

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы НОЦ И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВОК ПОДПОРА ВОЗДУХА В ЗОНУ БЕЗОПАСНОСТИ МГН СТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «УЛИЦА СТРОИТЕЛЕЙ» МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

УДК 681.51:628.854.3:625.786

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Подгорная Елизавета Романовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Иванова Евгения Владимировна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель специализации ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

Томск – 2021 г.

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией
ПК(У)-2	Способность проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-3	Способность участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок энергообъектов и их элементов по стандартным методикам
ПК(У)-8	Готовность к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования

ПК(У)-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по освоению, доводке и сопровождению технологических процессов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель профиля
 Атрошенко Ю.К.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Подгорной Елизавете Романовне

Тема работы:

Система автоматического управления установок подпора воздуха в зону безопасности МГН станционного комплекса «Улица Строителей» Московского метрополитена	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 29-59/с от 29.01.2021 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2021 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1 Анализ объекта автоматизации. 2 Разработка структурной схемы. 3. Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации. 4. Разработка электрической принципиальной схемы.
--------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	5 Разработка монтажной схемы внешних проводок. 6 Разработка общего вида щита управления. 7 Расчет оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора и прямых оценок качества системы. 8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 9 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схема структурная. 2 Схема функциональная. 3 Заказная спецификация приборов и средств автоматизации. 4 Схема электрическая принципиальная. 5 Перечень элементов электрической схемы. 6 Схема монтажная внешних проводок. 7 Общий вид щита управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Клемашева Елена Игоревна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2021 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Иванова Евгения Владимировна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Подгорная Елизавета Романовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 83 с., 6 рис., 24 табл., 36 источников, 13 листов графического материала и 5 приложений.

Ключевые слова: система вентиляции, приточная вентиляция, зона безопасности, автоматическая система управления, программируемый логический контроллер, маломобильные группы населения.

Объектом автоматизации является зона безопасности для маломобильных групп населения (далее - МГН) станционного комплекса «Улица Строителей» Московского метрополитена.

Цель работы – разработка автоматической системы управления установками подпора воздуха в безопасную зону метрополитена.

В процессе выполнения работы была разработаны структурная, функциональная и монтажная схемы системы автоматического управления системы приточной вентиляции зоны безопасности. Также были разработаны и оформлены электрическая принципиальная схема и чертеж общего вида щита управления, составлены заказная спецификация приборов и средств автоматизации, перечень элементов электрической схемы. Произведен расчет ПИ-регулятора.

В результате выполнения настоящей работы создан комплект конструкторской документации на систему приточной вентиляции.

Оглавление

Введение	10
1 Анализ объекта автоматизации	11
2 Разработка структурной схемы АСР	15
3 Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации	19
3.1 Разработка функциональной схемы	19
3.2 Выбор технических средств АСУ установок подпора воздуха. Составление заказной спецификации	20
3.2.1 Регулятор скорости вращения вентилятора	20
3.2.2 Датчик температуры.....	21
3.2.3 Датчик перепада давления	22
3.2.4 Регулятор температуры	22
3.2.5 Газоанализатор	23
3.2.6 Программируемый логический контроллер	23
4 Разработка принципиальной электрической схемы	25
5 Разработка монтажной схемы АСР	28
6 Разработка общего вида щита управления	29
7 Расчет параметров настройки регулятора.....	30
7.1 Исходные данные	30
7.2 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией	31
7.3 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора.....	34
7.4 Переходный процесс при возмущении f , идущем по каналу задающего воздействия.....	35
7.5 Оценка качества регулирования	37
8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	40

8.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	40
8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	40
8.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	41
8.1.3 SWOT-анализ.....	43
8.2 Планирование научно-исследовательских работ	44
8.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	44
8.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	45
8.3 Разработка графика проведения научного исследования	47
8.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	47
8.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	47
8.4.2 Основная заработная плата исполнителей проекта.....	48
8.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	50
8.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	51
8.4.5 Услуги сторонних организаций.....	51
8.4.6 Накладные расходы	52
8.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	52
Продолжение таблицы 17	53
8.5 Определение интегрального показателя ресурсоэффективности.....	53
Заключение по разделу	54
9 Социальная ответственность	58
Введение	58
9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	58
9.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства	58
9.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	59
9.2 Производственная безопасность	60
9.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	60
9.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия	65
9.3 Экологическая безопасность	65

9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	67
Заключение по разделу	67
Заключение	69
Список использованных источников	70
Приложение А Результаты расчета расширенных частотных характеристик объекта регулирования	75
Приложение Б Результаты расчета настройки ПИ-регулятора	77
Приложение В Результаты расчета ВЧХ по каналу задающего воздействия.	78
Приложение Г Матрица SWOT-анализ.....	79
Приложение Д Календарный план-график проекта	81
Графический материал.....на отдельных листах	
ФЮРА.421000.016 С1 Схема структурная	
ФЮРА.421000.016 С2 Схема функциональная	
ФЮРА.421000.016 СО1 Заказная спецификация приборов и средств автоматизации	
ФЮРА.421000.016 Э3 Схема электрическая принципиальная	
ФЮРА.421000.016 ПЭ3 Перечень элементов электрической принципиальной схемы	
ФЮРА.421000.016 Э4 Схема монтажная внешних проводок	
ФЮРА.421000.016 ВО Общий вид щита управления	

Введение

В настоящее время со стороны государства уделяется большое внимание вопросам организации доступной среды для граждан с ограниченными возможностями. Одним из проектных решений, предназначенных для маломобильных групп населения (далее – МГН), является эвакуация людей в безопасную зону до возможного нанесения вреда их жизни и здоровью.

Безопасная зона для МГН – зона, в которой люди защищены от воздействия опасных факторов пожара или в которой опасные факторы отсутствуют либо не превышают предельно допустимых значений [1].

Зона безопасности должна быть оборудована приточной системой вентиляции для предотвращения вредного воздействия на людей пожара. Данная система должна обеспечивать блокирование распространения продуктов горения, то есть осуществлять подпор воздуха в помещение, а также подавать нагретый воздух в течение времени пребывания людей в данном помещении до момента эвакуации.

Целью настоящей работы является создание комплекта конструкторской документации на автоматическую систему управления установками подпора воздуха в безопасную зону метрополитена.

Для достижения поставленной цели следует сформулировать перечень подлежащих решению задач. В рамках ВКР необходимо:

- провести анализ объекта автоматизации;
- разработать комплект проектной документации;
- произвести расчет оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора и прямых оценок качества системы;
- рассчитать бюджет научно-технического исследования в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;
- рассмотреть вопросы безопасности в разделе «Социальная ответственность».

1 Анализ объекта автоматизации

Объектом автоматизации является зона безопасности для маломобильных групп населения станционного комплекса «Улица Строителей» Московского метрополитена.

Безопасные зоны следует предусматривать:

- в отдельных помещениях с выходами непосредственно в незадымляемую лестничную клетку;
- на расстоянии не более 15 м от незадымляемых лестничных клеток, лифтов для инвалидов;
- в холлах лифтов для МГН, в холлах лифтов для транспортирования пожарных подразделений, а также на площадках лестничных клеток.

Площадь безопасной зоны должна быть предусмотрена инвалидов, остающихся по расчету на этаже, исходя из удельной площади, приходящейся на одного спасаемого, при условии возможности его маневрирования, м²/чел.:

- | | |
|---|-------|
| – инвалид в кресле-коляске | 2,40; |
| – инвалид в кресле-коляске с сопровождающим лицом | 2,65; |
| – инвалид, перемещающийся самостоятельно | 0,75; |
| – инвалид, перемещающийся с сопровождающим лицом | 1,00. |

Помещение безопасной зоны должно отделяться от других помещений, коридоров, противопожарными стенами 2-го типа (перегородками 1-го типа), перекрытиями 3-го типа с заполнением проемов (двери, окна) - не ниже 2-го типа. Зона безопасности должна быть незадымляемой. При пожаре в ней должно создаваться избыточное давление 20 Па при открытой двери эвакуационного выхода [2].

Для системы приточной противодымной вентиляции зданий следует предусмотреть:

1) установку вентиляторов в отдельных от вентиляторов другого назначения помещениях с ограждающими строительными конструкциями, пределы огнестойкости которых не менее требуемых для конструкций пересекающих их воздуховодов;

2) установку обратного клапана у вентилятора;

3) приемные отверстия наружного воздуха, размещаемые на расстоянии не менее 5 м от выбросов продуктов горения систем противодымной вытяжной вентиляции;

4) противопожарные нормально закрытые клапаны в каналах подачи воздуха;

5) подогрев воздуха, подаваемого в помещения безопасных зон с расходом, определенным с учетом утечек через закрытые двери таких помещений;

б) исполнительные механизмы противопожарных клапанов должны сохранять заданное при пожаре положение заслонки клапана при отключении электропитания привода клапана;

7) включение оборудования противодымной вентиляции должно осуществляться автоматически (от автоматической пожарной сигнализации или автоматических установок пожаротушения) и дистанционно (с пульта дежурной смены диспетчерского персонала или от кнопок, установленных у эвакуационных выходов или в пожарных шкафах).

На рисунке 1 представлена часть плана вестибюля станционного комплекса «Улица Строителей» Московского метрополитена.

Зона безопасности МГН, являющаяся объектом автоматизации, имеет площадь равную 7 м² и расположение в схеме вестибюля согласно всем изъясненным выше требованиям. Система подбора воздуха в помещение МГН включает в себя две подсистемы – подпор на открытую дверь (далее – 1-ая подсистема) и подпор на закрытую дверь (далее – 2-ая подсистема). Для снабжения помещения МГН во время пожара кислородом, вентиляторы

подачи забирают чистый воздух снаружи здания и доставляют его по каналам внутрь помещения.

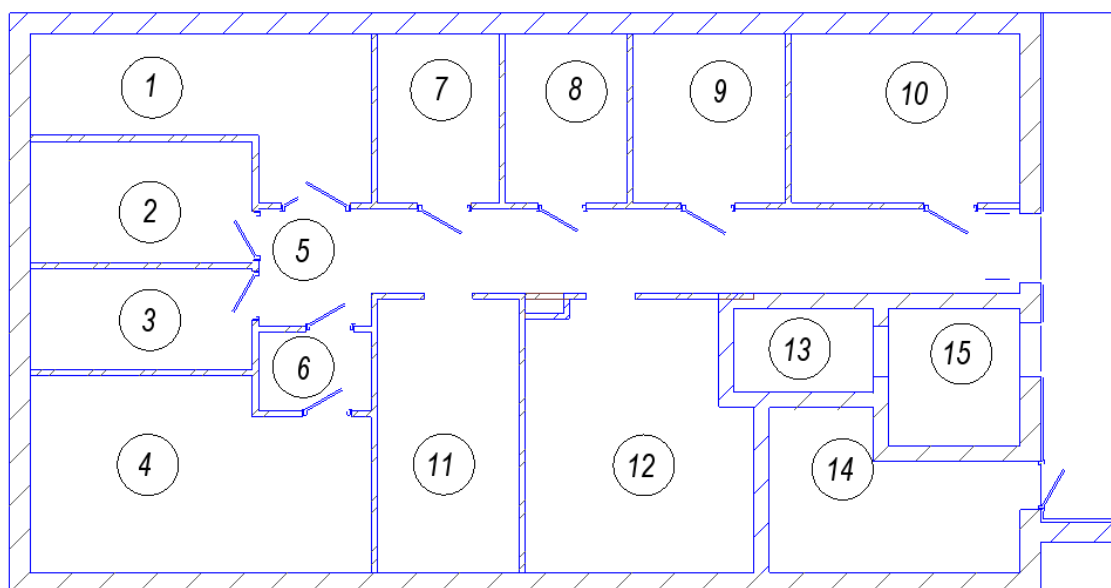


Рисунок 1 – План вестибюля

1 – кладовая хранения и ремонта вестибюльных дверей; 2 – кладовая инертных материалов; 3 – вентиляционная камера ГСМ; 4 – кладовая ГСМ; 5 – коридор; 6 – тамбур; 7 – кладовая уборочного инвентаря; 8 – кладовая ЗИП лифтёра; 9 – вентиляционная камера; 10 – электрощитовая; 11 – кладовая ТБО; 12 – МВУ; 13 – шахта лифтёра; 14 – вентиляционная камера МГН; 15 – укрытие МГН.

Для поддержания жизнеобеспечения людей, пребывающих в зоне безопасности МГН, необходимо поддерживать уровень кислорода не менее 19 % от объема воздуха в помещении. Поддержание заданной величины будет осуществляться путем регулирования расхода воздуха, нагнетаемым вентилятором подсистемы 2. Также, нужно контролировать работу вентилятора подсистемы 2 по датчику перепада давления для нормального режима работы электрического воздухонагревателя.

К контролируемым параметрам объекта автоматизации относятся:

– температура в зоне безопасности МГН, значение которой находится в диапазоне от +18 °С до +20 °С (поддержание только в холодный

период года);

- содержание кислорода в зоне безопасности в диапазоне не менее 18 % от объема воздуха в помещении;

- перепад давления на вентиляторе в подсистеме 2 – не более 680 Па.

Регулирующим воздействием для таких контролируемых параметров, как содержание кислорода в помещении и перепад давления на вентиляторе подсистемы 2, является производительность по воздуху вентилятора системы 2 – до 2130 м³/ч. Регулирующим воздействием для такого контролируемого параметра, как температура воздуха в помещении, является мощность работы нагревателя подсистемы 2.

Возмущающими воздействиями для системы являются:

- открытие дверей;
- изменение количества людей в помещении;
- работа вентилятора подсистемы 2 на мощности, близкой к максимальной;
- проникновение в помещение дымовых газов.

На основании вышепредставленной информации следует перейти к разработке структурной схемы АСУ системы вентиляции в помещении зоны безопасности

2 Разработка структурной схемы АСУ

К АСУ предъявляются следующие требования:

- поддержание температуры внутри помещения в диапазоне от +18 °С до +20 °С;
- реакция на указанный перечень возмущений;
- поддержание содержания кислорода не менее 19 % от объема воздуха в помещении.

На листе с шифром ФЮРА.421000.016 С1 представлена структурная схема АСУ установок подпора воздуха.

В таблице 1 приведены условные обозначения элементов структурной схемы.

Таблица 1 – Условные обозначения

Условное обозначение	Наименование
БРУ	Блок ручного управления
ДГ	Датчик газоанализатора
ДД	Датчик перепада давления
ДПД	Датчик положения двери
ДТ	Датчик температуры
ИМ	Исполнительный механизм
К	Контроллер
НП	Нормирующий преобразователь
ПУ	Пускатель
Р	Регулятор
РО	Регулирующий орган

Для поддержания кислорода в зоне безопасности расход воздуха должен изменяться в зависимости от возмущающих воздействий. Одним из способов регулирования расхода воздуха является изменения скорости

вращения вентилятора. Для поддержания температуры в заданном диапазоне необходимо регулировать мощность нагревателя.

Регулирование температуры и содержания кислорода в помещении будет осуществляться по отклонению от заданной величины. При отклонении измеренных в помещении параметров от заданных, будет произведено регулирование этих параметров путем изменения расхода воздуха (для регулирования содержания кислорода) или изменения мощности нагревателя (для регулирования температуры) до тех пор, пока измеренные параметры не примут значения в заданном диапазоне.

Система вентиляции сконструирована таким образом, что размещен единый воздуховод для подачи наружного воздуха, далее расположен обратный клапан РО1 (СТРАЖ-120-НЗ-(КОМ)-630 с электроприводом ВФ-230), после которого единый воздуховод разветвляется на две подсистемы подпора воздуха.

Итого, система подпора воздуха в безопасную зону МГН состоит из двух подсистем (воздуховодов): 1-ая подсистема осуществляет подпор воздуха на открытую дверь помещения, 2-ая подсистема – на закрытую. 1-ая подсистема включает в себя вентилятор подпора РО3 с электродвигателем ИМ3 (ОСА 300-056/И-50-Н-00550/02-У2-01), клапан противопожарный нормально закрытый РО4 (ОКС-1М (60)-РВ-НЗ-560) с электроприводом ИМ4 (ВФ-230). 2-ая система состоит из вентилятора подпора РО6 с электродвигателем ИМ6 (Канал-ВЕНТ ЕС-315), клапана противопожарного нормально закрытого РО2 (ОКС-1М (60)-РВ-НЗ-400) с электроприводом ИМ2 (ВФ-230) и электронагревателя РО5 с электродвигателем ИМ5 (РВЕС 200/6).

При наличии сигнала «пожар» от пожарных извещателей контроллер (К) передает сигнал на электроприводы ИМ1, ИМ2 и ИМ3 для открытия обратного клапана РО1 и нормально закрытых клапанов РО2 и РО3 обеих подсистем для возможности подачи воздуха по воздуховодам. Далее работа подсистем зависит от показания датчика положения двери ДПД. Для

обеспечения возможности ручного управления клапанами, в каждом канале управления расположены блоки ручного управления (БРУ) и пускатели (ПУ).

При открытой двери активна подсистема 1. Если на частотном преобразователе ПУ4, с встроенной панелью ручного управления БРУ4, активен режим «автомат», то он дублирует управляющее воздействие от контроллера К на вентилятор РО4. При активном режиме «ручное управление» управления осуществляется с помощью панели ручного управления БРУ3. При сигнале о закрытой двери вентилятор отключается.

При закрытой двери подсистема 2 приводится в рабочее состояние. По сигналу от датчика двери ДПД контроллер К передает управляющее воздействие на симисторный регулятор скорости Р2 вентилятора РО6. Если на регуляторе включен режим «автомат», то он дублирует управляющее воздействие на вентилятор. Если же включен режим «ручное управление», то регулирование скорости вентилятора будет осуществляться с помощью лицевой панели регулятора. При сигнале о открытой двери вентилятор РО6 выключается.

Регулирование содержания кислорода в помещении осуществляется путем изменения скорости вращения вентилятора подсистемы 2. При сигнале от датчика газоанализатора ДГ, который расположен в помещении, отличном от уставки, контроллер К подает сигнал на регулятор Р2 электропривода ИМ6, для изменения скорости вращения вентилятора, до тех пор, пока есть рассогласование сигналов датчика газоанализатора ДГ и уставки.

Если температура наружного воздуха меньше чем 18 °С, то нужно регулировать температуру воздуха в помещении для комфортного пребывания в нём людей. Регулирование происходит в воздуховоде подсистемы 2 путем регулирования мощности электронагревателя РО5 с помощью симисторного регулятора температуры Р1. При сигнале от датчика температуры ДТ1, который расположен в помещении, отличном от 18 °С, контроллер К подает сигнал на регулятор мощности Р1 электропривода ИМ5 для изменения мощности электронагревателя РО5 до тех пор, пока есть рассогласование

сигналов. Если температура наружного воздуха больше 23°C, то нагреватель находится в выключенном состоянии.

Контроль перепада давления на вентиляторе подсистемы 2 осуществляется с помощью датчика перепада давления ДД1 и ДД2. При превышении показаний с датчика перепада давления значения уставки, контроллер К подает сигнал на регулятор Р2 электропривода ИМ6 для уменьшения скорости вращения вентилятора до тех пор, пока сигнал с датчика перепада давления не станет меньше максимально допустимого значения.

При выключении сигнала «пожар», контроллер К подает сигнал на закрытие обратного клапана РО1 и нормально закрытых клапаны обеих подсистем РО2 и РО3, а также на выключение нагревателя РО5 и вентиляторов РО4 и РО6 обеих подсистем.

3 Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации

3.1 Разработка функциональной схемы

Функциональные схемы являются основным техническим документов, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации [3].

На листе с шифром ФЮРА.421000.016 С2 представлена функциональная схема АСУ установок подпора воздуха.

Для измерения температуры в помещении используется термопреобразователь сопротивления с унифицированным выходным сигналом 1а. Сигнал с выхода термопреобразователя поступает на вход ПЛК, который в случае не соответствия уставке, вырабатывает регулирующее воздействие на цифровой задатчик сигналов 11б, который либо дублирует сигнал на симисторный регулятор температуры 11а электронагревателя подсистемы 2, либо позволяет вручную изменять мощность электронагревателя для поддержания температуры в конце воздуховода с помощью потенциометра на лицевой панели задатчика.

Перепад давления на вентиляторе подсистемы 2 измеряется датчиком дифференциального давления 2а, с выходным унифицированным сигналом. Далее сигнал с выхода датчика поступает на вход ПЛК для контроля.

Для измерения содержания кислорода, в обслуживаемом помещении расположен сенсор газоанализатора 3а с выходным токовым сигналом. Этот сигнал поступает на вход нормирующего преобразователя 3б для преобразования в унифицированный выходной сигнал 4..20 А. Сигнал с выхода газоанализатора поступает на вход ПЛК. Для поддержания содержания кислорода в помещении ПЛК вырабатывает регулирующее воздействие на регулятор скорости вентилятора 13а, который либо дублирует на электродвигатель вентилятора для изменения скорости вращения лопаток

вентилятора, либо позволяет вручную изменять скорость вращения вентилятора с помощью потенциометра на лицевой панели регулятора.

Для сигнализации об открытии двери в помещении установлен концевой выключатель 4а, сигнал с которого приходит на ПЛК для контроля и сигнализации.

Для управления вентилятором подсистемы 1, был установлен частотный преобразователь 10а, который либо дублирует управляющий сигнал с ПЛК на электродвигатель вентилятора, либо позволяет вручную управлять вентилятором с помощью лицевой панели.

Для обеспечения возможности ручного управления клапанами в каналах 6, 8 и 10 расположены блоки ручного управления и пускатели (6а, 6б, 8а, 8б, 10а, 10б).

Контроллер вырабатывает управляющие воздействия исходя из полученной информации, которые передаются на электроприводы клапанов, вентиляторы и электронагреватель.

3.2 Выбор технических средств АСУ установок подпора воздуха. Составление заказной спецификации

Спецификация представляет собой техническую документацию, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и технических средствах автоматизации для реализации системы теплотехнического контроля [3].

3.2.1 Регулятор скорости вращения вентилятора

Для регулирования расхода воздуха вентилятора подсистемы 2 используется регулятор скорости. Поставим в сравнение два регулятора: Shuft SRE 2,5 от производителя SHUFT K.S. [4] и СРМ2.5щ от производителя ООО «ГК Автоматика» [5]. Параметры регуляторов приведены в сравнительной таблице 4.

Таблица 4 – Параметры регуляторов скорости

Параметры регулятора	Shuft SRE 2,5	СРМ2.5щ
Напряжение питания	220В	220В
Мощность двигателя	550 Вт	550 Вт
Значение входного сигнала	-	0..10 В
Параметры регулятора	Shuft SRE 2,5	СРМ2.5щ
Выходное напряжение	0..230 В	100..220 В
Управление	Локальное	Локальное/дистанционное

Наиболее оптимальным является регулятор СРМ2.5щ, управление которым может быть совершено не только по месту, но и дистанционно.

3.2.2 Датчик температуры

Для регулирования мощности нагревателя необходимы показания температуры из воздуховода и помещения. Поставим в сравнение два датчика температуры ДТС125М.И (производитель «ОВЕН») [6] и ТСМУ-16-S-200-M-2-0,5 (производитель «ГК Теплоприбор») [7]. В таблице 5 приведены параметры термопреобразователей сопротивления.

Таблица 5 - Параметры термопреобразователей сопротивления

Параметры ТПС	ДТС125М.И	ТСМУ-16-S-200-M-2-0,5
Диапазон измеряемых температур	-40..+80 °С	-50..+150 °С
Тип выходного сигнала	4..20 мА	4..20 мА
Длина погружения рабочей части	200 мм	200 мм
Класс точности	0,5	0,5
НСХ	50М	-

Так как диапазон измеряемой температур в помещении находится в интервале от минус 35 до плюс 40 °С, то достаточным будет использование термопреобразователя сопротивления ДТС125М.И, диапазон измеряемых температур которого ненамного превосходит заданный диапазон. Также данный преобразователь можно установить на стене в помещении.

3.2.3 Датчик перепада давления

Для контроля нормальной работы вентилятора необходимо поддержание перепада давления на нем не выше 680 Па. Поставим в сравнение два датчика дифференциального давления: ДДМ-03-4 ДД (производитель «ГК Теплоприбор») [8] и ПД200-ДД (производитель «ОВЕН») [9]. В таблице 6 приведены параметры датчиков перепада давления.

Таблица 6 - Параметры датчиков перепада давления

Наименование параметра	Значение	Значение
Параметры датчика перепада давления	ДДМ-03-4 ДД	ОВЕН ПД200-ДД 0,007-155-0,1-2-Н
Наименование параметра	Значение	Значение
Верхний предел измерений	4 кПа	7 кПа
Класс точности	0,5	0,1
Выходной сигнал	4..20 мА	4..20 мА и HART-протокол
Напряжение питания	24±6 В	18..42 В
Температура рабочей среды	-40..+85 °С	-40..+100 °С

Наиболее подходящим датчиком является ДДМ-03-4 ДД, у которого верхний предел измерения и температура рабочей среды являются более близкими к требуемым.

3.2.4 Регулятор температуры

Совместно с электронагревателем подсистемы 2 используется регулятор температуры симисторный, 400 В/50 ГЦ, 25 А, 3 фазы, диапазон регулирования температуры 0-30 °С, параметры входных и выходных сигналов 0..10 В постоянного тока, изготовитель компания "Арктика", г. Москва [10].

3.2.5 Газоанализатор

Для определения содержания кислорода воздуха в помещении выбран анализатор кислорода АКМП-1-01-Г в комплекте с сенсором АСр-02-03 [11]. Параметры анализатора приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры газоанализатора

Наименование параметра	Значение
Пределы допускаемой погрешности	- концентрации кислорода в газах в диапа. от 0 до 20 об. %: $\pm (0,001+0,01 \cdot A)$; - концентрации кислорода в газах в диапа. от 20 до 100 об. %: $\pm 0,02 \cdot (A-10)$, где А - показания анализатора в выбранной единице измерения.
Диапазон измерения процентного содержания кислорода в газах	от 0,0001 до 100 об.%
Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	- без подсветки: 0,07 В·А; - с подсветкой: 0,7 В·А.
Индикация	Цифровая, световая, звуковая
Выходные сигналы	«сухие» контакты реле, 4..20 мА, 0..5 мА, 0..20 мА, RS-485 или USB
Рабочая температура воздуха	- окружающая среда: от -20 до +60 °С; - анализируемая среда: от 0 до +50 °С
Рабочее атмосферное давление	от 84 до 106,7 кПа

3.2.6 Программируемый логический контроллер

Для реализации алгоритмов управления и упрощения системы управления используем программируемый контроллер.

Так как комплексы автоматики компании «ЭлеСи» успели зарекомендовать себя для решения задач метрополитена, и на данный момент сотрудничает с государственным унитарным предприятием «Московский метрополитен», было принято решение использовать контроллер данной фирмы.

Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК имеет модульную архитектуру и позволяет использовать в своем составе следующий набор модулей: процессорные модули ТС, модули дискретного ввода/вывода

TD, модули счетных входов, модули аналогового ввода/вывода ТА, коммуникационные модули TN [12].

Были выбраны следующие модули программируемого контроллера ЭЛСИ-ТМК:

- модуль аналогового вывода ТА 714 80 DC;
- модуль аналогового ввода ТА 715 24IDC;
- модуль дискретного вывода TD 716 16O 220AC;
- модуль дискретного ввода TD 721 32I 024DC;
- процессорного модуля ТС 712 F8-100 5ETH.

Решения по выбору технических средств автоматизации приведены в заказной спецификации, которая представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.016 С01.

Следующий шагом является разработка и оформление электрической принципиальной схемы щита управления.

4 Разработка принципиальной электрической схемы

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связь между ними), действие, которое обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации [13].

Электрическая схема АСУ установок подпора воздуха приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.016 ЭЗ. Перечень элементов электрической схемы представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.016 ПЭЗ.

На листе 1 с шифром ФЮРА.421000.016 ЭЗ представлена электрическая схема подсистемы электрического питания и микроклимата щита управления.

Подсистема электрического питания включает себя:

- автоматические выключатели (QF1... QF3), предназначенные для защиты разделительных и групповых цепей;
- щитовая розетка (XS1), предназначенная для подключения электрического инструмента малой мощности во время профилактических и ремонтных работ;
- блоки зажимов (ХТ0-1, ХТ0-2, ХТ0-3), предназначенные для соединения кабелей;
- устройство защиты от перенапряжений (Z1), предназначенное для защиты устройств от перенапряжений при протекании через сеть импульсов тока;
- модуль питания (G1), предназначенный для обеспечения устройств напряжением 24 В.

Подсистема электрического питания обеспечивает питание всех элементов щита управления и имеет защиту от перенапряжений.

Подсистема микроклимата включает в себя:

- концевой выключатель (SQ1), предназначенный для замыкания и размыкания рабочей цепи;

- осветительный прибор (EL1), предназначенный для освещения;
- реле контроля температуры (КК1), предназначенное для контроля температуры в шкафу управления;
- фильтрующий вентилятор (М1), предназначенный для нагнетания холодного воздуха.

Подсистема микроклимата щита управления поддерживает оптимальную температуру шкафа, что является одной из основ обеспечения безаварийной работы.

На листе 2 с шифром ФЮРА.421000.016 ЭЗ представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых сигналов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК (А3);
- преобразователи аналоговых сигналов (UY1... UY5), пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- блоки зажимов (ХТ1.1... ХТ1.3).

Подсистема вывода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль вывода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК (А4);
- блоки зажимов (ХТ1.4... ХТ1.5).

Подсистема аналогового ввода-вывод обеспечивает безопасное подключение аналоговых сигналов к сигнальному модулю контроллера.

На листах 3-4 с шифром ФЮРА.421000.016 ЭЗ представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода дискретных сигналов.

Подсистема ввода дискретных сигналов включает в себя:

- модуль ввода дискретных сигналов программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК (А5);
- релейный модуль (К1...К24), предназначенный для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;

- блоки зажимов (ХТ2-1.. ХТ2-5).

Подсистема вывода дискретных сигналов включает в себя:

- модуль ввода дискретных сигналов программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК (А6);
- релейный модуль (К24...К40), предназначенный для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;
- блоки зажимов (ХТ2-6...ХТ2.9).

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов обеспечивает безопасное подключение дискретных сигналов к модулю контроллера.

5 Разработка монтажной схемы АСР

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показывают электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам. [13].

Монтажная схема АСУ установок подпора воздуха в помещении представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.016 С4.

В верхней части монтажной схемы расположен силовой щит ХТЗ, в нижней части расположен щит управления и его клеммные блоки ХТ1-1...ХТ1-5, ХТ2-1...ХТ1-9. В левой части показаны внешние соединения датчиков, в правой части – исполнительных механизмов и блоков ручного управления, пускателей и регуляторов со щитом управления. Для соединений применены изолированные провода. В цепях измерения, управления, питания применены провода и кабели с медными жилами. В маркировке кабеля указан тип кабеля, количество и сечение жил, длина кабеля. На монтажной схеме используются следующие типы кабелей:

- 1) КВВГ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова;
- 2) КВВГЭ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова, экранированный;

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительные коробки (КС-1..КС-6).

6 Разработка общего вида щита управления

Щиты и пульты управления в системах автоматического контроля, регулирования и управления являются конструктивными элементами для размещения приборов и аппаратуры, относящихся к данной системе [9].

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.016 ВО.

В верхней части шкафа расположен осветительный прибор (EL1) и концевой выключатель (SQ1). В верхнем ряду расположен контроллер ЭЛСИ-ТМК (AC1), во втором ряду расположены средства защиты системы питания и управления, а именно автоматические выключатели (QF1... QF3), устройство защиты от перенапряжений (Z1), блок питания (G1), групповые оборки зажимов (ХТ0-1, ХТ0-2), реле (КК1) и щитовая розетка (XS1).

В третьем ряду расположен симисторный регулятор скорости вращения вентилятора 2 СРМ2,5щ.

В четвертом ряду расположена вспомогательная аппаратура – реле (К1...К40), групповая оборка зажимов (ХТ0-2) и разделительные преобразователи (UY1... UY 5).

В нижних рядах шкафа расположены групповые оборки зажимов (ХТ1-1.. ХТ1-5, ХТ2-1.. ХТ2-9).

На лицевой стороне двери расположены кнопки с подсветкой (SB1, SB2) и переключатель режимов (SA1) для управления вентилятором подпора 1, показаны лицевые панели БРУ для управления клапанами, блок газоанализатора с цифровым дисплеем, задатчик для управления нагревателем, лампа, сигнализирующая об открытии двери, цифровой задатчик для управления нагревателем, блок газоанализатора показывающий, а также показано расположение фильтрующего вентилятора (M1).

Для размещения оборудования выбран системный шкаф VX SE IP 66/NEМА 4 производителя Rittal [14]. Для прокладки силовых проводов используются монтажные короба 40x40 производителя Efael [15].

7 Расчет параметров настройки регулятора

7.1 Исходные данные

Необходимо провести расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией одним из двух инженерных методов: корневым (с использованием РАФЧХ) или частотным по максимуму АЧХ замкнутой системы (метод В.Я. Ротача).

$$W_{об}(P) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot P + 1)} \cdot e^{-P \cdot \tau} \quad (1)$$

Необходимо определить оптимальные параметры настройки регулятора. Рассчитать, построить и оценить качество переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении f , идущем по каналам регулирующего и задающего воздействий.

Исходные данные приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры передаточной функции объекта

Коэффициент передачи объекта, K	Постоянная времени объекта, T	Степень затухания, ψ	Интегральный критерий качества	Время запаздывания объекта, τ
2,00	20,00	0,95	I_2	4

На рисунке 2 представлена структурная схема системы регулирования.

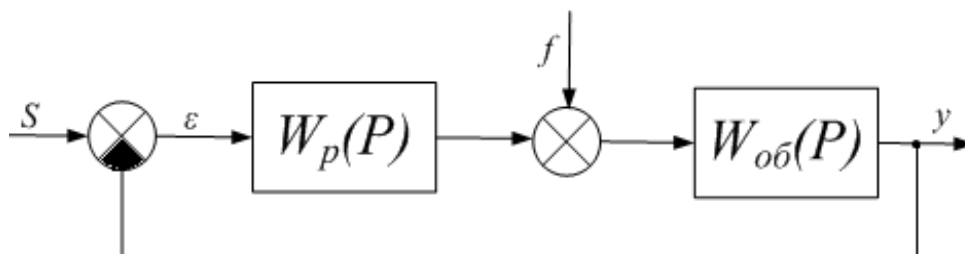


Рисунок 2 – Структурная схема системы регулирования

7.2 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией

Для расчёта и построения границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором, использован корневой метод параметрического синтеза систем автоматического регулирования с применением расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ).

Определяются границы заданной степени колебательности соответствующей степени затухания $\Psi = 0,95$ (таблица 9):

$$m = 0,477;$$

$$M = 1,29.$$

Таблица 9 – Таблица соответствия оценок запаса устойчивости

Ψ	0,000	0,750	0,800	0,850	0,900	0,950	0,998	1,00
m	0,000	0,221	0,256	0,302	0,366	0,477	0,989	∞
M	∞	2,380	2,080	1,810	1,550	1,290	1,00	1,00

Передаточная функция объекта регулирования определяется по формуле:

$$W_{об}(P) = \frac{K \cdot e^{-P \cdot \tau}}{(T \cdot P + 1)}. \quad (2)$$

После подстановки значений выше приведенных параметров получается окончательное выражение для передаточной функции объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{2 \cdot e^{-4 \cdot P}}{(20 \cdot P + 1)}. \quad (3)$$

Расширенные частотные характеристики какого-либо звена можно получить подстановкой в передаточную функцию этого звена $W(P)$ оператора $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ в выражениях для оператора Лапласа ω – частота, c^{-1} . В этом случае расчётные формулы метода обеспечивают получение границы заданной степени колебательности системы m [16].

В результате замены оператора получается выражение для РАФЧХ объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{2 \cdot e^{-4(-m\omega + i\omega)}}{20(-m\omega + i\omega) + 1}. \quad (4)$$

Используя программное обеспечение Mathcad, предварительно задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$, рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 0,75 \text{ с}^{-1}$.

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$\text{Re}_{об}(m, \omega) = \text{Re}(W_{об}(m, i\omega)). \quad (5)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$\text{Im}_{об}(m, \omega) = \text{Im}(W_{об}(m, i\omega)). \quad (6)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{об}(m, \omega)^2 + \text{Im}_{об}(m, \omega)^2}. \quad (7)$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \text{arctg}\left(\frac{\text{Im}_{об}(m, \omega)}{\text{Re}_{об}(m, \omega)}\right). \quad (8)$$

Результаты расчётов представлены в приложении А.

РАФЧХ объекта регулирования представлена на рисунке 3.

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют вид:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}; \quad (9)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}. \quad (10)$$

где K_p – коэффициент передачи ПИ-регулятора;

T_u – постоянная интегрирования ПИ-регулятора.

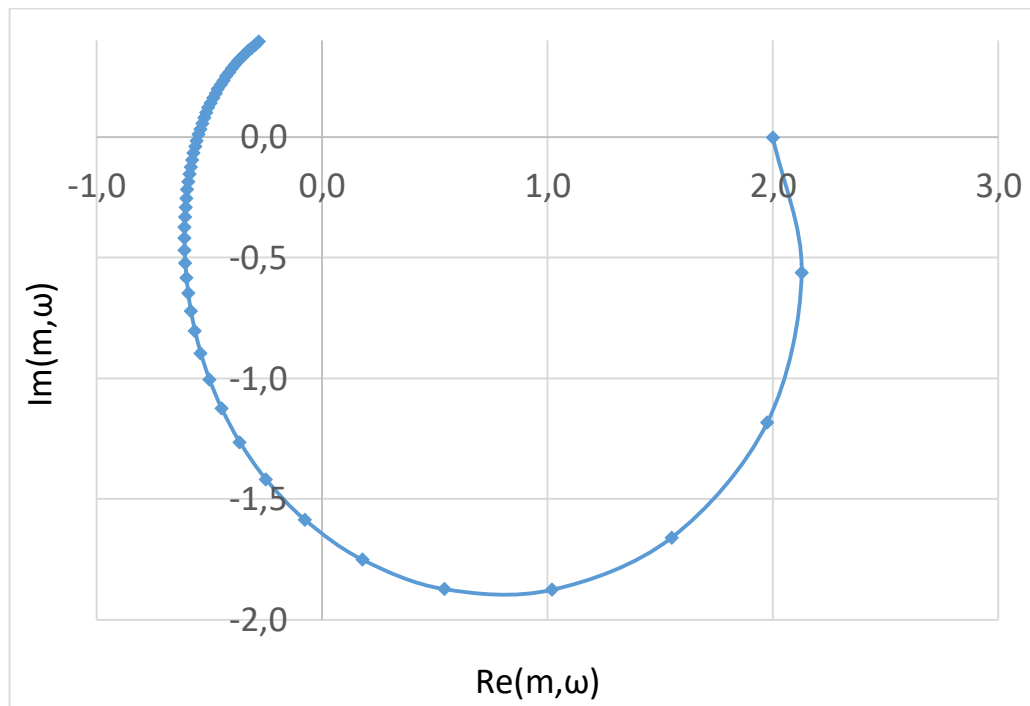


Рисунок 3 – РАФЧХ объекта регулирования

Задается диапазон изменения частоты $\omega = 0 \dots 0,34 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$, и определяются параметры настройки регулятора $\frac{K_p}{T_i}$ и K_p в заданном диапазоне частот [6].

Результаты расчётов представлены в приложении Б.

При частоте равной 0,2 определены оптимальные настройки ПИ-регулятора объекта. На рисунке 4 представлена область параметров настройки ПИ-регулятора.

Полученная кривая является границей заданной степени затухания $\Psi_{\text{зад}} = 0,95$ процесса регулирования, что соответствует степени колебательности ($m=0,477$). Таким образом, все значения $\frac{K_p}{T_i}$ и K_p , лежащие на этой кривой, обеспечивают определенную степень затухания (в данном случае $\psi = \psi_{\text{зад}} = 0,95$) [16].

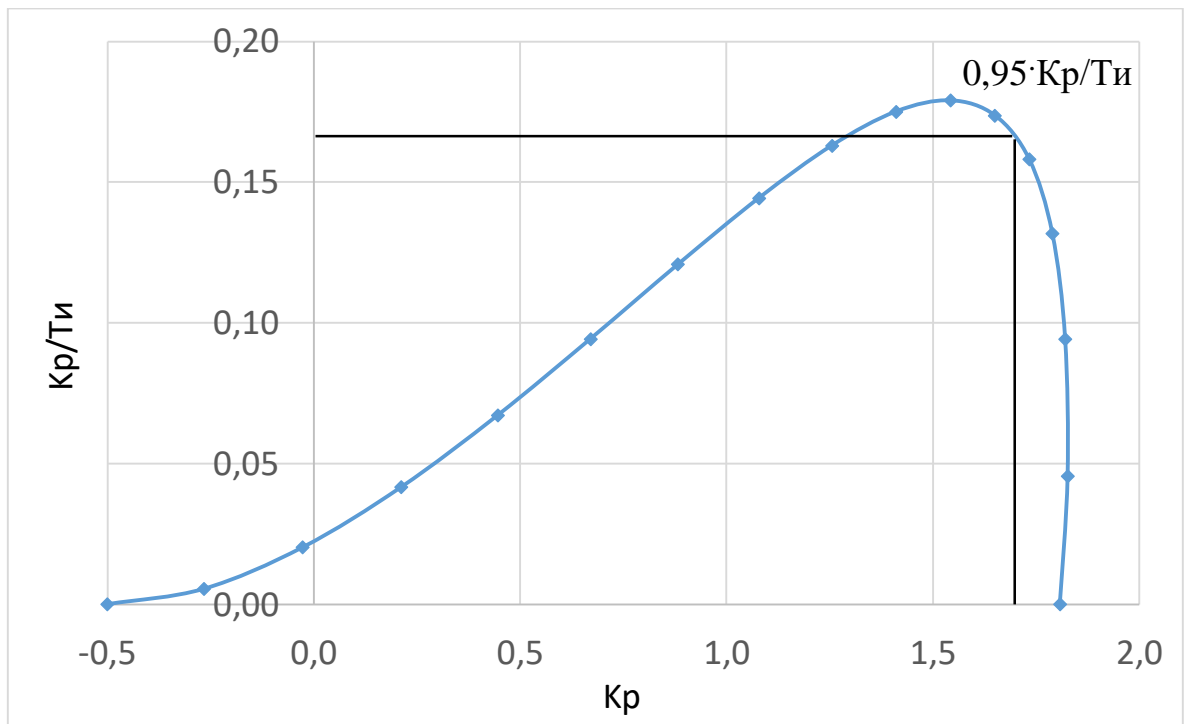


Рисунок 4 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

7.3 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора

Поиск оптимальных параметров настройки регулятора осуществляется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования, представленной на рисунке 4, до достижения экстремума принятого критерия качества. В качестве принятого критерия качества выбран второй интегральный критерий:

$$I_2 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt . \quad (11)$$

С использованием данных из таблицы В.1 и рисунка 4, определяются соответствующие параметры настройки:

$$K_p = 1,543 \text{ и } \max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,179.$$

Резонансная частота замкнутой системы $\omega_{\text{рез}} = 0,2 \text{ с}^{-1}$.

В соответствии с заданным критерием качества работы системы оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора имеют значения:

$$\frac{K_p}{T_u} \cdot 0,95 = 0,179 \cdot 0,95 = 0,17; K_p = 1,625;$$

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{1,625}{0,17} = 9,56 \text{ с.}$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 1,625 \cdot \left(1 + \frac{1}{9,56 \cdot P}\right), \quad (12)$$

7.4 Переходный процесс при возмущении f , идущем по каналу задающего воздействия

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{s-y} = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)} = \frac{\frac{2 \cdot e^{-4 \cdot P}}{(20 \cdot P + 1)} \cdot 1,922 \cdot \left(1 + \frac{1}{8,42 \cdot P}\right)}{1 + \frac{2 \cdot e^{-4 \cdot P}}{(20 \cdot P + 1)} \cdot 1,922 \cdot \left(1 + \frac{1}{8,42 \cdot P}\right)}, \quad (13)$$

где $W_{об}(P)$ — передаточная функция объекта;

$W_p(P)$ — передаточная функция регулятора.

Используя программу Mathcad и предварительно задав диапазон изменения частоты $\omega = 0 \dots 0,8 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$, рассчитывается вещественную частотную характеристику замкнутой системы. Результаты расчета представлены в приложении В.

По данным таблицы В.1 строится график вещественной частотной характеристики, представленный на рисунке 5.

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_{с.з.}} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega, \quad (14)$$

где $\omega_{с.з.} = 0,72 \text{ с}^{-1}$ — частота среза, при которой график $Re(\omega)$ стремится к 0, данная частота определена графическим способом из рисунка 4.

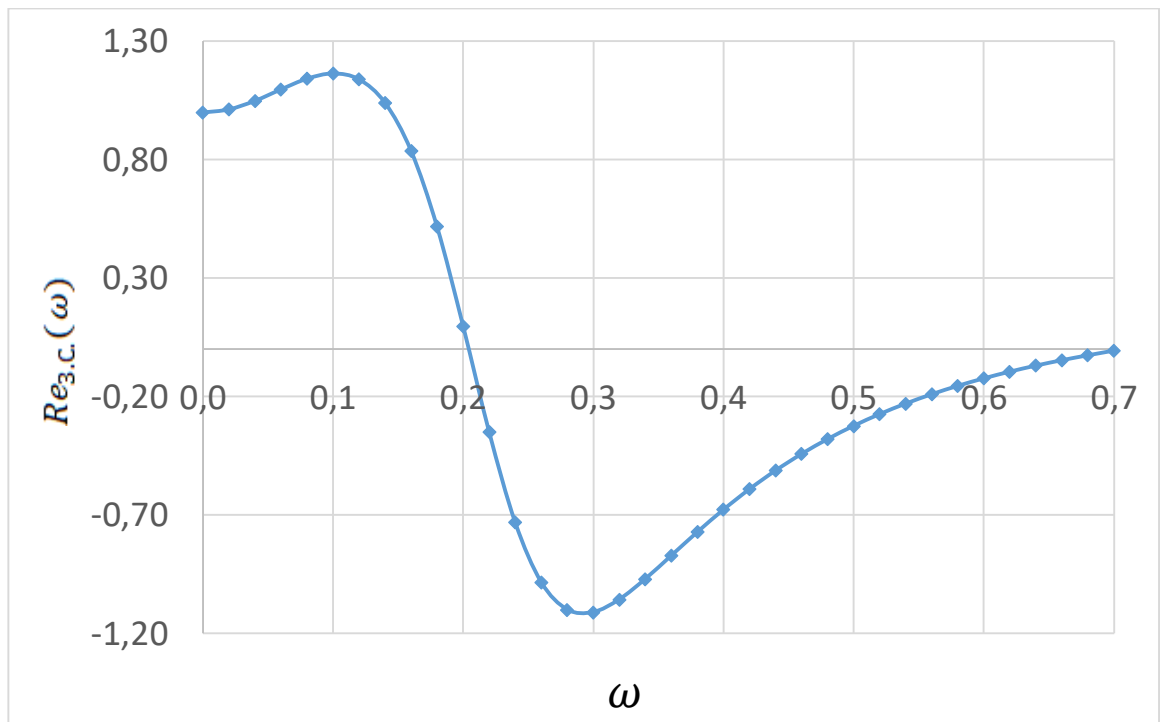


Рисунок 5 – График ВЧХ замкнутой системы по каналу задания

Задав диапазон изменения времени переходного процесса $t = 0 \dots 450$ с с шагом $\Delta t = 10$ с, рассчитывается переходный процесс в замкнутой АСР. Результаты расчета представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

t, c	$y_{s-y}(t)$	t, c	$y_{s-y}(t)$	t, c	$y_{s-y}(t)$	t, c	$y_{s-y}(t)$
0	0,000	24	1,071	48	1,014	72	1,001
2	0,001	26	0,994	50	1,009	74	1,001
4	0,001	28	0,947	52	1,005	76	1
6	0,342	30	0,928	54	1,000	78	1
8	0,717	32	0,931	56	0,998	80	1
10	1,063	34	0,946	58	0,992	82	1
12	1,308	36	0,966	60	0,995	84	1
14я	1,430	38	0,987	62	0,997	86	1
16	1,451	40	1,002	64	0,998	88	1
18	1,391	42	1,012	66	0,999	90	1
20	1,288	44	1,017	68	1		
22	1,174	46	1,017	70	1		

На рисунке 6 представлен результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия.

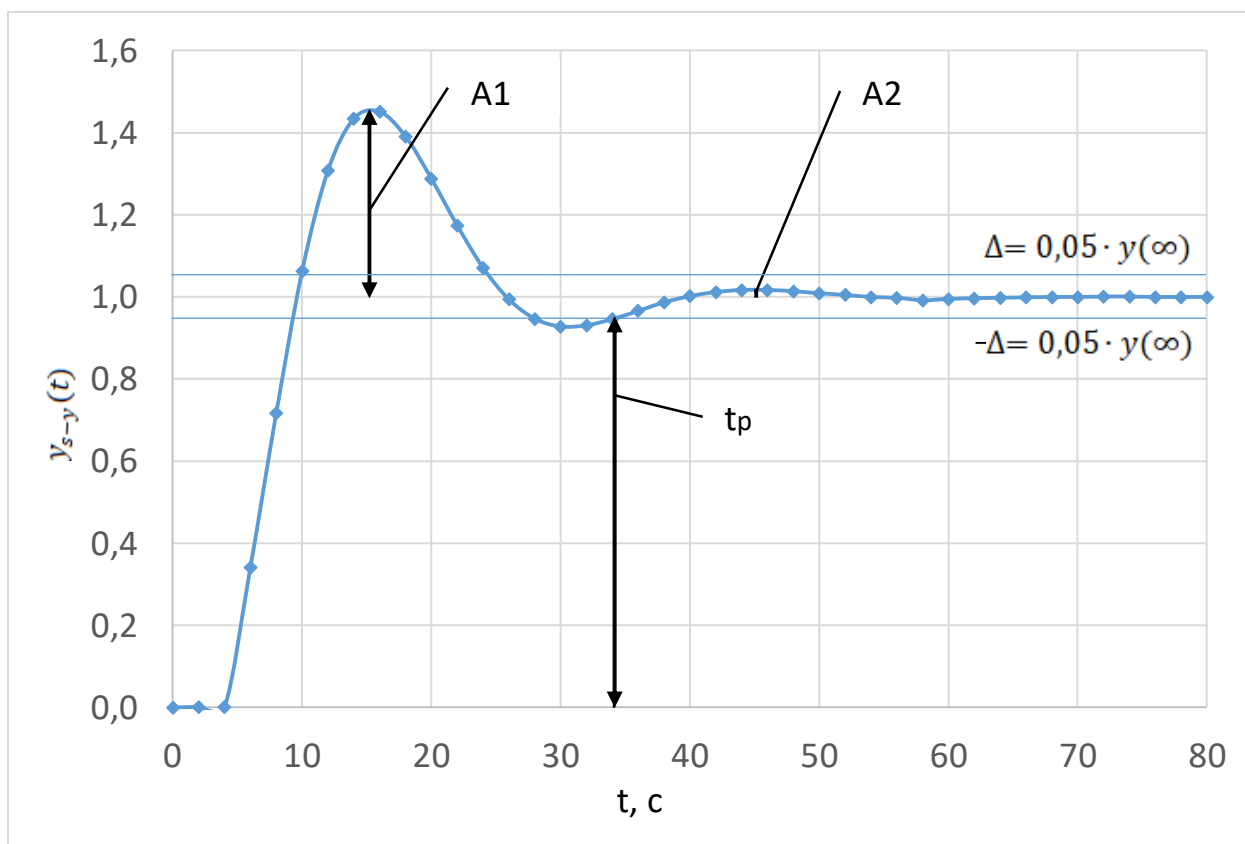


Рисунок 6 – Результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

7.5 Оценка качества регулирования

Под качеством регулирования понимают совокупность показателей или критериев, позволяющих оценить характер отклонения регулируемой величины под действием изменяющихся возмущений и судить о том, насколько система удовлетворяет поставленным требованиям при заданных конкретных ограничениях.

Используя данные таблицы 10 и рисунок 6, производится оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР [17].

Прямые оценки качества:

- 1) динамическая ошибка: $A_1 = 0,451$;

2) перерегулирование: $\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} = \frac{0,451}{1} = 45 \%$;

3) статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0$,

где S – величина сигнала задания;

4) степень затухания: $\Psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,451 - 0,017}{0,451} = 0,96$;

где A_2 – вторая амплитуда колебаний;

5) время регулирования $t_p = 34,5$ с.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Подгорной Елизавете Романовне

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 202996,9 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 91103,5 руб; затраты на оборудование – 45000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды: для руководителя и исполнителя – 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование научно-исследовательских работ; Определение трудоемкости работ; Построение диаграммы Ганта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительная оценка характеристик проекта; Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Перечень графического материала:

1. Матрица SWOT; 2. Диаграмма Ганта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Подгорная Елизавета Романовна		

8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности разработанной автоматической системы управления установок подпора воздуха в зону безопасности маломобильных групп населения станционного комплекса «улица Строителей» Московского метрополитена с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- определение потенциальных потребителей исследования;
- анализ конкурентов;
- определение структуры работ, сколько времени и финансовых средств необходимо для достижения поставленной цели;
- определение ресурсоэффективности исследования.

8.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В связи с тем, что разрабатываемая АСУ предназначена для помещений зон безопасности, а также обеспечивает защиту людей от пожара и поддерживает комфортные для пребывания условия, следовательно, к потенциальным потребителям можно отнести общественные здания, сооружения, предприятия и организации, с каждого этажа которых невозможно обеспечить своевременную эвакуацию всех маломобильных граждан за необходимое время.

8.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [18].

Данный анализ производится с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, обеспечивающие регулирование расхода воздуха.

1) Регулирование расхода воздуха с помощью шиберов

При таком примитивном способе регулирования мощность вентилятора выводится на полную, а с помощью шиберов создается дополнительное сопротивление движению потока воздуха в воздухопроводе. Заслонка шиберов двигается поступательно, загромождая сечение воздухопровода, сводя расход воздуха к нулю, а, открывая сечение, обеспечивает проток воздуха. Однако, такой способ является наиболее шумным в связи с тем, что в промежуточных положениях шиберы достаточно сильно шумят, и малоэффективным, так как установить заслонку в точное необходимое положение при её прокручивании практически невозможно.

2) Регулирование расхода воздуха с помощью ирисового клапана

Ирисовые клапаны представляют собой круглые клапаны с расположенными по внешнему диаметру лепестками. При регулировании мощность вентилятора также, как и при регулировании с помощью шиберов, выводится на максимальное значение, лепестки клапана смещаются к оси клапана, перекрывая часть сечения, при этом создается хорошо обтекаемая поверхность, что способствует снижению шума в процессе регулирования расхода воздуха.

3) Регулирование расхода воздуха с помощью изменения скорости вращения вентилятора

Регулирование скорости вентилятора осуществляется изменением напряжения с помощью симисторного регулятора скорости по сигналу управления от контроллера при изменении содержания кислорода в помещении, чтобы обеспечить комфортное пребывание в нём людей. Безусловно, чем больше человек в помещении, тем больше свежего воздуха следует в него подавать, поэтому данный способ регулирования является экономичным, так как при отсутствии людей в помещении нет нужды его обслуживать.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 11. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 11 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Динамическая точность	0,20	3	5	5	0,60	1,00	1,00
2. Простота эксплуатации	0,04	5	4	4	0,20	0,16	0,16
3. Надежность	0,10	4	4	5	0,40	0,40	0,50
4. Качество регулирования	0,20	4	5	5	0,80	1,00	1,00
5. Простота наладки	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
6. Уровень шума	0,03	3	5	5	0,09	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,10	5	4	3	0,50	0,40	0,30
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4	4	4	0,80	0,80	0,80
3. Стоимость обслуживания	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
Итого	1	31	34	33	4,0	4,43	4,34

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (15)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); Б_i – балл i -го показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,2 \cdot 3 + 0,04 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,09 \cdot 5 + \\ + 0,03 \cdot 1 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,04 \cdot 4 = 4,0.$$

Анализируя полученные результаты выходит, что разработки под номерами 2 и 3 являются наиболее конкурентоспособными и выгодными. Такие разработки проще в эксплуатации, обеспечивают лучшее качество регулирования и динамическую точность, в отличие от варианта под номером 1.

В данной работе используется система под номером 3. Далее будет рассмотрена данная система.

8.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта [18].

В данном разделе производится SWOT-анализ выбранного проектного решения. Для этого необходимо описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта, которые появились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в приложении Г.

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны проекта, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации проекта.

Основными достоинствами такой системы является то, что она включает в себя современные компоненты, использует надежные ПЛК и

обладает соответствующей точностью.

У системы также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с потребностью в высококвалифицированном персонале, способным обеспечить обслуживание данной системы. Выявленные недостатки возможно устранить путем соответствующей подготовки специалистов.

8.2 Планирование научно-исследовательских работ

8.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 1.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Выбор направления исследования	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель темы
Теоретические исследования	5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель
	6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель темы
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель темы
Проведение ОКР			

Продолжение таблицы 12

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель
	10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель
	11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель

8.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном разделе определена трудоемкость работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [18]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (16)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [2].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (17)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [2]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (18)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [2]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (19)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Количество календарных дней в 2021 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней.

Коэффициент календарности равен [2]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Для руководителя коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22.$$

В таблице 15 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Пример расчета для первой строки:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. -дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ дней.}$$

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел.-дни		t_{max} , чел.-дни		$t_{ож}$, чел.-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руководитель	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	4	-	5	-	4,4	-	5	-	10
Выбор направления исследования	-	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4
Календарное планирование работ по теме	1	-	2	-	1,4	-	2	-	4	-
Поиск и анализ существующих проектных решений	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	6

8.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе построен ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [18]. Календарный план-график построен на основе таблицы 13 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) и представлен в приложении Д.

8.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

8.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной

аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме [18]. Затраты на оборудование приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер	1	45 000	45 000
Итого			45 000

Затраты на амортизации используемого ПК, руб./год рассчитываются по формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.пк} \cdot Ц_{пк}}{T_{кал} \cdot T_{сл}}, \quad (20)$$

где $T_{исп.пк}$ – время использования ПК;

$Ц_{пк}$ – цена ПК;

$T_{кал}$ – календарное время;

$T_{сл}$ – срок службы ПК.

$$K_{ам} = \frac{110 \cdot 45000}{365 \cdot 5} = 2713 \text{ руб./год.}$$

8.4.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [18].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [18]:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (21)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (22)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [2]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (23)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня $M=11,1$ месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 15).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней		
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	365 66	365 118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Месячный должностной оклад работника [18]:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (24)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2 (т.е. 15-20% от $Z_{ТС}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад руководителя и исполнителя:

$$Z_M^{рук} = Z_{ТС}^{рук} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.};$$

$$Z_M^{инж} = Z_{ТС}^{инж} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 30160 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{дн}^{рук} = \frac{Z_M^{рук} \cdot M}{F_d} = \frac{58500 \cdot 10,1}{243} = 2431,5 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн}^{инж} = \frac{Z_M^{инж} \cdot M}{F_d} = \frac{30160 \cdot 11,07}{219} = 1524,5 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{осн}^{рук} = Z_{дн}^{рук} \cdot T_p = 2431,5 \cdot 8 = 19452 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн}^{инж} = Z_{дн}^{инж} \cdot T_p = 1524,5 \cdot 47 = 71651,5 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ТС}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2431,5	8	19452
Исполнитель	16000	0,3	0,15	1,3	30160	1524,5	47	71651,5
Итого $Z_{осн}$								91103,5

8.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [18].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей

формуле [18]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (25)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

$$Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} = 0,12 \cdot 19452 = 2334,2 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 0,12 \cdot 71651,5 = 8598,2 \text{ руб}.$$

8.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [18].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [18]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (26)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и исполнителя:

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} + Z_{\text{доп}}^{\text{рук}}) = 0,302 \cdot (19452 + 2334,2) = 6535,9 \text{ руб},$$

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} + Z_{\text{доп}}^{\text{инж}}) = 0,302 \cdot (71651,5 + 8598,2) = 24074,9 \text{ руб}.$$

8.4.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуг сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [18].

В данном случае к ним относятся печатные услуги, включающие в себя печать листов различного формата, в том числе чертежей, и брошюровка.

$$Z_{\text{контр}} = 900 \text{ руб.}$$

8.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [18]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (27)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [18].

Величина накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + A) \cdot k_{\text{нр}} = \\ = 91103,5 + 10932,4 + 30610,8 + 800 + 2411) \cdot 0,16 = 21737,2 \text{ руб.}$$

8.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [18].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Амортизационные отчисления	2713	Пункт 3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91103,5	Пункт 3.2

Продолжение таблицы 17

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10932,4	Пункт 3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30610,8	Пункт 3.4
5. Услуги сторонних организаций	900	Пункт 3.5
6. Накладные расходы	21737,2	Пункт 3.6
7. Бюджет затрат НИИ	157996,9 руб.	

8.5 Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом [18]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (28)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для проведения сравнительной оценки рассмотрим три варианта реализации автоматической системы регулирования, в каждой из которых используется разная схема регулирования расхода воздуха:

- регулирование расхода воздуха с помощью шибера – исп. 1;
- регулирование расхода воздуха ирисовым клапаном - исп. 2;
- регулирование расхода воздуха с помощью изменения скорости вращения вентилятора – исп. 3.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 18.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,05	5	5	5

Продолжение таблицы 18

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп.3
2. Динамическая точность системы	0,2	3	5	5
3. Простота эксплуатации	0,05	5	4	4
4. Надежность	0,2	4	4	5
5. Качество регулирования	0,2	4	5	5
6. Простота наладки	0,1	5	4	3
7. Срок эксплуатации	0,2	4	4	4
ИТОГО	1	4	4,45	4,55

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4;$$

$$I_{p2} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,45;$$

$$I_{p3} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 4,55.$$

Показатели ресурсоэффективности для 2 и 3 вариантов исполнения проекта равны 4,45 из 5 и 4,55 из 5 соответственно, что говорит об эффективности использования ресурсов.

Заключение по разделу

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка коммерческой ценности проекта.

В первой части проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Определены потенциальные потребители данного проекта, проведен анализ конкурентных технических решений. С помощью SWOT-анализа выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Во второй части определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

В третьей части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование,

основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В четвертой части определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели.

Анализируя полученные результаты можно оценить, сколько финансовых средств и времени потребуется на реализацию данного проекта и о том насколько проект будет востребован на рынке.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Подгорная Елизавета

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Система автоматического управления установок подпора воздуха в зону безопасности МГН станционного комплекса «Улица Строителей» Московского метрополитена	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: помещение зоны безопасности МГН Область применения: объекты с массовым пребыванием людей
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: - повышенный уровень шума; - повышенный уровень вибрации; - отклонение показателей микроклимата; - повышенная запыленность и (или) загазованность воздуха. Опасные факторы: - поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: шумовое загрязнение, выбросы от ремонтных производств, котельных в электродепо. Гидросфера: тепловое загрязнение; загрязнение грунтовых вод и поверхностных вод тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Литосфера: загрязнение почвы частицами отходов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожар, взрыв, давка, падение с платформы, сход вагона с рельс. Наиболее типичная ЧС: пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Подгорная Елизавета Романовна		

9 Социальная ответственность

Введение

В выпускной квалификационной работе разработана автоматическая система управления установок подпора воздуха в зону безопасности маломобильных групп населения (далее – МГН) станционного комплекса «Улица Строителей» Московского метрополитена, которая позволит упростить работу оперативного персонала.

В данном разделе будут представлены опасные и вредные факторы, а также меры по ограничению их воздействия на работника метрополитена. Будут проанализированы вопросы по охране окружающей среды, рассмотрены вопросы техники безопасности и пожарной профилактики, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности жизнедеятельности.

9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

9.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства

Согласно [19,20] работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;
- защиту своих трудовых прав, свобод и законных интересов всеми не запрещенными законом способами;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами;
- обеспечение средствами индивидуальной защиты и коллективной

защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

– внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

К работе инженером-оператором АСУ допускаются лица не моложе 18 лет, соответствующей квалификации, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие медицинское освидетельствование в соответствии с приказом [21], прошедшие проверку знаний требований безопасности труда в установленном порядке и получившие допуск к самостоятельной работе. Инженер-оператор АСУ должен иметь соответствующую группу по электробезопасности – III группа [22].

III группа по электробезопасности позволяет работнику производить отключения, переключения, выключения электрооборудования, выполнять работы в порядке текущей эксплуатации, наблюдать за безопасностью других членов бригады [23].

Инженер-оператор АСУ должен проходить обучение по охране труда в виде: вводного инструктажа, первичного инструктажа на рабочем месте и специального обучения в объеме программы подготовки по профессии [22].

9.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно [23] общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя:

1) конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы [23];

2) рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда [23].

Требования к взаимному расположению элементов рабочего места: пульта управления, средств отображения информации, органов управления, кресла, вспомогательного оборудования установленные в [24]:

Показатели микроклимата производственных помещений регламентированы в [25] и должны обеспечивать: температуру воздуха, температуры поверхностей, относительную влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

9.2 Производственная безопасность

9.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для проведения анализа вредных и опасных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации АСР составлена таблица 19 в соответствии с классификацией, указанной в [26].

Таблица 19 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Экспл уатац ия	
1. Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [27].
2. Повышенный уровень вибрации	+	+	+	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования [28]. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [29].
3. Пониженные или повышенные параметры микроклимата рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [25].

Продолжение таблицы 19

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Экспл уатац ия	
4. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [30]. ГОСТ Р 54578-2011. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия [31].
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [32].

1. Повышенный уровень шума

В процессе эксплуатации станций метрополитена источниками шума являются механизмы, электрические машины, подъемно-транспортное и вспомогательное оборудование, и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения потери слуха [33]. Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах операторов метрополитена представлены в таблице 20 [27].

Таблица 20 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах операторов метрополитена, в дБА

Категория напряженности трудоого процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физичес кая нагрузка	средняя физическ ая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелы й труд 3 степени
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-

2. Повышенный уровень вибрации

Воздействие колес вагона на рельсы является причиной вибраций. Для помещения оператора метрополитена вибрация соответствует 3

категории типа «в» - технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах или передающиеся на рабочие места, не имеющие источников вибрации [28]. Повышенная вибрация может оказывать влияние на увеличение кровяного давления, нарушения сна, обострения нервных и сердечно-сосудистых заболеваний. В операторной вибрация не превышает предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 8 ч, которые в пересчете на эквивалентные значения составляют [29]:

- по виброускорению – 0,145 м/сек² (100 дБ);
- по виброскорости – 0,12 м/с (75 дБ).

3. Параметры микроклимата рабочей зоны

Факторы микроклимата влияют на состояние здоровья человека, и на его работоспособность. В частности, высокие температуры приводят к тепловым ударам, повышению давления, низкие – к простудным заболеваниям, переохлаждению. Все это может привести к профессиональным заболеваниям. Категория работ для инженера-оператора АСУ ТП, рабочее место которого расположено непосредственно в операторском помещении вестибюля метрополитена, – категория Іб. Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах для данной категории работ приведены в таблицах 21-22 [25].

Таблица 21 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах для категории работ Іб

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Іб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Таблица 22 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах для категории работ Iб

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		ниже оптимальных величин	выше оптимальных величин			для температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

4. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Причиной загазованности в метрополитене является нарушение режима проветривания. Запыление в метрополитене происходит в результате стирания полов, лестниц, высыхания грунтовых течей, а также от поездов и пассажиров.

Вдыхание работником аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) является причиной ряда профессиональных заболеваний органов дыхания (пылевой бронхит, пневмокониозы, рак легких и др.) [31].

Воздух рабочей зоны регламентируется ГОСТом 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [30]. Рассматриваемое рабочее помещение – операторская - имеет IV класс опасности воздействия вредных веществ на организм (малоопасные).

ПДК следующих видов пыли, которые могут находиться в воздухе помещений метрополитена – пыль с примесью диоксида кремния (в составе бетона, резины), пыль древесная, пыль растительного происхождения (в

составе одежды пассажиров и работников метрополитена) - регламентируются ГОСТом 12.1.005-88 ССБТ и указаны в таблице 23 [30]:

Таблица 23 – Предельно допустимые концентрации «углерода пыли» в воздухе рабочей зоны

Пыль растительного и животного происхождения:	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
а) древесная (с примесью диоксида кремния менее 2%)	6	а	IV	А, Ф
б) лубяная, хлопчатобумажная, хлопковая, льняная, шерстяная, пуховая и др. (с примесью диоксида кремния более 10%)	2	а	IV	А, Ф
в) с примесью диоксида кремния от 2 до 10%	4	а	IV	А, Ф

5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи и возможность поражения электрическим током

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. При этом электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое воздействие на организм человека. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам [34]. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 24 [35].

Таблица 24 – Значения напряжений прикосновений и токов

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

9.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

При повышенном уровне шума применяют звукоизолирующие кожухи или обеспечение рабочего персонала средствами индивидуальной защиты органов слуха.

При повышенной вибрации используют специальные устройства:

- оградительные;
- виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие.

К мероприятиям по снижению запыленности относят:

- использование различных вентиляционных систем;
- систематическая влажная уборка;
- использование очистителей воздуха.

Для снижения воздействия повышенного напряжения в электрических цепях применяют мероприятия по снижению этого напряжения, т.е. применение токов пониженного напряжения.

9.3 Экологическая безопасность

1. Защита атмосферы

В процессе ремонтных производств метрополитена, эксплуатации котельных в электродепо, происходят выбросы дымовых газов, золы и углекислого газа, а также шумовое загрязнение атмосферы.

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для очистки дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая очистка.

Источниками шума на наземных объектах метрополитена являются поезда, вентиляционное оборудование, строительные машины и механизмы. Для снижения шумового загрязнения рекомендуют создание и применение малошумных агрегатов и экипажей, регламентирование времени работы источников шума, а также проектирование объектов шумозащиты

архитектурно-планировочными и строительно-акустическими методами и средствами [36].

2. Защита гидросферы

При строительстве, ремонтных работ в метрополитене и эксплуатации котельной в электродепо, существует вероятность загрязнения грунтовых вод тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Мероприятиями по защите грунтовых и поверхностных вод от загрязнения являются:

- эффективный отвод поверхностных сточных вод с территории промышленного предприятия;
- создание противofильтрационных завес;
- надлежащая организация складирования отходов ремонтных работ.

Тепловое загрязнение вод – загрязнение вод в результате поступления тепла. Источником загрязнения являются выбросы в атмосферу нагретых отработанных газов от котельных метрополитена. Основным способом уменьшения теплового загрязнения является постепенный отказ от ископаемого топлива и переход на возобновляемую энергию, использующую природные источники энергии: свет, ветер, гидроресурсы.

3. Защита литосферы

Твердые частицы, содержащиеся в дымовых газах, осаждаются на поверхности земли и загрязняют почву. Еще одним источником загрязнения являются зола и шлак, образующиеся в процессе сгорания топлива в котельных электродепо, которые далее складировются в золошлакоотвалах. Золошлакоотвалы загрязняют не только поверхность почвы. Твердые частицы через почву попадают в грунтовые воды, а также попадают в атмосферу.

Для предотвращения такого опасного источника загрязнения необходима своевременная утилизация золошлаковых отходов.

9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные чрезвычайные ситуации, которые могут произойти на данном объекте: пожар, взрыв, падение с платформы, сход вагона с рельс.

Одна из самых типичных чрезвычайных ситуаций – это пожар.

Для обеспечения пожарной безопасности:

1) помещения обеспечиваются средствами тушения пожара и связи для немедленного вызова пожарной команды;

2) первичные средства пожаротушения в производственных помещениях и на территории устанавливаются на специальные пожарные щиты (оборудуются 2-мя огнетушителями ОХП, лопатой, багром, топором, ведром, ящиком с песком).

3) пожарные краны внутреннего противопожарного водовода оборудуются рукавами и стволами, заключенными в шкафы;

4) местоположение пожарных кранов должно быть указано на схеме пожарного водовода;

5) во всех помещениях электроустановок оборудуются посты с первичными средствами пожаротушения:

- углекислотные огнетушители (ОУ-2, ОУ-5);
- ящики с песком;

6) места оборудования постов с первичными средствами пожаротушения согласуются с органами пожарной охраны;

7) использование пожарных средств для производственных и хозяйственных нужд запрещается.

В помещениях вывешиваются плакаты на противопожарную тематику, у всех телефонов вывешена информация с номерами телефонов пожарной части.

Заключение по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная

безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что, соблюдая определенные нормы и правила, возможно наладить стабильное производство, не подвергая опасности окружающую среду и людей.

Раздел направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий как на окружающую среду, так и на производственный персонал, а также способы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций и порядок действий при их возникновении.

Заключение

В рамках настоящей выпускной квалификационной работы был создан комплект проектной документации на автоматическую систему управления зоны безопасности для МГН метрополитена.

В процессе выполнения работы был произведен анализ объекта автоматизации, а также разработаны структурная, функциональная и монтажная схемы системы автоматического управления установок подпора. Также были разработаны и оформлены электрическая схема соединений и чертеж общего вида щита управления, составлены заказная спецификация приборов и средств автоматизации, перечень элементов электрической схемы и составных частей щита управления.

Данная работа содержит подробные расчеты оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора и оптимальных прямых оценок качества.

Заключительным этапом выполнения работы стало написание разделов «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

Список использованных источников

1. КонсультантПлюс. Федеральный закон Российской Федерации "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 № 123-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Акт правительства Российской Федерации "Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности" от 25.02.2013 № СП 7.13130.2013 // Собрание законодательства Российской Федерации. с изм. и допол. в ред. от 27.08.2020, от 12.09.2020.
3. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования. - 2 изд. - Томск: Томский политехнический университет, 2011. - 108 с.
4. Однофазный плавный регулятор скорости SRE-2,5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.shuft.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Регулятор скорости СРМ2.5щ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ventavtomatika.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
6. ДТС термосопротивления для измерения температуры воздуха. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
7. ТСМУ-16-S, ТСМУ-10-S датчики температуры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlpcccjdm.xn--p1ai/>, свободный. – Загл. с экрана.
8. ДДМ-03-ДИ/ДВ/ДА/ДД преобразователь (датчик) давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlpcccjdm.xn--p1ai/>, свободный. – Загл. с экрана.
9. ПД200-ДД преобразователь дифференциального давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
10. Симисторные регуляторы температуры ТТС. [Электронный

- ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arktika.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
11. АКПМ-1-01, АКПМ-1-11 стационарный кислородомер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kipkomplekt.ru/index.php>, свободный. – Загл. с экрана.
 12. Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
 13. Основная схемотехническая проектная и конструкторская документация при разработке АСУ ТП / Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 101 с.
 14. VX SE: новый отдельный системный шкаф от Rittal. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rittal.com/ru-ru/content/ru/start/index.jsp>, свободный. – Загл. с экрана.
 15. КАБЕЛЬ-КАНАЛ 40X40 EFAPEL 13020 CBR. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://anlan.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
 16. Андык В.С. Библиотека программ по расчету систем автоматического регулирования на программируемых микрокалькуляторах. Методические указания и программы к выполнению курсовых работ, курсовых и дипломных проектов для студентов специальности 210200. Томск: Изд. ТПИ, 1991.- 35 с.
 17. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. Изд. 2-е, перераб. М.: Энергия, 1972.- 376 с.
 18. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
 19. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

20. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studbooks.net/>, свободный. – Загл. с экрана.

21. КонсультантПлюс. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России N1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

22. Пожарная безопасность. Инструкция по охране труда для инженера АСУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fire-declaration.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

23. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.

24. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.

25. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.

26. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный. – Загл. с экрана.

27. ТЕХЭКСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703278>, свободный. – Загл. с экрана.

28. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200059881>, свободный. – Загл. с экрана.

29. ТЕХЭКСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703281>, свободный. – Загл. с экрана.

30. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.

31. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ Р 54578-2011. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200089439>, свободный. – Загл. с экрана.

32. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

33. Воздействие производственного шума на организм рабочих. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rospotrebnadzor.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

34. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, которое может воздействовать на человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuzlit.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

35. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов.

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

36. ТЕХЭСПЕРТ. СП 353.13258000.2017. Защита от шума объектов метрополитена. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/550558700>, свободный. – Загл. с экрана.

Приложение А

(обязательное)

Результаты расчета расширенных частотных характеристик объекта регулирования

Таблица А.1 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega),$ рад
0,00	2,000	0,000	2,000	0,000
0,01	2,128	-0,561	2,200	-0,258
0,02	1,975	-1,181	2,302	-0,539
0,03	1,551	-1,659	2,271	-0,819
0,04	1,020	-1,876	2,135	-1,073
0,05	0,542	-1,873	1,950	-1,289
0,06	0,180	-1,751	1,760	-1,468
0,07	-0,075	-1,587	1,589	1,524
0,08	-0,248	-1,418	1,440	1,398
0,09	-0,366	-1,263	1,315	1,289
0,10	-0,445	-1,125	1,210	1,194
0,11	-0,500	-1,003	1,121	1,108
0,12	-0,538	-0,897	1,046	1,031
0,13	-0,564	-0,803	0,982	0,959
0,14	-0,582	-0,721	0,926	0,892
0,15	-0,594	-0,647	0,879	0,828
0,16	-0,602	-0,581	0,837	0,768
0,17	-0,607	-0,522	0,800	0,710
0,18	-0,610	-0,467	0,768	0,654
0,19	-0,610	-0,418	0,740	0,600
0,20	-0,610	-0,372	0,714	0,548
0,21	-0,608	-0,329	0,691	0,496
0,22	-0,605	-0,289	0,671	0,446
0,23	-0,602	-0,252	0,653	0,397
0,24	-0,598	-0,217	0,636	0,348
0,25	-0,593	-0,184	0,621	0,301
0,26	-0,588	-0,152	0,608	0,253
0,27	-0,582	-0,122	0,595	0,207
0,28	-0,576	-0,096	0,584	0,161
0,29	-0,570	-0,066	0,574	0,115
0,30	-0,563	-0,039	0,564	0,070
0,31	-0,556	-0,014	0,556	0,025
0,32	-0,548	0,011	0,548	-0,020
0,33	-0,540	0,035	0,541	-0,064
0,34	-0,531	0,058	0,534	-0,108
0,35	-0,522	0,079	0,528	-0,152
0,36	-0,513	0,101	0,523	-0,195

Продолжение таблицы А.1

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{06}(m, \omega)$	$Im_{06}(m, \omega)$	$A_{06}(m, \omega)$	$\varphi_{06}(m, \omega),$ рад
0,37	-0,503	0,122	0,518	-0,239
0,38	-0,493	0,143	0,514	-0,282
0,39	-0,483	0,163	0,510	-0,325
0,40	-0,472	0,182	0,506	-0,368
0,41	-0,461	0,201	0,503	-0,410
0,42	-0,449	0,219	0,500	-0,453
0,43	-0,437	0,236	0,497	-0,495
0,44	-0,425	0,253	0,495	-0,538
0,45	-0,412	0,269	0,492	-0,580
0,46	-0,399	0,286	0,491	-0,622
0,47	-0,385	0,301	0,489	-0,664
0,48	-0,371	0,317	0,488	-0,706
0,49	-0,357	0,331	0,487	-0,748
0,50	-0,342	0,345	0,486	-0,790
0,51	-0,327	0,359	0,485	-0,831
0,52	-0,311	0,371	0,485	-0,873
0,53	-0,296	0,384	0,484	-0,915
0,54	-0,279	0,396	0,484	-0,956
0,55	-0,263	0,407	0,484	-0,998
0,56	-0,246	0,418	0,485	-1,039
0,57	-0,228	0,428	0,485	-1,080
0,58	-0,211	0,438	0,486	-1,122
0,59	-0,193	0,447	0,486	-1,163
0,60	-0,175	0,455	0,487	-1,204
0,61	-0,156	0,463	0,488	-1,245
0,62	-0,137	0,469	0,489	-1,287
0,63	-0,118	0,476	0,491	-1,328
0,64	-0,099	0,482	0,492	-1,369
0,65	-0,079	0,487	0,494	-1,410
0,66	-0,059	0,492	0,495	-1,451
0,67	-0,039	0,496	0,497	-1,492
0,68	-0,019	0,499	0,499	-1,533
0,69	0,001	0,501	0,501	1,568
0,70	0,022	0,503	0,503	1,527
0,71	0,043	0,504	0,506	1,486
0,72	0,064	0,504	0,508	1,445
0,73	0,084	0,504	0,511	1,405
0,74	0,105	0,502	0,513	1,364
0,75	0,127	0,500	0,516	1,323

Приложение Б

(обязательное)

Результаты расчета настройки ПИ-регулятора

Таблица Б.1 – Результаты расчёта настройки ПИ-регулятора

ω, c^{-1}	$\frac{K_p}{T_i}$	K_p
0,00	0,000	-0,500
0,02	0,005	-0,266
0,04	0,020	-0,027
0,06	0,042	0,212
0,08	0,067	0,446
0,10	0,094	0,671
0,12	0,121	0,883
0,14	0,144	1,079
0,16	0,163	1,256
0,18	0,175	1,411
0,20	0,179	1,543
0,22	0,174	1,651
0,24	0,158	1,734
0,26	0,132	1,790
0,28	0,094	1,821
0,30	0,046	1,827
0,32	0,000	1,808

Приложение В

(обязательное)

Результаты расчета ВЧХ по каналу задающего воздействия

Таблица В.1 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы по каналу задающего воздействия

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$
0,00	1,000
0,02	1,013
0,04	1,049
0,06	1,097
0,08	1,143
0,10	1,165
0,12	1,414
0,14	1,041
0,16	0,839
0,18	0,518
0,20	0,098
0,22	-0,349
0,24	-0,731
0,26	-0,984
0,28	-1,099
0,30	-1,109
0,32	-1,056
0,34	-0,969
0,36	-0,871
0,38	-0,771
0,40	-0,677
0,42	-0,591
0,44	-0,512
0,46	-0,449
0,48	-0,379
0,50	-0,323
0,52	-0,274
0,54	-0,229
0,56	-0,189
0,58	-0,154
0,60	-0,123
0,62	-0,094
0,64	-0,069
0,66	-0,046
0,68	-0,025
0,70	-0,007
0,72	0,000

Приложение Г

(обязательное)

Матрица SWOT-анализа

Таблиц Г.1 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1 Заявленная экономичность технологии.</p> <p>C2 Использование современных компонентов системы.</p> <p>C3 Высокая надежность системы.</p> <p>C4 Большой срок эксплуатации.</p> <p>C5 Соответствие системы всем требованиям пожарной и производственной безопасности.</p> <p>C6 Снижение уровня опасных ситуаций.</p> <p>C7 Применение системы оперативного диспетчерского контроля.</p> <p>C8 Высокая точность регулирования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Требуются контроллеры, предназначенные для систем средней степени сложности.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость.</p> <p>Сл3.Потребность в высококвалифицированном персонале.</p> <p>Сл4. Сложность монтажа.</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Повышение спроса на реализацию проекта.</p> <p>V2 Поддержка со стороны государства для развития технологий вентилирования в пожаробезопасных зонах.</p> <p>V3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>V4.Понижение стоимости на компоненты системы.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности».</p> <p>1. Меньшая стоимость разработки системы в отличие от конкурентных за счет меньшего количества требуемой аппаратуры.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности».</p> <p>1. Повышение спроса на проект приведет к повышению потребности в высококвалифицированном персонале.</p> <p>2. При повышении стоимости конкурентных разработок, стоимость разработки системы на их фоне может выглядеть не высокой.</p> <p>3. При понижении стоимости компонентов системы, стоимость системы также понизится.</p>

Продолжение таблицы Г.1

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на реализацию проекта. У2. Повышение стоимости на компоненты системы. У3. Усовершенствование конкурентных систем. У4. Появление новых проектных решений. У5. Увеличение цен на энергоресурсы.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы».</p> <p>1. При использовании современных компонентов системы, повышение стоимости на компоненты системы приведет к удорожанию системы в целом.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы».</p> <p>1. Отсутствие спроса на продукт из-за высокой стоимости системы. 2. Введение государственных требований на использование отечественных компонентов, может привести к изменению компонентов системы в целом и повышению стоимости на продукт.</p>
--	---	---

Приложение Д

(обязательное)

Календарный план-график проекта

Таблица Д.1 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.												
				февраль		март			апрель			май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	10		▨										
3	Выбор направления исследования	Исполнитель	4			▨									
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	4			■									
5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель	6				▨								
6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель	6					▨							
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	4						■						
8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	4							■					
9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель	46										▨		

