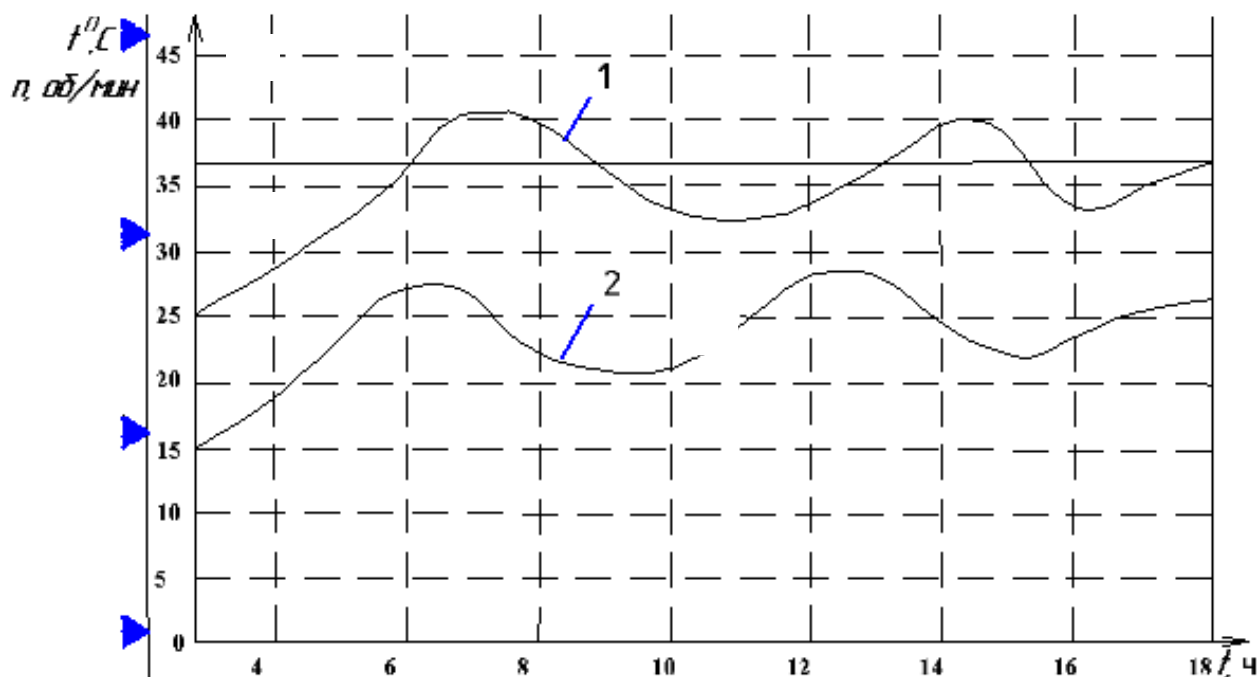


Рисунок 5.13 – График нагрева воздуха при ручном управлении  
 1 – Температура нагрева камеры печи;  
 2 – Обороты двигателя.

Мощность, потребляемая электродвигателем печи, при работе в ручном и автоматическом режиме на различных нагрузках представлена в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Электрическая мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора при работе в ручном и автоматическом режиме

Мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора, кВт	
ручной режим	автоматический режим
1070	980
Экономия мощности потребляемой электродвигателем вентилятора, %	
8,5	

Вывод по разделу пять:

Из результатов динамического моделирования видно, что при применении автоматической системы управления снижается средний расход электрической энергии: электродвигателем вентилятора на 8,5 % за 24 часа работы.

## 6 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### 6.1 Расчет мощности двигателя вентилятора

Расчет мощности электродвигателя  $P_{дв}$ , кВт, привода центробежного вентилятора рассчитывается по формуле:

$$P_{дв} = k_3 \frac{Q \cdot H}{\eta_v \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}, \quad (6.1)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса,  $k_3=(1,1-1,6)$ , принимаем  $k_3=1,6$ ;

$Q$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – давление на выходе вентилятора, Па;

$\eta_v$  – коэффициент полезного действия вентилятора, %;

$\eta_n$  – коэффициент полезного действия передачи, %.

На печи АРП–6 исполнительным органом нагрева воздуха является центробежный нагревательный вентилятор высокого давления, типа ВВД №9. Для достижения максимальной температуры  $t = 250^\circ\text{C}$  в печи вентилятором создается давление на выходе  $H=15000\text{Па}$ , и производительность вентилятора  $Q=9,5\text{ м}^3/\text{с}$ . Характеристики вентилятора приведены при плотности воздуха равной  $\rho = 1,2\text{ кг}/\text{м}^3$ .

Чтобы найти коэффициент полезного действия передач,  $\eta_n$  необходимо учесть  $\eta$  всех узлов. Из рисунка 6.1 видно, что на  $\eta_n$  будут влиять подшипники качения, и муфта.

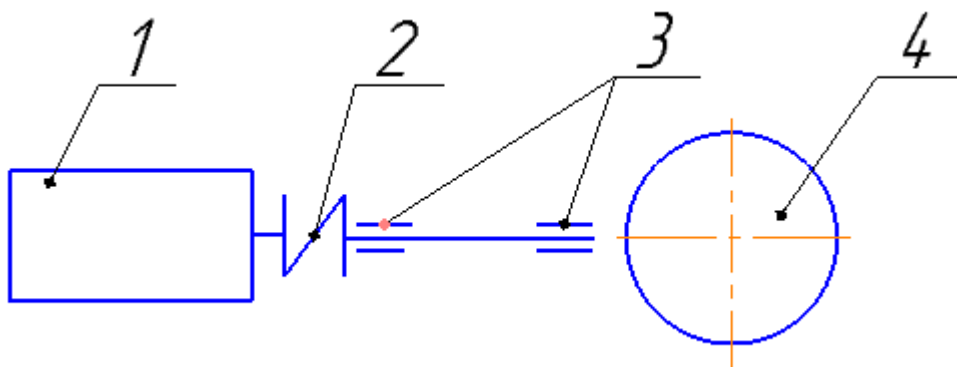


Рисунок 6.1 – Кинематическая схема привода

1 – Электродвигатель;

2 – Муфта;

3 – Подшипники качения;

4 – Вентилятор.

Коэффициент полезного действия передач,  $\eta_n$ , %, рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\pi} = \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{к1}} \cdot \eta_{\text{к1.}}, \quad (6.2)$$

где  $\eta_{\text{м}}$  – коэффициент полезного действия муфты, %,  $\eta_{\text{м}}=0,98$ ;

$\eta_{\text{к12}}$  – коэффициент полезного действия подшипников качения, %,  $\eta_{\text{к}}=0,99$ .

$$\eta_{\pi} = 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,96$$

Коэффициент полезного действия вентилятора,  $\eta_{\text{в}}$ , находится в пределах от 0,69 до 0,77, рисунок 6.2 [11].

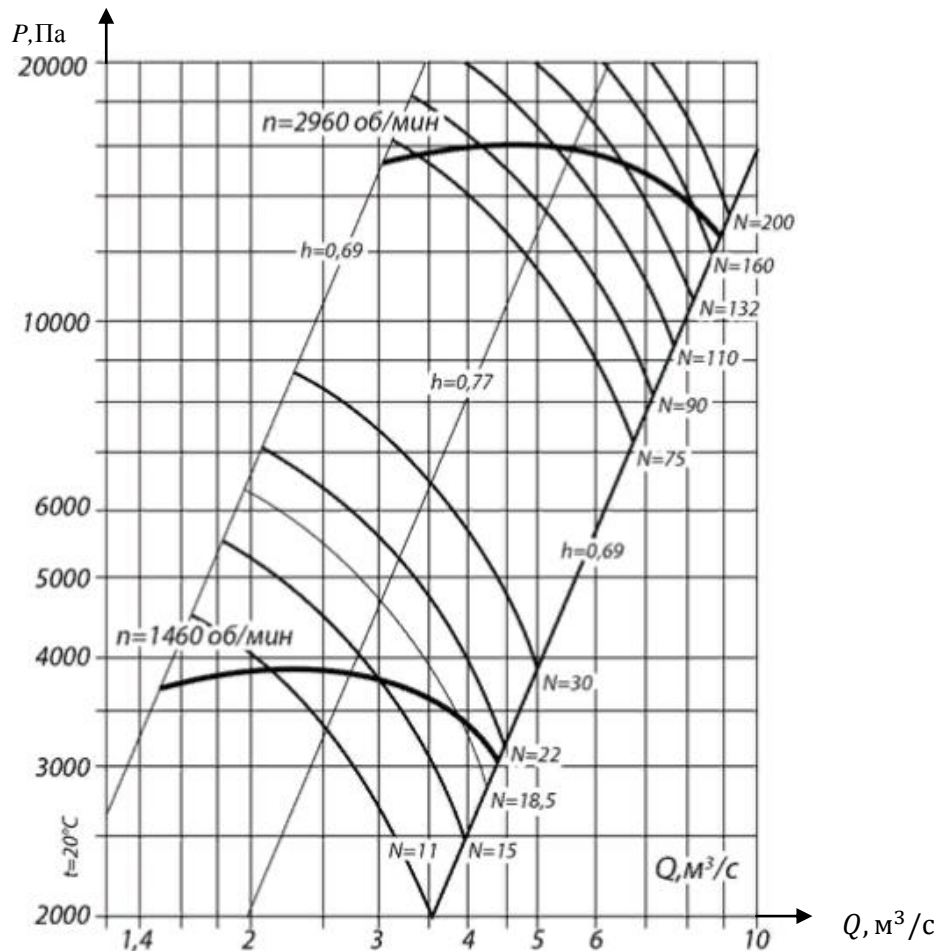


Рисунок – 6.2 Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД №9

Коэффициент полезного действия будет равен  $\eta_{\text{в}} = 0,75$

$$P_{\text{дв}} = 1,6 \frac{6 \cdot 10000}{0,96 \cdot 0,77} = 131,2 \text{ кВт}$$

Исходя из полученных расчетов выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором частотного регулирования, умеренного климатического исполнения в закрытом помещении, со степенью защиты IP55 с принудительным обдувом, АДЧР280М4У3–IM001–1–В–2 по каталожным данным [5].

Изм.	Лист-	№ докум.№	Под-	Дата-
------	-------	-----------	------	-------

Представленные характеристики электродвигателя сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Характеристики двигателя

Параметры	Значения
Тип	АДЧР280М4У3
Мощность, $P$ , кВт	132
Частота вращения, $n$ , об/мин	1485
КПД, $\eta$ , при 100%	95,8
Ток, $I$ , А	235
Момент, $M$ , Нм.	849
Скольжение, $s$ , %.	0,9
$\cos \varphi$	0.88
$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	7,5
$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	2,3
$\lambda = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$	2,2
$\frac{M_{\text{крит}}}{M_{\text{ном}}}$	2,4
$J_{\text{инер.}}$ , кг м <sup>3</sup>	2,7
Масса, $m$ , кг	955
Мощность двигателя принудительного обдува, кВт	0,3

## 6.2 Проверка двигателя по перегрузочной способности.

Номинальный момент двигателя рассчитывается по формуле:

$$M_H = 9570 \cdot \frac{P_H}{n \cdot (1 - s_H)}, \quad (6.3)$$

где  $s_H$  – номинальное скольжение.

$$M_H = 9570 \cdot \frac{132}{1500 \cdot (1 - 0,009)} = 847 \text{ Нм}$$

Критический момент рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{крит}} = M_{\text{ном}} \cdot k_{\text{крит}}, \quad (6.4)$$

где  $k_{\text{крит}}$  – коэффициент критический, определяется по таблице 6.1 .



$$M_{\text{крит}} = 847 \cdot 2,4 = 2032,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент максимальный,  $M_{\text{макс}}$ , определяется по формуле:

$$M_{\text{макс}} = 9570 \cdot \frac{P_{\text{макс}}}{n \cdot (1 - s_{\text{кр}})}, \quad (6.5)$$

где  $s_{\text{кр}}$  – критическое скольжение, %.

Определим критическое скольжение,  $s_{\text{кр}}$ , по формуле:

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{н}} \left( \lambda - \sqrt{\lambda^2 - 1} \right), \quad (6.6)$$

где  $s_{\text{н}}$  – номинальное скольжение;  
 $\lambda$  – перегрузочная способность.

$$s_{\text{кр}} = 0,9 \left( 2,2 - \sqrt{2,2^2 - 1} \right) = 0,225$$

$$M_{\text{макс}} = 9570 \cdot \frac{132}{1500 \cdot (1 - 0,225)} = 1087 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Условием проверки двигателя на перегрузочную способность является

$$M_{\text{макс}} \leq M_{\text{крит}}, \quad (6.7)$$

$$1087 \leq 2032,8$$

Из условия равенства (6.7) видно, что выбранный двигатель удовлетворяет условиям перегрузки.

### 6.3 Выбор частотного преобразователя

Чтобы выбрать частотный преобразователь, необходимо знать параметры двигателя, которым предстоит управлять, а именно мощность потребляемую при максимальных оборотах двигателя, номинальный ток, коэффициент полезного действия, диапазон регулирования частот.

6.3.1 Мощность потребляемая при максимальных оборотах,  $P_{\text{потр}}$ , кВт, определяется по формуле:

$$P_{\text{потр}} = \frac{U \cdot I \cdot \sqrt{3}}{1000}, \quad (6.8)$$

где  $U$  – напряжение питания при  $n=1500$  об/мин;  
 $I$  – потребляемый ток двигателя при  $n=1500$  об/мин.

$$P_{\text{потр}} = \frac{380 \cdot 235 \cdot \sqrt{3}}{1000} = 154.4 \text{ кВт}$$

Условие выбора частотного преобразователя:

$$P_{\text{чп}} \geq P_{\text{потр}}, \quad (6.9)$$

$$160 \geq 154,4$$

По каталожным данным выбираем частотный преобразователь марки «ОМ-  
 RON» 3G3RXB413K. Его характеристики сведены в таблицу 6.2

Таблица 6.2 – Характеристики частотного преобразователя

Параметры	Значения
Марка	3G3RXB413K
Предельно –допустимая мощность, $P$ , кВт	160
Напряжение питания, $U$ , В	380
Количество входов, фаз	3
Количество выходов, фаз	3
Частота регулирования сети, $f$ , Гц	От 0 до 400
Защита двигателя от перегрузки по току	да
Защита двигателя от повышенного напряжения	да
Количество дискретных входов, шт.	8
Количество дискретных выходов	5
Количество релейных входов	5
Количество релейных выходов	4
Дистанционное управление	RS485
Степень защиты	IP20

Частотный преобразователь:

- 1) обеспечивает плавный, регулируемый пуск, с регулированием частоты вращения.
  - 2) Уменьшает перегрузку по току в момент пуска, за счет ограничения пускового тока, который в 5–7 раз больше номинального тока двигателя.
  - 3) Ограничивает перепады напряжения, за счет его регулирования.
- Подключение частотного преобразователя показано на рисунке 6.3

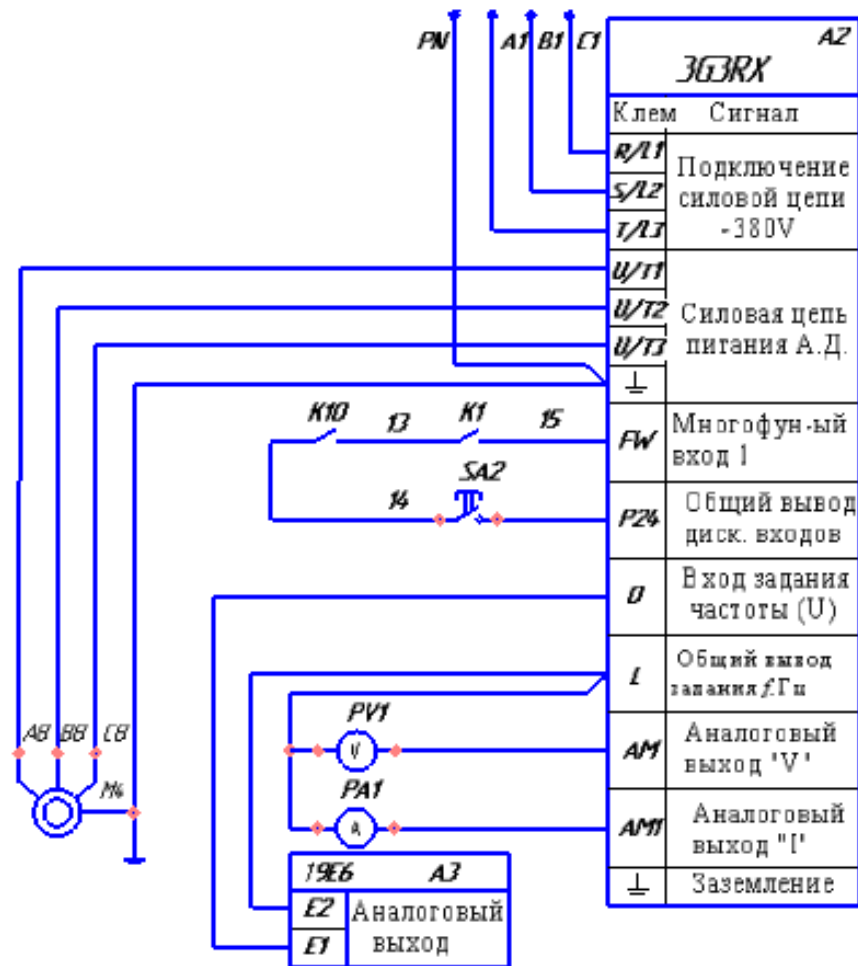


Рисунок 6.3 –Схема подключение преобразователя частоты

#### 6.4 Выбор силового контактора

Контактор – это устройство предназначенное для частой коммутации на удалённом расстоянии силовой части цепи, сразу в двух точках одновременно с высокими нагрузочными токами, включая индуктивную нагрузку. Контактор имеет токовые дугогасительные камеры. Контакторы применяются для управления мощными электродвигателями.

Контакторы универсальны за счет разных навесных модулей , таких как ( тепловое реле, реле времени, блокировочные устройства).

Условие выбора контактора:

- По числу полюсов;

По числу полюсов выбираем трехполюсный контактор на 380В

- По напряжению сети и напряжению управляющей катушки;

$$U_{н.к} \geq U_c, \quad (6.10)$$

где  $U_{н.к}$  – номинальное напряжение питания контактора, В;

$U_c$  – напряжение сети, В.

$$400 \geq 380$$

– По току нагрузки, и по его роду тока.

Род тока питания двигателя является переменным

Ток контактов контактора должен быть больше тока нагрузки двигателя

$$I_k \geq I_d, \quad (6.11)$$

где  $I_k$  – ток главных контактов контактора, А;

$I_d$  – потребляемый ток двигателя, А,  $I_d = 235$ А из таблицы 6.1.

$$I_k 250 \geq 235$$

По расчетным параметрам выбираем силовой контактор АЗ794БУХЛ, его характеристики представлены в таблице 6.3[37].

Таблица 6.3 – Характеристики силового контактора

Параметры	Значения
Марка	АЗ794БУХЛ
Число полюсов	3
Напряжение сети, $U, В$	380
Ток главных контактов контактора, $I, А$	250
Диапазон уставок расцепителя, А	От 120 до 440
Частота питающей сети, $f, Гц$	50/60
С расцепителем минимального напряжения	Нет
Номинальный продолжительный ток, $I_n, А$ .	400
Монтаж на DIN– рейку	Нет
Встроенный моторный привод	Нет
Степень защиты	IP20

В итоге был выбран силовой контактор марки «Контактор» АЗ794БУХЛ, трехполюсный, на напряжение сети равной 380 В, напряжение питания катушки управления равной 380В, ток главных контактов контактора равен 250 А[37].

Схема подключения представлена на рисунке 6.4

### 6.5 Выбор программируемого термодата

Это основной этап при расчете и выборе электрооборудования, потому что данный прибор должен обеспечить автоматизированное управление частотным преобразователем и всем процессом в целом.

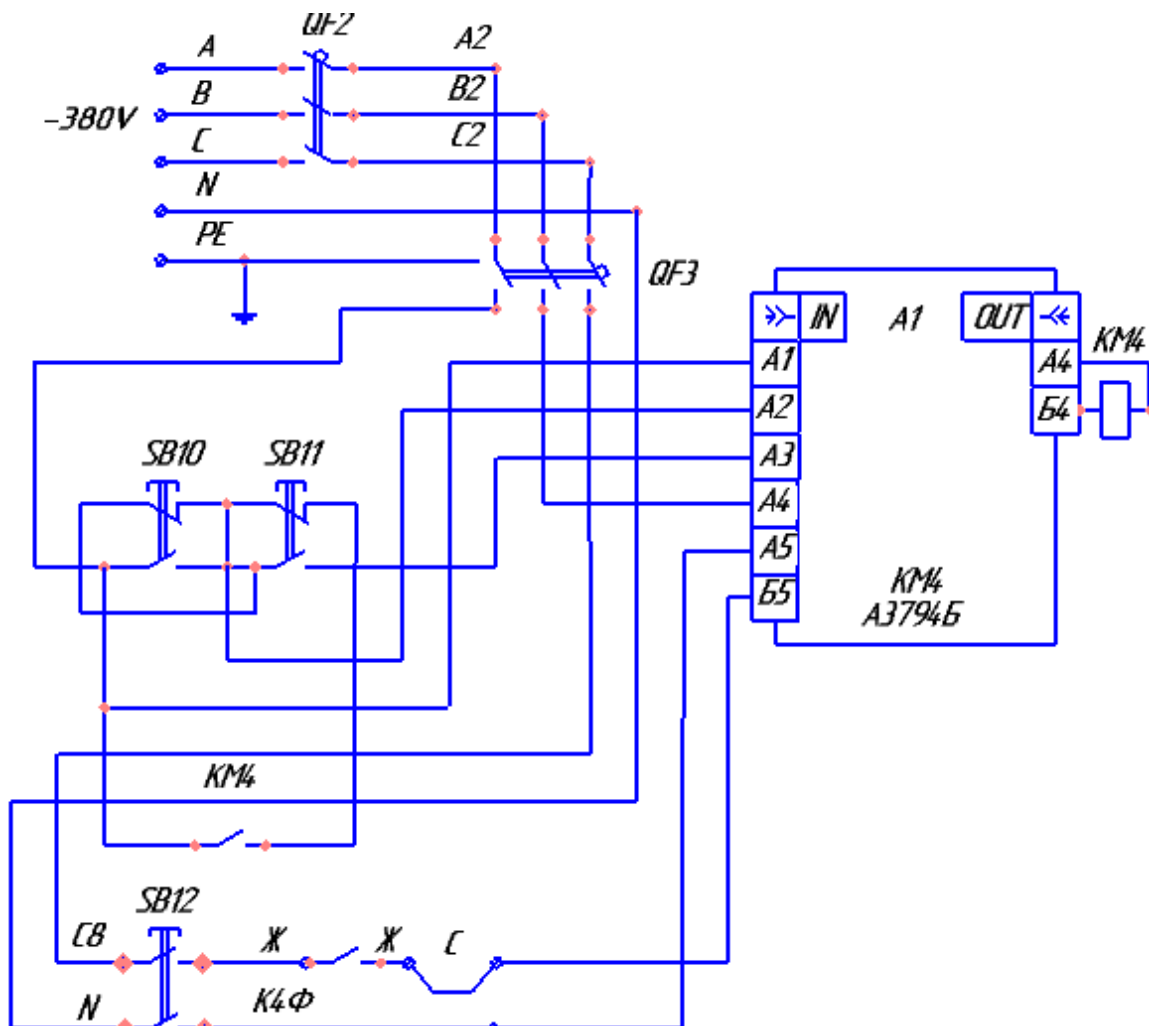


Рисунок 6.4 – Схема подключения контактора

Критерием выбора программируемого термодата является напряжение питания сети и частота сети, а также стоимость и безотказность прибора, диапазон рабочих напряжений и токов, измерения сопротивлений, подключаемых датчиков.

$$U_{н.к} \geq U_c \quad (6.12)$$

где  $U_{н.к}$  – номинальное напряжение питания контроллера  $\pm 10\%$ , В;  
 $U_c$  – напряжение сети, В.

$$232 \geq 220$$

В данном технологическом процессе используется термопара ХК ( $L$ ), которая подходит к параметрам термодата. Параметры термодата представлены в таблице 6.4. Из множества модельного ряда, который присутствует на территории России. Наиболее подходит для данного технологического процесса программируемый термодат марки «ОВЕН» 19Е6. У данной модели имеется 15-дюймовый экран, на котором отображаются параметры нагрева.

Программа составляет от 1 до 10 шагов. Данный аппарат можно отрегулировать по трем законом регулирования:

- Двухпозиционное регулирование
- Трехпозиционное регулирование
- Пропорционально-интегрально-дифференциальное регулирование

При двухпозиционном и «ПИД» регулирование методы управления могут быть следующими:

- Широтно–импульсная модуляция. Применяется при регулирование релейно–симисторными выходами, а также транзисторными выходами. Данный метод управление реализован на изменение скважности времен включения и выключения нагревателя.

- Равномерно–распределенные сетевые периоды. Применяются только при регулирование транзисторными выходами. Данный метод управления основан на том, что изменяется мощность за счет отсеченных и пропущенных некоторых и полных колебаний сетевого тока (0.02сек). Данный метод применяется при управление силовыми тиристорными блоками.

- Фазоимпульсное управление. Данный метод управления основан на том, что с каждого полупериода колебания тока, отсекается часть полупериода

- При двухпозиционном регулирование мощность, подаваемая на нагреватель выхода либо равна нулю, либо она полная.

- трехпозиционное регулирование . Данный метод применяется для урегулированием положения электрошибера или задвижки. В данном методе задействованы 2 канала: транзисторный, который управляет нагревом, и релейно–симисторный, который управляет охлаждением, открыванием электрозадвижки.

Термодат серии 19Е6 имеет USB-порт. При помощи которого осуществляется запись технологического процесса, предназначенного для отдела технологического контроля. Прибор четырех канальный, может одновременно вести 4 автоматических процесса с разными датчиками температуры, такими как ( датчик с токовым выходом, термосопротивление, термопара). Термодат можно использовать как самописец, без регулирования, прибором можно управлять оборотами вентилятора, температурой нагревателя, температурой охладителя[32].

Таблица 6.4 – Технические характеристики термодата

Параметры	Значения
Марка	Термодат «ОВЕН» 19Е6
Рабочее напряжение, В	220±10
Потребляемая мощность, ВА	15
Класс точности прибора, %	0,25
Номинальная частота переменного сети, Гц	50
Размер экрана, дюйм	5,7
Встроенная память, Гб	8
Рабочий диапазон напряжений, В	от 160 до 250
Диапазон измерения сопротивления датчиков, Ом	от 10 до 300

Окончание таблицы 6.4

Параметры	Значения
Диапазон измерения тока с шунтом (20м), мА	От 0 до 40
Число дискретных входов	4
Число дискретных выходов	4
Число аналоговых входов	4
Число аналоговых выходов	5
Время измерения для термопары, с	0,5
Диапазон измерения, С <sup>0</sup>	От 270 до 2500
Скорость измерения температуры, С/ч	От 1 до 6500
Выходной ток управления дискретными выходами, мА	От 0 до 40
Возможность подключения к локальной сети	да
Максимальная нагрузка на выходном реле, А	7
Максимальная нагрузка на выходном симисторе, А	1
Информационный вход RS 485	да
Масса, кг	1,6
Цена, руб	44000

Составлена электрическая принципиальная схема подключения термодата 13.03.02.19.282.00.02.Э2. Частично данная схема представлена на рисунке 6.5

#### 6.6 Выбор элементов аварийной сигнализации

Аварийная сигнализация предназначена для предупреждения и оповещения оператора от отклонения от заданных рабочих параметров печи. В неё входит: звуковая сигнализация – звонок и световая сигнализация – лампа индикации. Схема подключения звонка и лампы представлена на рисунке 5.5

Условием выбора звонка будет напряжение питания катушки:

$$U_k \geq U_c, \quad (6.13)$$

где  $U_k$  – номинальное напряжение питания катушки  $\pm 10\%$ , В;  
 $U_c$  – напряжение сети, В.

$$232 \geq 220$$

Выбираем исходя из условия комбинированный сигнально-световой звонок марки «МАЯК»220 на напряжение питания 220 В, который включает в себя сигнальную и звуковую часть. Его характеристики сведены в таблицу 6.5[38].

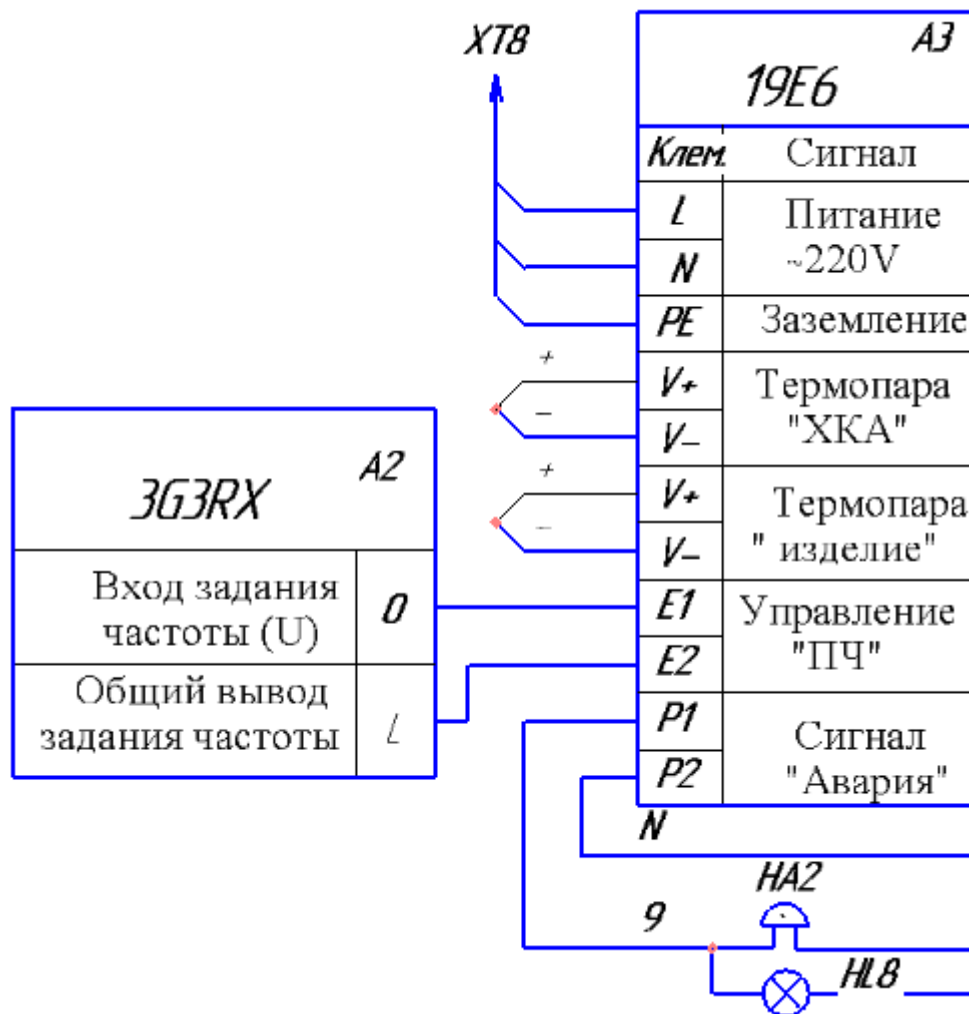


Рисунок 6.5 – Схема подключения «Термодата 19Е6»

Таблица 6.5 – Характеристики сигнально-светового звонка

Параметры	Значения
Марка	«МАЯК»220
Рабочее напряжение, В	220±10
Потребляемая мощность, Вт	66
Степень защиты	IP20

### 6.7 Выбор кабелей и проводов

Выбор сечения кабеля для питания главного электродвигателя вентилятора будет осуществляться исходя из допустимого длительного тока [9]

$$I_d \geq I_{max} \quad (6.14)$$

где  $I_d$  – допустимый длительный ток проводника, А;



$I_{max}$  – максимальный ток нагрузки двигателя, А,  $I_{max} = 273\text{А}$  .

Выбираем по табличным данным учебника [9] кабель марки ВВГ 4×150 четырех жильный медный с двойной изоляцией, сечением равным 150мм<sup>2</sup> и допустимым длительным током равным  $I_d=290\text{А}$ .

$$290 \geq 273$$

Для цепей управления выбран кабель исходя из максимальной нагрузки , которая не превышает 5ампер. ПВС 1×1,5 медный одножильный [9].

Выводы по разделу шесть

Для регулирования технологическим процессом выбран терморегулятор «термодат 19Е6», предназначен для автоматизированной промышленности. Терморегулятор с встроенной функцией регулирования оборотов двигателя имеет 4 дискретных входа для удаленного включения, 4 аналогового входа для подключения термопар, 2 из которых законсервированы, и 5 аналоговых выходов для подключения аварийной сигнализации, четыре из которых законсервированы для дальнейшей модернизации. Прибор имеет жидкокристаллический экран на 5.7 дюйма для контроля за процессом производства.

Выбран исполнительный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором частотного регулирования, мощностью 132 киловатта, АДЧР280М4У3 данный двигатель имеет принудительное охлаждение вентилятором, состоящим из электродвигателя мощностью 0,3 киловатта.

Для регулирования частоты питающей сети двигателя выбран частотный преобразователь мощностью 160киловатт марки: «OMRON» 3G3RXB413K.

Для коммутации силовой части цепи питания двигателя выбран силовой контактор марки А3794БУХЛ с током главных полюсов 270 ампер.

Для предупреждения оператора о перерегулирование температуры выбрана аварийная сигнализация марки «МАЯК»220 на напряжение питания 220 вольт.

										Лист
										43
Изм.	Лист-	№ докум.№	Под-	Дата-	13.03.02.19.282.00.00 ПЗ					

## 7 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

В технико–экономическом разделе рассчитан экономический эффект после модернизации системы с автоматизированным управлением и ее рациональности.

Экономическая рациональность нужна для:

- Уменьшения перерасхода электрической энергии;
- Снижения брака выпускаемой продукции.

Точность поддержания температуры в камере печи зависит от периметриста, который выполняет технологический процесс в ручном режиме, что приводит к перерегулированию температуры свыше 10 процентов, а это влечет за собой перерасход электрической энергии, и получению брака, так как допуск к режиму термообработки детали составляет не более плюс минус 10 процентов.

### 7.1 Расчет затрат с ручным управлением процессом

Расход электроэнергии за 1 год  $Q_{э1}$ , кВт, рассчитывается по формуле:

$$Q_{э1} = F_{до} \cdot k_3 \cdot P_{ср1}, \quad (7.1)$$

где  $F_{до}$  – действительное время работы электрооборудования за 1 год;

$k_3$  – коэффициент загрузки оборудования по времени, принимаем  $k_3=1$ ;

$P_{ср1}$  – средняя мощность, потребляемая электродвигателями вентилятора за 1 день, принимаем  $P_{ср1}= 1070$  кВт, взятая из таблицы 5.2.

Действительное время работы печи за 1 год,  $F_{до}$ , ч, определяем по формуле:

$$F_{до} = F_{н} \cdot (1 - (a_p + a_n)), \quad (7.2)$$

где  $F_{н}$  – номинальное время работы печи;

$a_p$  – коэффициент, потери времени, не учитывается ;

$a_n$  – коэффициент, учитывающий потери времени на настройку и наладку оборудования во время рабочих смен, принимаем  $a_n = 0,07$ .

Номинальное время работы электропривода,  $F_{н}$ , ч, рассчитывается по формуле:

$$F_{н} = T_{см} \cdot f_{см} \cdot F_{рд}, \quad (7.3)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность смены, ч, принимаем  $T_{см} = 12$ ч;

$f_{см}$  – число смен в сутках, принимаем  $f_{см} = 2$ ;

$F_{рд}$  – рабочих дней в году, принимается, с учетом простоя на ремонт  $F_{рд} = 190$  дней.

$$F_{н} = 12 \cdot 2 \cdot 190 = 4560 \text{ ч,}$$

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$F_{до} = 4560 \cdot (1 - (0 + 0,07)) = 4241 \text{ ч,}$$

$$Q_{э1} = 4241 \cdot 1 \cdot 1070 = 4537870 \text{ кВт.}$$

Годовые затраты на электроэнергию  $C_{э1}$ , руб, рассчитывается по формуле:

$$C_{э1} = Q_{э1} \cdot ц, \quad (7.4)$$

где  $ц$  – цена за кВт/ч электроэнергии по челябинской области, принимаем  $ц = 5.11252$  руб в 2019 году.

$$C_{э1} = 4537870 \cdot 5,11252 = 23199951 \text{ руб.}$$

Затраты электроэнергию при ручном регулировании работы печи АРП-6 за 1 год составят 23199951 руб.

## 7.2 Расчет затрат при автоматизированном управлении процессом

Годовой расход электроэнергии после модернизации  $Q_{э2}$ , кВт/ч, рассчитывается по формуле:

$$Q_{э2} = F_{до} \cdot k_3 \cdot P_{ср2}, \quad (7.5)$$

где  $P_{ср2}$  – средняя мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора при автоматизированном управлении, принимаем  $P_{ср2} = 980$  кВт взятая из таблицы 5.2

$$Q_{э2} = 4241 \cdot 1 \cdot 980 = 4156180 \text{ кВт/ч}$$

Годовые затраты на электроэнергию после модернизации  $C_{э2}$ , руб, рассчитываются по формуле:

$$C_{э2} = Q_{э2} \cdot ц, \quad (7.6)$$

$$C_{э2} = 4156180 \cdot 5,11252 = 21248553 \text{ руб.}$$

Расчет капитальных затрат на производственную модернизацию.

Затраты на основные технические средства  $K_{ТС}$ , руб, находятся по формуле:

$$K_{ТС} = K_{КТ} + C_{ТР}, \quad (7.7)$$

где  $K_{КТ}$  – стоимость комплектующих технических средств, руб;

$C_{ТР}$  – транспортные расходы, руб., 3% от затрат на технические средства.

Стоимость комплектующих технических средств, необходимых для получения работы аэродинамической печи АРП-6 в автоматизированном режиме сведены в таблицу 7.1

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Таблица 7.1 – Стоимость комплектующих технических средств

Наименование	Количество, шт	Стоимость за единицу, руб	ВВсего, го, К <sub>КТ</sub> руб.
Электродвигатель АДЧР280М4У3	1	520000	520000
Контактор АЗ794БУХЛ	1	99500	99500
Частотный преобразователь «OMRON» 3G3RXB413K	1	632000	632000
Звонок сигнализация «Маяк» 220	1	530	530
Терморегулятор термодат 19Е6	1	44000	44000
Итого комплектующих	5	–	1296030

В итоге сумма затрат на основные технические средства модернизации составляет  $K_{КТ} = 1296030$  руб.

Рассчитаем транспортные расходы  $C_{Тр}$ , руб, по формуле:

$$C_{Тр} = \frac{3 \cdot K_{КТ}}{100}, \quad (7.8)$$

$$C_{Тр} = \frac{3 \cdot 1296030}{100} = 38881 \text{руб,}$$

$$K_{Тс} = 1296030 + 38881 = 1334911 \text{руб.}$$

Затраты на вспомогательное оборудование  $K_{Вс}$ , руб

$$K_{Вс} = \frac{K_{Тс} \cdot 10}{100}, \quad (7.9)$$

$$K_{Вс} = \frac{1334911 \cdot 10}{100} = 133491 \text{руб.}$$

Затраты на монтаж и наладку технических средств  $K_{Мн}$ , руб определяются по формуле:

$$K_{Мн} = \frac{K_{Тс} \cdot 50}{100}, \quad (7.10)$$

$$K_{Мн} = \frac{1334911 \cdot 50}{100} = 667455 \text{руб.}$$

Капитальные вложения  $K$ , руб, рассчитываются по формуле:

$$K = K_{Тс} + K_{Вс} + K_{Мн}, \quad (7.11)$$

$$K = 1334911 + 133491 + 667455 = 2135857 \text{ руб.}$$

Расходование электроэнергии за 1 год при автоматическом режиме регулирования составляет  $C_{э2} = 21248553$ руб.

### 7.3 Экономический эффект

Приведенные затраты  $Z_i$ , руб, рассчитываются по формуле:

$$Z_i = C_i + E_i \cdot K_i, \quad (7.12)$$

где  $C_i$  – годовые текущие затраты на производства, руб;

$E_i$  – коэффициент экономической эффективности, принимаем 0,15;

$K_i$  – капитальные вложения в подготовку производства, руб.

Приведенные затраты при автоматизированном управление  $Z_2$ , руб

$$Z_i = C_{э2} + E_i \cdot K, \quad (7.13)$$

$$Z_2 = 21248553 + 0,15 \cdot 2135857 = 21568931 \text{ руб.}$$

Для ручной схемы управления приведенные затраты равны  $Z_1 = 23199951$  руб.

Экономический эффект  $\mathcal{E}$ , руб.

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \quad (7.14)$$

$$\mathcal{E} = 23199951 - 21568931 = 1631020 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости  $T_{ок}$ , год, рассчитывается по формуле:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K_{кт}}{\mathcal{E}}, \quad (7.15)$$

где  $\Delta K_{кт}$  – стоимость комплектующих технических средств, руб.

$$T_{ок} = \frac{1296030}{1631020} = 0,8 \text{ год.}$$

Данные экономической оценки полученные при расчете экономического эффекта сводятся в таблицу 7.2

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Таблица 7.2 – Данные экономической оценки

Показатели	Ручное регулирование	Автоматизированное регулирование
Капитальные вложения, К, руб	–	2135857
Затраты на электрическую энергию в год, С <sub>эi</sub> , руб	23199951	21248553
Приведенные затраты, З <sub>i</sub>	23199951	21568931
Экономический эффект, Э, руб	1631020	
Срок окупаемости, Т <sub>ок</sub> , руб	0,8	

#### 7.4 Расчет выпуска бракованной продукции

Расчет количества бракованной продукции по вине оператора произведен на основе справочных показателей надежности персонала на основе теории вероятности осуществления ошибки.

Регулирование температуры процесс последовательный состоящий из нескольких ступеней подъема и выдержки температуры, тогда вероятность совершения ошибки при ручном регулировании Р равна количеству вероятностей ошибок при каждом ступенчатом подъеме температуры [25], вычисляется по формуле:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (7.16)$$

где Р – вероятность совершения ошибки, %;

n – число операций.

P<sub>i</sub> – вероятность ошибки при выполнении i-й операции, %;

Вероятность ошибки оператора (опытного специалиста) при выполнении моторных операций и операций восприятия при ручном управлении приведены в таблице 7.3 [25].

Таблица 7.3 – Вероятность ошибки при ручном регулировании

Вид операции	Количество операций	Вероятность ошибки	Суммарная вероятность, Р
Восприятие показаний цифрового прибора	7	0,0012	0,0084
Нажатие кнопки	7	0,0025	0,0175
Итого			0,0259

Вероятность совершения ошибки при ручном регулировании составил 2,59%

Вероятность ошибки оператора (опытного специалиста) при выполнении моторных операций и операций восприятия при автоматизированном управлении температурой камеры печи приведены в таблице 7.4

Таблица 7.4 – Вероятность ошибки при автоматизированном регулировании

Вид операции	Количество операций	Вероятность ошибки	Суммарная вероятность, Р
Восприятие показаний цифрового прибора	1	0,0012	0,0012
Нажатие кнопки	1	0,0025	0,0025
Итого			0,0037

Вероятность совершения ошибки при автоматизированном регулировании составил 0,4%

#### Выводы по разделу семь

В технико-экономической оценке рассчитан: экономический эффект модернизации, который составил 1631020 рублей в год, срок окупаемости проекта 0,8 года. Затраты на электрическую энергию при автоматизированной системе регулирования сократятся на 8,4 %, а приведенные затраты на 7%. Вероятность возникновения ошибки по вине периметриста при автоматизированном регулировании снизилась на 2,19%.

## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 8.1 Краткое описание рассматриваемого объекта, производственного участка

Низкотемпературная аэродинамическая печь «АРП-6». Предназначена для термообработки композитных изделий и материалов из сплавов металлов. Способна нагреть рабочее пространство до 250<sup>0</sup>С. Воздух в камере нагревается за счет преодоления большого аэродинамического сопротивления. Температура возрастает за счет трение молекул воздуха, вследствие чего механическая энергия вращающегося воздуха переходит в тепловую энергию. Вращение по замкнутой траектории осуществляется центробежным вентилятором с лопатками, которые наклонены под определенным рассчитанным углом. Аэродинамическая печь (рисунки) состоит из асинхронного двигателя 1, подшипникового узла с водяным и масляным охлаждением 2, бетонного основания 3, выкатного пода 4, ротора центробежного вентилятора, который перемещает воздух в печи по замкнутому контуру 5, изделия на поде 6, дверей 7, гидроцилиндра открывания дверей 8, асинхронного двигателя вентилятора 9, пневматического замка дверей 10. Подробное описание в графической части 130302.19.282.00.01.ВО. Высота печи 3,5 метра, расположена в помещении, диапазон эксплуатации от плюс +5<sup>0</sup> С до плюс +45<sup>0</sup>С

### 8.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Физико-географические, климатические условия общие для горнозаводской зоны. В цехе имеются электрические сети напряжением: 6кВ, 0,4кВ, 380В, 220В, 24В. Основным транспортным путем является автомобильная дорога. В цехе расположены горючие легковоспламеняющиеся жидкости, представляющие повышенную пожарную опасность.

На работающий персонал действуют следующие опасные и вредные:

1) Физические: перемещаемые краны и механизмы, напряженность электрического и магнитного поля, повышенная вибрация, высокий уровень газов, плохая освещенность.

2) Химические: различные продукты нефтепереработки, растворители, ацетон.

3) Психологические: нервно-эмоциональные перегрузки, умственные перегрузки.

### 8.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды и трудового процесса

#### 8.3.1 Определение категории тяжести труда при работе на проектируемом объекте

Руководство Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса».

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50



Критерии и классификация условий труда» включает гигиенические критерии оценки факторов рабочей среды, тяжести и напряженности трудового процесса и гигиеническую классификацию условий труда по показателям вредности и опасности.

Работа оператора установки и оператора погрузочных машин относится к II категории тяжести, т.е. работы с затратами энергии более 175...232 Вт, т.е. работы выполняемые стоя или сидя, но не связанные с перемещением тяжестей. При данной категории работ, для комфортных условий, температура воздуха должна составлять от 20 до 22 °С при влажности порядка 40–60 %, скорость перемещения воздуха – не более 0,2 м/с.

Работа работника, обеспечивающего функционирование технологического комплекса, относится к III категории тяжести, т.е. работы с затратами энергии более 290 Вт, связанные с систематическим физическим напряжением. При данной категории работ, для комфортных условий, температура воздуха должна составлять от 17 до 23 °С при влажности порядка 40–60 %, скорость перемещения воздуха – не более 0,3 м/с.

8.3.2 Определение оптимальных параметров микроклимата для помещений проектируемого объекта . При проведении работ на установке необходимо обеспечить соблюдение санитарных норм допустимых уровней освещенности, шума, и напряженности электромагнитного поля в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96.

Производственные и вспомогательные помещения цехов и участков должны быть оборудованы системами отопления, системами вентиляции, аспирации, кондиционирования воздуха в соответствии с [21], обеспечивающими нормальный температурный режим и чистоту воздуха, снижение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 в соответствии с гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений [22]. Допустимый уровень шума устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Санитарные нормы напряженности электромагнитного поля, шума и освещенности приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Санитарные нормы напряженности электромагнитного поля, шума и освещенности

Освещенность $E_n$ , лк		Уровень шума, Дб	Напряженность электромагнитного поля $E$ , кВ/м
Производственные помещения	Рабочие места		
200	200	75	5

9.3.3 Определение характеристики зрительной работы, фона и контраста объекта различения с фоном; нормирование, выбор и расчет системы освещения

По СНиП 23-05-95: Характеристика зрительной работы – малая точность; Наименьший или эквивалентный размер объекта различения (НРОР), мм – от 0,5 до 1; Разряд зрительной работы – IV; Подразряд зрительной работы – б; Контраст объекта с фоном – средний; Характеристика фона – средний; Освещенность при системе общего освещения, лк – 200.

### 9.3.4 Определение предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе.

Технологический процесс сопровождаются выделением пыли. В воздухе рабочей зоны ПДК вредных веществ регламентируются ГОСТ 12.1.005-88 и ГН 2.2.5.686-98. Предельно допустимая концентрация пыли 6 мг/м<sup>3</sup>. Оптимальная относительная влажность воздуха в производственных помещениях колеблется в пределах 40–60 %, допускаемая составляет не более 75 %

## 8.4 Охрана труда

К работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, обученные по специальной программе, должны быть здоровы ознакомившиеся с принципом работы и конструкцией комплекса, прошедшие инструктаж вводный и первичный инструктаж на рабочем месте. Работник должен пройти проверку знаний по оказанию первой помощи пострадавшим в связи с несчастными случаями при обслуживании энергетического оборудования; проверку знаний по применению средств защиты, необходимых для безопасного выполнения работ; обучение по программе подготовки персонала; ПТБ для рабочих, имеющих право подготавливать рабочее место, осуществлять допуск, быть производителем работ, наблюдающим и членом бригады в объеме, соответствующем обязанностям ответственных лиц ПТБ.

Допуск к самостоятельной работе оформляется соответствующим распоряжением по предприятию.

Для защиты от воздействия опасных и вредных факторов необходимо применять следующие меры безопасности.

При работе на движущихся и вращающихся машинах и механизмах не должно быть развевающихся частей, которые могут быть захвачены движущимися частями механизмов.

При необходимости нахождения вблизи горячих частей оборудования следует принять меры по защите от ожогов и действия высоких температур (ограждение оборудования, вентиляция).

При выполнении работ на участках с температурой воздуха выше 33°C необходимо применять режим труда с интервалами времени для отдыха и охлаждения.

При недостаточной освещенности рабочей зоны следует применять дополнительное местное освещение.

Для защиты от поражения электрическим током необходимо применить диэлектрические перчатки, ковры, изолирующие подставки.

Перед каждым пусковым устройством электродвигателей должны находиться диэлектрические коврики или изолирующие подставки.

Электромонтер должен работать в спецодежде и спецобуви и применять другие средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Электромонтеру бесплатно должны выдаваться согласно отраслевым нормам следующие средства индивидуальной защиты: костюм хлопчатобумажный (на 12 мес.); сапоги кирзовые или ботинки (на 12 мес.); рукавицы комбинированные (на 3 мес.); куртка ватная (на 24 мес.).

При выдаче двойного сменного комплекта спецодежды срок носки должен удваиваться.

В зависимости от характера работ и условий их производства электромонтеру бесплатно временно должна выдаваться дополнительная спецодежда и защитные средства для этих условий.

#### 8.4.1 Требования правил безопасности при ремонтно-наладочных работах.

Соблюдение правил техники безопасности является главным условием предупреждения производственного травматизма. Самые совершенные условия труда и новейшие технические мероприятия по технике безопасности не смогут дать желаемые результаты, если работник не понимает их назначения. Знание производственных трудовых процессов, применяемого оборудования, приспособлений, инструмента и безопасных способов и приемов в работе создают условия для производительного труда без травматизма.

Действующие в настоящее время «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» введены в действие 1 июля 2001 г. Они распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения. С введением данных правил отменены «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Несоблюдение правил безопасности и неосторожное обращение с электротехническим оборудованием может привести к тяжелым последствиям и даже к смертельным исходам.

Задачи техники безопасности заключаются в создании таких условий работы на объекте монтажа, при которых обеспечивается высокопроизводительный труд монтажного персонала и полностью исключается возможность травм.

Администрация монтажных организаций должна обеспечивать систематический контроль за соблюдением электромонтажниками правил безопасности, применением предохранительных приспособлений, спецодежды и других средств индивидуальной защиты. Должностные лица, не обеспечившие выполнение этих требований, привлекаются в установленном порядке к административной или уголовной ответственности согласно действующему законодательству.

Электрозащитные средства и средства индивидуальной защиты, используемые при строительномонтажных работах (диэлектрические перчатки, указатели напряжения, инструмент с изолирующими рукоятками, предохранительные пояса, каски и т.п.), должны соответствовать требованиям государственных стандартов и «Правил применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках».

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Рабочие и служащие электромонтажных организаций допускаются к выполнению работ только после прохождения вводного инструктажа (общего) и инструктажа на рабочем месте (производственного) по технике безопасности. Все электромонтажники должны пройти курсовое обучение по технике безопасности и специальное техническое обучение. Обучение производится администрацией по типовым программам. Ответственность за своевременность, полноту и правильность обучения по технике безопасности несет руководитель монтажного участка, организации, предприятия. По окончании обучения квалификационная комиссия принимает экзамен и присваивает обучаемым соответствующую квалификационную группу по электробезопасности.

К персоналу, монтирующему электроустановки, предъявляются особые требования. При приеме на работу по монтажу электроустановок поступающий обязательно проходит медицинский осмотр в поликлинике.

## 8.5 Производственная санитария

В соответствии с законом “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения” на цехе осуществляется производственный контроль, за соблюдением требований Санитарных правил. Проводятся профилактические мероприятия, направленные на предупреждение возникновения заболеваний работающих в производственных помещениях. Осуществляется контроль, за условиями труда и отдыха и выполнением мер коллективной и индивидуальной защиты работающих от неблагоприятного воздействия микроклимата.

При проведении работ на электроустановках аэродинамической печи АРП-6 необходимо обеспечить соблюдение санитарных норм допустимых уровней освещенности, шума, и напряженности электромагнитного поля в соответствии с санитарными нормами, утвержденными Минздравом России. Действующие санитарные нормы на котельной №2 приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Санитарные нормы напряженности электромагнитного поля, шума и освещенности.

Норма	Освещенность E <sub>н</sub> , лк.		Уровень шума, дБА	Напряженность электромагнитного поля E, кВ/м
	производственных помещений	рабочих мест		
	30-100	200		

### 8.5.1 Защитное заземление

Заземление в сети 6 и 0,4 кВ принято общим. В качестве естественных заземлителей используются металлические каркасы зданий, различные трубопроводы. Кроме этого, имеется наружный контур заземления. Наружный контур заземления соединен с внутренним контуром. Внутренний контур выполнен полозой сталью 25 x 4 мм<sup>2</sup> и проложенной по стенам на высоте 0,7 м от уровня пола.

Все соединения в сети заземления выполнены сваркой. Сопротивление растека-ния тока заземлителя не превышает 4 Ом. Заземлению подлежат корпуса электродвигателей, трансформаторов, металлические оболочки кабелей и проводов, металлические ограждения. Для электроустановок с напряжением до 1000 В сопротивление заземляющего устройства должно быть не менее 10 Ом.

#### 8.5.2 Освещение.

Рабочее освещение предусмотрено для всех помещений здания, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не производится, составляет не более 25 % нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения.

Очистку светильников, замену ламп и плавких вставок, ремонт и осмотр осветительной сети производит персонал службы электриков.

Измерение освещенности рабочих мест производится при вводе в эксплуатацию и в дальнейшем по мере необходимости.

Осмотр осветительной сети производится 1 раз в сутки дежурным персоналом.

Обнаруженные при проверке и осмотре дефекты должны быть устранены в кратчайший срок.

Для человека вредным является вредным как недостаточный уровень освещения среды обитания, в том числе производственной среды, так и наличие в ней достаточно мощных по световому потоку источников света (если смотреть на мощный источник света незащищенными глазами, то возможно поражение глаз, приводящее к временной или полной потере зрения).

Уровень и характеристики освещенности на рабочем месте оказывают значительное влияние на самочувствие и настроение работающих.

Увеличение освещенности рабочих поверхностей улучшает видимость объектов за счет повышения их яркости, повышает скорость различения деталей. Так при увеличении освещенности на сборочном конвейере с 30 до 75 лк производительность труда повышается примерно на 10%. При увеличении освещенности до 100 лк производительность увеличивается примерно на 30%.

Неправильно организованное или недостаточное освещение наносит вред зрению работающих, может стать причиной таких заболеваний, как близорукость, спазм, аккомодация, зрительное утомление и другие; понижает зрительную и физическую работоспособность; увеличивает число ошибочных действий персонала, что может привести к авариям и несчастным случаям.

Неравномерное освещение создает условия, при которых увеличивается вероятность механических повреждений работающих, вероятность соприкосновения с проводами, находящимися под напряжением и так далее.

Необходимо стремиться к равномерному распределению яркости рабочих поверхностей и окружающих предметов. Необходимость постоянной переадаптации глаз вызывает их утомление и следовательно, приводит к снижению производительности труда. В поле зрения работающих не должно быть блестящих поверхностей, которые отвлекают внимание и могут вызвать ослепление и ухудшение видимости объектов различения.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Устранение данных факторов достигается регулированием высоты установки светильников, изменение направления подачи светового потока на рабочее место, а также изменение угла наклона рабочих поверхностей.

При длительном недостатке естественного освещения человек начинает испытывать дискомфорт, возникает синдром «солнечного голодания», снижается устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов химической, физической и бактериологической среды, а также стрессовых ситуаций.

Оптическое излучение искусственных источников, применяемых для освещения, отличаются по спектру от естественного излучения. В нем отсутствует ультрафиолетовый поток и разнится спектр видимого света.

Наибольшим отличием от естественного характеризуется свет от ламп накаливания; свет от газоразрядных ламп низкого и высокого давления в большей мере приближен по спектру к естественному дневному свету.

### 8.5.3 Расчет освещения

Согласно СНиП 23-05-95 спроектировано искусственное освещение цеха. Где установлена печь АРП-6. Определим потребность количества светильников для соблюдения санитарных норм в производственных помещениях и на рабочих местах. [10]

Световой поток  $\Phi$ , лм, определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot \eta}, \quad (8.1)$$

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещенность, лк;

$S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп (ЛБ - лампы белого света), принимаем  $z = 1,1$ ;

$k$  – коэффициент запаса, принимаем  $k = 1,5$ ;

$N$  – число светильников в помещении, шт.;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока ламп,

$$\eta = K_p \cdot i, \quad (8.2)$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий влияние отражающих свойств потолка, стен и пола, принимаем  $K_p = 0,8$ .

$i$  – индекс помещения;

Индекс помещения  $i$ , рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{H \cdot (A + B)}, \quad (8.3)$$

где  $A$  – длина помещения, м;

$B$  – ширина помещения, м;

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$H$  – высота светильника над рабочей поверхностью, м.

$$i = \frac{100 \cdot 80}{15 \cdot (100 + 80)} = 2,9,$$

$$\eta = 0,8 \cdot 2,9 = 2,32.$$

Число светильников в помещении  $N$ , шт., определяется из формулы:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot z \cdot k}{\Phi \cdot \eta}, \quad (8.4)$$

$$N = \frac{100 \cdot 8000 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{4000 \cdot 2,32} = 142$$

Для соблюдения санитарных норм в помещении цеха, где располагается печь установлено 142 светильника ДРЛ 500.

#### 8.5.4 Воздействие шума и вибрации на человека

Шум и вибрация являются причиной снижения работоспособности, ослабления памяти, внимания, остроты зрения, что может привести к травматизму и авариям. Длительное воздействие интенсивных шумов может вызвать частичную, а иногда и полную потерю слуха. Степень вредности шума и вибрации зависит от частоты, уровня (силы), продолжительности и регулярности их воздействия. Классификация шумов, допустимые уровни шума на рабочих местах установлены в ГОСТ 12.1.003 – 96. Общие требования безопасности и СН 245 -75.

Источником шума в печи является 64 ДБА при норме 75 ДБА.

Шум возникает в результате плохой балансировки, центровки, неуравновешенности роторов, муфт, маховиков и других вращающихся деталей и вследствие неплотного крепления деталей и перекосов, недостаточной смазки. Обслуживающий персонал обязан тщательно следить за исправностью и нормальной работой оборудования, вовремя устранять подобные неполадки, которые к тому же могут явиться причиной аварии.

В число основных мер по предотвращению воздействия шума на персонал входят комплексная автоматизация и дистанционное управление технологическими процессами, вызывающих шум.

Для ограничения распространения шума используют звукоизолирующие кожухи, полы, стены, перекрытия. Стены помещений, где размещаются вызывающие шум агрегаты, не рекомендуется окрашивать масляной краской и облицовывать метлахской плиткой, так как это увеличивает отражение звука. В таких помещениях используют акустическую штукатурку, акустическую черепицу, войлок, стекловолокно.

При эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места применяются средства и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029. А также применяются средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Для предотвращения воздействия шума, на обслуживающий персонал предусмотрено звукоизоляционное помещение «Щитовой».

При работе печи возникает вибрация конструкций, которая так же как и шум вредно действуют на человека. Начальные стадии вибрационной болезни при воздействии общей вибрации характеризуются головными болями, нарушениями сна, повышенной утомляемостью и раздражительностью. Иногда наблюдаются головокружения. Вибрация может быть причиной функциональных расстройств нервной и сердечно-сосудистой систем, а также опорно-двигательного аппарата. Основные требования по устранению вибрации изложены в стандарте 12.1.012 – 78 «Вибрация. Общие требования безопасности». Защита от вибрации осуществляется путем устройства упругих элементов, размещенных между вибрирующей машиной и основанием, на котором она установлена.

#### 8.5.5 Влияние электромагнитного поля на живые организмы

Непосредственное (биологическое) влияние электромагнитного поля на человека связано с воздействием на сердечно – сосудистую, центральную и периферийную нервные системы, мышечную ткань и другие органы. Вредные последствия пребывания человека в электрическом поле зависят от напряженности поля  $E$ , кВ/м, и от продолжительности его воздействия.

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 предельно допустимый уровень напряженности электромагнитного поля на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

Контроль, за соблюдением требований санитарных правил на котельной №2 осуществляется органами Госсанэпиднадзора и лицами, ответственными за соблюдение правил по безопасным условиям труда в порядке проведения производственного контроля.

#### 8.5.6 Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха

Помещение цеха , где располагается печь АРП–6, имеет естественную вентиляцию. Отопление помещения осуществляется посредством от батарей отопления и тепловых регистров и настенных калориферов. Температура в помещении поддерживается в пределах  $20^0$  С при постоянном присутствии обслуживающего персонала. Это соответствует санитарным нормам проектирования промышленных предприятий. Температура наружного воздуха при расчёте систем вентиляции воздуха и воздушного отопления принимаются в соответствии с требованиями СНиП 41-01-2003.

#### 8.5.7 Мероприятия по снятию психологических перегрузок

Общая продолжительность рабочего времени, времени начала и окончания работы, продолжительность обеденного перерыва, периодичность и длительность внутрисменных перерывов, работа в ночное время определена в соответствии с действующим законодательством и правилами внутреннего трудового распорядка.

При непрерывном цикле работ на аэродинамической печи АРП–6, разработан график сменности, который доведен до сведения работников.

Под психологическими перегрузками принимается: умственное перенапряжение, переутомление, перенапряжение зрительных, монотонность труда.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58



Все эти факторы отрицательно сказываются на производительности труда. Увеличивается вероятность травматизма, вырастает риск аварий. Для снятия психологических перегрузок с персонала предусмотрена комната психологической разгрузки. Даже небольшой отдых приводит к снятию психологической нагрузки.

#### 8.6 Эргономика и производственная эстетика

Правильное решение комплекса вопросов производственной эстетики благоприятно воздействует на организм человека, исключает причины травматизма и профессиональных заболеваний, повышает производительность труда и культуру производства. Конструкция и обустройство рабочего места должны обеспечивать оптимальную рабочую позу работника, учитывающую и не препятствующую естественным физиологическим процессам организма работника и обеспечивающую оптимальную возможность выполнения работы для которой предназначено рабочее место. Рабочее место периметриста организовывается в соответствии с ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования». При проектировании пульта управления учитываются требования ГОСТ 22269-76 «Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования». Высота рабочей поверхности пульта управления составляет 1050мм. Технологический процесс не требует постоянного передвижения работающего и физическая тяжесть работ позволяет выполнять их в положении сидя, в конструкцию рабочего места следует включить кресло.

#### 8.7 Противопожарная и взрывобезопасность

Руководители цеха несут ответственность за противопожарную безопасность помещений и оборудования тепловых энергоустановок, а также за наличие и исправное состояние первичных средств пожаротушения.

Категория противопожарной безопасности для помещения и оборудования аэродинамической печи АРП–6 определена как В по ОНТП 01- 91, то есть производство, связанное с применением взрывоопасных веществ и материалов. Помещение цеха построено из негорючих материалов, стены сделаны из кирпича и бетона, перекрытия – из железобетона, пол – из бетона. Кабели в печи проложены в кабельных каналах, подвесных металлических лотках и в трубах с соблюдением требований и рекомендаций, обеспечивающих пожарную безопасность в кабельном хозяйстве.

Основы пожарной защиты предприятия определены государственными стандартами. Персонал, обслуживающий тепловые энергоустановки аэродинамической печи АРП–6, проходит противопожарный инструктаж, занятия по пожарно-техническому минимуму, участвует в противопожарных тренировках.

В цехе, где расположена аэродинамической печи АРП–6, установлен противопожарный режим работы и выполняются противопожарные мероприятия

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Также разработан оперативный план тушения пожара не допускающий действий, которые могут привести к пожару или возгоранию. Разработана и утверждена инструкция о мерах пожарной безопасности и план (схема) эвакуации людей в случае возникновения пожара на тепловых энергоустановках, приказом руководителя назначены лица, ответственные за пожарную безопасность отдельных территорий, зданий, сооружений, помещений, участков, создана пожарно-техническая комиссия и система оповещения людей о пожаре.

По каждому происшедшему случаю пожара или загорания проводится расследование комиссией, создаваемой руководителем предприятия или вышестоящей организацией. Результаты расследования оформляются актом. При расследовании устанавливается причина и виновники возникновения пожара (загорания), по результатам расследования разрабатываются противопожарные мероприятия.

Цех, где расположена аэродинамической печи АРП–6, оборудован сетями противопожарного водоснабжения, установками обнаружения и тушения пожара в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

На участке, где расположена аэродинамической печи АРП–6 предусмотрен набор первичных средств пожаротушения: огнетушители ОУ, ОХП; противопожарный инвентарь (лопаты, песок, ломы, топоры, багры); на этаже установлены пожарные гидранты с таким расчетом, чтобы обеспечить подачу воды в любую точку помещения.

В каждом шкафу находится брезентовый рукав длиной не менее 10 м со стволом. В помещении цеха предусмотрены технические средства (лестничные клетки, противопожарные стены, наружные пожарные лестницы), имеющие устойчивость при пожаре и огнестойкость конструкций, необходимые для спасения людей при пожаре и расчетного времени тушения пожара.

Окраска составных частей установок пожаротушения, включая трубопроводные коммуникации, соответствует требованиям ГОСТ 12.4.009 - 83 и отраслевых стандартов.

Огнетушители размещаются в легкодоступных и заметных местах, где исключено попадание на них прямых солнечных лучей и непосредственное воздействие отопительных и нагревательных приборов. Обеспечивается возможность прочтения маркировочных надписей на корпусе, а также удобство и оперативность пользования ими.

## 8.8 Экологическая безопасность

В результате технологического процесса образуются излишки текучих смол и растворителей, которые с целью снижения их опасности попадания в окружающую среду дожигаются до состояния шлака в камере аэродинамической печи АРП–6. Данные шлаковые образования с целью минимизации ущерба окружающей среде вывозятся на Карабашский полигон твердо-бытовых отходов.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

## 8.9 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций

Российская система предупреждений и действий в ЧС призвана решать значительно больший круг задач, чем ранее ГО.

Центральная задача – проведение мероприятий: по предупреждению аварий, катастроф и стихийных бедствий; по обеспечению безаварийной работы; по максимальному снижению разрушений, людских и материальных потерь в случае возникновения непредвиденных аварийных обстоятельств; по повышению устойчивости.

Они охватывают инженерную, радиационную, химическую, медицинскую защиту. При возникновении ЧС решается комплекс специальных задач по ликвидации последствий, важнейшим из которых является проведение спасательных и других неотложных работ, направленных на спасение жизни и сохранение здоровья людей, на локализацию зон чрезвычайных ситуаций, прекращение действия характерных для нее опасных факторов. Мероприятия по подготовке и проведению спасательных и других неотложных работ в зоне ЧС тесно связаны с мероприятиями по обеспечению устойчивости работы объекта. Мероприятия по повышению устойчивости работы объектов будут экономически обоснованы, если они максимально увязаны с задачами, решаемыми в период безаварийной работы объекта, улучшения условий труда, совершенствования производственного процесса.

Наиболее частая причина возникновения ЧС – это пожар. Для уменьшения вероятности возникновения пожаров в цехе применяется автоматическое азотное пожаротушение и рациональное расположение оборудования. Все помещения снабжены средствами пожаротушения и схемами эвакуации людей. Все электрооборудование выполнено во взрывозащищенных корпусах.

Все работники должны знать, четко соблюдать и требовать от других выполнения в цехе правил пожарной безопасности, следить за наличием и исправностью средств пожаротушения и в случае пожара уметь ими пользоваться. Ответственные за пожарную безопасность на участке лица, ежедневно перед началом работ должны проверять состояние электрооборудования и комплектность средств пожаротушения, пожарного оборудования. На участке должен быть оборудован пожарный стенд, укомплектованный инструментами и средствами пожаротушения. Все проходы к ним должны быть постоянно свободными.

Основными мероприятиями по повышению устойчивости работы аэродинамической печи АРП–6 являются: повышение прочности и устойчивости конструкции печи и совершенствование технологического процесса; повышение устойчивости материально-технического снабжения; повышение устойчивости управления; разработка мероприятий по уменьшению вероятности возникновения вторичных факторов ЧС и ущерба от них; подготовка к восстановлению производства после аварии. Повышение устойчивости печи достигнуто путем применения для несущих конструкций высокопрочных и легких материалов. Применение огнестойких кровельных материалов из не горючей минеральной ваты.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Двери печи бронированные и имеют пневмозамки, для того чтобы двери при возгорании не выбило. Повышение устойчивости оборудования достигается путем созданием запасов элементов, отдельных узлов и деталей, материалов и инструментов для ремонта и восстановления поврежденного оборудования. К организационным мероприятиям, повышающим устойчивость управления объекта, относится заблаговременная подготовка руководящих работников и ведущих специалистов к взаимозаменяемости. Для замены недостающих специалистов привлекают квалифицированных рабочих, хорошо знающих производство.

8.9.1 Медицинское обеспечение заключается в практическом обучении работников, оказанию первой доврачебной помощи пострадавшему на работе, осуществляется по специальной программе. В случае возникновения опасности оповещение производится при помощи внутрицехового радио и сирены.

#### Выводы по разделу восемь

В данном разделе рассмотрены и изучены организационные правила, правила охраны труда, эргономические, правила пожарной и взрывобезопасности, гражданской обороны, в организации АО «Златмаш». Произведен расчет освещения на рабочем месте, разработаны мероприятия по улучшению защиты от опасных и вредных производственных факторов, по снятию психологических перегрузок. Рассмотрены мероприятия по уменьшению вредного воздействия на окружающую среду деятельности аэродинамической печи АРП-6. Проанализирована эргономика и производственная эстетика, выбрана наилучшая компоновка рабочего места. Все расчетные и измеренные показатели находятся в пределах установленной нормы.

									Лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.19.282.00.00 ПЗ				

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработана автоматизированная система поддержания технологических параметров аэродинамической печи АРП–6. Произведен анализ работы данной печи.

На основании анализа технологического процесса работы, была разработана структурная схема автоматизированного управления данной электроустановкой, главным управляющим элементом которой, является терморегулятор.

Была разработана схема электрическая принципиальная для автоматизированного управления.

Произведено динамическое моделирование автоматизированной системы управления в среде «VISSIM», при помощи которой было выявлено перерегулирование на 8.5% в сравнение с ручным регулированием.

В результате автоматизированное управление в отличие от ручного управления аэродинамической печью АРП–6 позволило:

- уменьшить расход электрической энергии на 8.4%.
- уменьшить вероятность возникновения ошибки по вине периметриста на 2,19% так как требуется гораздо меньше концентрации внимания.

Экономический эффект от автоматизированной системы составил 1631020 рублей в год. Срок окупаемости проекта 0,8 года.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.19.282.00.00 ПЗ					63

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Ананьев В. А., Тевис П. И., Шадек Е. Г. Рециркуляционные установки аэродинамического нагрева / В.А. Ананьев. – М.: Машиностроение, 1986. – 208с.
- 2 Москаленко, В.В. Электрический привод: учебник для студ. Высш. Учеб. заведений / В.В. Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368с.
- 3 Чернавский, С. А. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие для учащихся машиностроит. спец. техникумов/ С. А. Чернавский, К. Н. Боков, И. М. Чернин и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 416 с.
- 4 Вентиляторы и компрессоры: учебное пособие для машиностроения./ В.Д. Галдин; под ред. В.Д. Галдин – 2е изд., перераб. и доп.–Омск. : Издательский центр «СиБаРи», 2008. – 197с.
- 5 Петушков, В.Н. Каталожные данные двигателей серии АДЧР/ В.Н. Петушков // спецэлектро.– [http://se3.ru/pdf/katalog\\_adhr](http://se3.ru/pdf/katalog_adhr). – С. 13– 59.
- 6 Справочник конструктора-машиностроителя : учебное пособие /В.И. Анурьев; под ред. И.Н. Жестковой Т2, – 8-е изд., перераб. и доп.. – М.: Машиностроение, 2001. – 901 с.
- 7 Арустамов, Э.А. Безопасность жизнедеятельности. / Э.А. Арустамов. – М.: Издательский дом «Дашков и К», 2013. – 132 с.
- 8 Атаманюк, В.Г. Гражданская оборона: Учебник для вузов / Э.А. Арустамов, Л.Г. Ширшев, Н.И. Акимов. – М.: Высшая школа, 1914. – 207 с.
- 9 Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В.Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др; под общ. ред. С.В. Белова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2014. – 328 с.
- 10 Бирюков, Б.Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки. / Б.Н. Бирюков. – М.: Машиностроение, 1981. – 128 с.
- 11 Кириллов, В.Е. Некоторые рекомендации студентам электротехнических специальностей для подготовки экономического раздела дипломного проекта (расчета экономического эффекта): уч. пособие. / В.Е. Кириллов – Златоуст: Изд. ЮУрГУ, 2006. – 80 с.
- 12 Коренблюм, М.В. Автоматизированные электроэрозионные станки за рубежом. / М.В. Коренблюм. – М.: НИИмаш, 1981. – 92 с.
- 13 Коробкин, В.М. Экология./ В.М. Коробкин, С.Ю. Передельский,– Ростов н/Д.: «Феликс», 2013. – 316 с.
- 14 Кочергин, А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов./ А.И. Кочергин. – М.: Высш. шк., 1991. – 382 с.
- 15 Кукин, П.П., Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учебное пособие для вузов. / П.П Кукин, В.Л Лапин, Е.А. Подгорных. – М.: Высшая школа, 2013. – 248 с.
- 16 Оборудование для размерной электрохимической обработки деталей машин / Ф.В. Седыкина; под ред. проф. Ф.В. Седыкина. – М.: Машиностроение, 1980. – 277 с.

					13.03.02.19.282.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

- 17 Попилов, Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов/ Л.Я Попилов. – М.: Машиностроение, 1969. – 297 с.
- 18 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Утв. Минэнерго РФ 13 января 2003 г. – 150 с.
- 19 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НПЭНАС, 2003. – 89 с.
- 20 Размерная электрическая обработка металлов: учебное пособие для студентов вузов / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, А.В. Глазков и др.; под ред. А.В. Глазкова. – М.: Высшая школа, 1978. – 336 с.
- 21 Справочник по автоматизированному электроприводу / В.А. Елисеева, А.В. Шинянского.; под ред. В.А. Елисеева – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
- 22 Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: Учеб. пособие./ Ю.С. Усынин. – Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2001. – 358 с.
- 23 ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 11 с.
- 24 Труды Псковского политехнического института / Псковский гос. политехнический ин-т. – Псков: Псковский гос. политехнический ин-т, 1997–2011. № 12.3: Машиностроение. Электротехника. – 2009. – С.: 176–275 : ил., табл.
- 25 Александровская Л.Н. Безопасность и надежность технических систем: Учебное пособие / Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, В.И. Круглов – М.: Логос, 2004. – 376 с.
- 26 Усатенко, С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник 1 часть / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова – М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 с.
- 27 Современные технологии промышленной автоматизации: учебник / под ред. О. В. Шишов. – Саранск: Изд. Мордов. ун-та, 2007. – 273 с.
- 28 Шестоперов С.В. Технология бетона: учебное пособие для вузов./ С.В. Шестоперов. – М.: Высшая школа, 1977. – 431 с.
- 29 Технология строительного производства: учебник / под ред. О.О. Литвинова, Ю.И. Белякова. – Киев: Высшая школа, 1985. – 253 с.
- 30 Правила эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор. Минтопэнерго РФ, Энергоатомиздат. 2003 г. (7-е издание).
- 31 Минаев И.Г. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах./ И.Г. Минаев. – Ставрополь: Высшая школа, 2010. – 128 с.
- 32 Официальный сайт компании «ОВЕН». – <http://www.deltaelectronics.info>
- 33 Хорьков К. А. Электромеханические системы. Элементы энергетического канала: Учебное пособие. / К. А. Хорьков – Томск: Изд. ТПУ, 1999 – 337 с.
- 34 Официальный сайт компании «Schneider electrical». – <http://yabs.yandex.ru/count.wor>.
- 35 Официальный сайт компании «OMRON». – <http://yandex.ru/clyck/jsredir?bu>.
- 36 Официальный сайт компании «OMRON 3G3RX». <http://yandex.ru/clyck/jsrrtpb>.
- 37 Официальный сайт компании «МАЯК» <http://yandex.ru/clck/jsredir??bu>