

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
Направление подготовки 27.03.04 Управление в технических системах
Кафедра автоматики и компьютерных систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры жидкости

УДК 681.52.018.2:536.423

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8A21	Суворин Максим Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. АИКС	Паньшин Геннадий Леонидович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмента	Рахимов Тимур Рустамович	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Извеков Владимир Николаевич	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Суходоев Михаил Сергеевич	К.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации
P2	Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники
P3	Применять полученные знания (P1 и P2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами
P5	Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами
P6	Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими объектами
P7	Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику:	13.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. АИКС	Паньшин Геннадий Леонидович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8A21	Суворин Максим Александрович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт электронного обучения
Направление 27.03.04 Управление в технических системах
Кафедра автоматики и компьютерных систем
Уровень образования – бакалавр
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2017 г.	Основная часть	75
20.05.2017 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
20.05.2017 г.	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. АИКС	Паньшин Геннадий Леонидович			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АИКС	Суходоев Михаил Сергеевич	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-8A21	Суворину Максиму Александровичу

Институт	ТПУ ИНЭО	Кафедра	АиКС
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Управление в технических системах

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос, наблюдение.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа: оценка потенциальных потребителей, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИИ.
2. Планирование проведения и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НИИ, разработка графика проведения НИИ, планирование бюджета НИИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности для всех видов исполнения НИИ.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмента	Рахимов Тимур Рустамович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8A21	Суворин Максим Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-8A21	Суворину Максиму Александровичу

Институт	ТПУ ИНЭО	Кафедра	ЛИКС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1 Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	В выпускной квалификационной работе разрабатывается лабораторный стенд системы автоматического регулирования температуры жидкости, создание и настройка ПИД-регулятора на основе аппаратной платформы Arduino. Рабочей зоной является рабочее место в учебной аудитории. Вредными факторами, которые могут возникнуть на рабочем месте являются электромагнитные поля, освещение и шумы. Опасными проявлениями факторов на рабочем месте является электрический ток. Чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть на рабочем месте – это пожар.
1 Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03; СанПиН 2.2.4.548 – 96; СП 52.13330.2011; СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96; ГОСТ 12.1.003-83; ГОСТ 12.1.019–85

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	- напряженность труда; - напряженность зрения; - освещение; - электромагнитные поля - шум - электрический ток Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Анализ выявленных опасных факторов: - электрический ток (источником является ПК, нагреватель, контроллер);
3. Экологическая безопасность - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);	При выполнении работы влияние на атмосферу и гидросферу не происходит. Воздействие на

- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	литосферу – образование отходов при печати документов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	План освещения на рис. 31 Эвакуация при пожаре на рис 32 Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости рис. 33 Размещение основных и периферийных составляющих рис. 34

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Извеков Владимир Николаевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-8А21	Суворин Максим Александрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 106 страниц текста, 34 рисунка, 28 таблиц, 17 литературных источников.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, лабораторный стенд, Arduino, температура, система автоматического регулирования.

Объектом исследования является оборудование, для создания лабораторного стенда, работа с аппаратной платформой Arduino, а также в среде разработки Arduino IDE. Программная разработка и настройка ПИД-регулятора на основе RobotDyn UNO R3.

Цель работы – создание лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры жидкости.

В процессе исследования проводились: подбор необходимого оборудования, изучение принципов его работы, создание схемы подключения объектов реализации проекта, разработка программного ПИД-регулятора на основе аппаратной платформы RobotDyn UNO R3, настройка ПИД-регулятора.

В результате исследования подобрано подходящее оборудование для реализации проекта, был создан лабораторный стенд, подобран нужный закон регулирования, а также произведена настройка ПИД-регулятора для правильного функционирования стенда.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Питание нагревателя – 200 В

Питания для оборудования (насос, вентиляторы) – 12 В

Соединение с компьютером – microUSB – USB

Способ измерения температуры – термопара и преобразователь температуры

Закон для регулирования – ПИД-регулятор

Регулируемый параметр – температура

Контролируемый параметр – частота вращения вентиляторов

Размеры стенда (В, Ш, Г, см) – 60х60х70

Лабораторный стенд системы автоматического регулирования температуры жидкости может применяться для выполнения студентами лабораторных работ, результатом которых будет изучение вопросов работы с аппаратной платформой Arduino, навыки его программирование в программной среде Arduino IDE, а также навыки по созданию программного ПИД-регулятора на языке C и способах его настройки.

Экономическая эффективность/значимость работы показывает, что проект является экономически-, ресурсо- и финансово- эффективным. И является перспективным для его развития в будущем.

В будущем планируется улучшать программное обеспечение, добавлять дополнительные модули типа экрана, кнопок и т.д. Также планируется создание визуальной оболочки для удобства использования стенда.

Обозначения и сокращения

ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальный

ПИ – пропорционально интегральный

ПД – пропорционально-дифференциальный

САР – система автоматического регулирования

ШИМ – широтно-импульсная модуляция

НСХ – номинально-статическая характеристика

ПО – программное обеспечение

Оглавление

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МЕР ПО НОРМАЛИЗАЦИИ УРОВНЕЙ ФАКТОРОВ И ЗАЩИТЕ ОТ ИХ ДЕЙСТВИЯ.....	7
Введение	16
1. ПОНЯТИЕ О ТЕМПЕРАТУРЕ И ОБ УСТРОЙСТВАХ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР	18
1.1 Тепловая инерция, измерительные шкалы	18
1.2 Методы измерения температуры	21
1.2.1 Контактный метод измерения температуры	22
1.2.2 Бесконтактный метод измерения температуры.....	25
1.2.3 Люминесцентные методы измерения температуры.....	25
1.3 Выбор объекта управления	27
2 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА	28
2.1 Контроллер RobotDyn UNO R3.....	28
2.2 Схема для управления скоростью вращения вентиляторов с помощью ШИМ	34
2.3 Термопара	35
2.4 Преобразователь для термопары MAX6675.....	39
2.5 Вспомогательные элементы проекта	41
2.5.1 Элементы охлаждения.....	41
2.5.2 Радиатор	45
2.5.3 Нагревательный элемент.....	46

2.5.4 Принудительная циркуляция	47
3 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА	49
3.1 Подключение термопары к RobotDyn UNO R3 с помощью преобразователя температуры MAX6675.....	49
3.2 Подключение вентиляторов к RobotDyn UNO R3 с помощью дополнительной схемы.....	52
3.3 Сборка Лабораторного стенда	54
3.4 Настройка ПИД Регулятора.....	55
3.4.1 Назначение ПИД регулятора в системе охлаждения	55
3.4.2 Выбор ПИД регулятора.....	58
3.4.3 Настройка параметров ПИД регулятора.....	64
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	68
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	69
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	69
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	70
4.1.3 SWOT-анализ	72
4.1.4 Определение возможных альтернативных научных исследований	74
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	75
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	75
4.2.2 Разработка графика проведения научного	76
4.2.3 Разработка графиков проведения научного исследования	79

4.3 Бюджет научно-технического исследования	80
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	81
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	82
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	83
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	84
4.3.5 Накладные расходы	86
4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	86
4.3.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	87
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	90
5.1 Профессиональная социальная безопасность	91
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов	91
5.1.1.1 Шум	91
5.1.1.2 Электромагнитное излучение	93
5.1.1.3 Электробезопасность	94
5.1.1.4 Микроклимат	96
5.1.1.5 Освещение.....	98
5.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	100
5.2.1 Пожарная безопасность.....	100
5.3 Организация мероприятия обеспечения безопасности.....	102
5.3.1 Эргономические требования к рабочему месту	102
5.3.2 Окраска и коэффициенты отражения	103

5.4 Особенности законодательного регулирования	104
Заключение	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	107

Введение

В выпускной квалификационной работе реализован лабораторный стенд с автоматической системой регулирования частоты вращения охлаждающих вентиляторов и контроля температуры жидкости с помощью ПИД регулятора на базе аппаратной платформы RobotDyn UNO R3 (Аналог Arduino UNO), где главным микроконтроллером является ATmega328P-AU.

Во все времена в различных технических, компьютерных и других системах существовала проблема охлаждения основных рабочих элементов и для решения этой проблемы использовалось множество интересных способов. В данном примере в качестве контролируемого параметра выбрана частота вращения двигателей вентиляторов, в роли охлаждающих элементов выступают 2 радиатора от автомобильных печей, для передачи тепла от нагревателя к охладителю используется обычная вода. Для циркуляции жидкости в системе используется центробежный насос. Чтобы получать показания температуры к плате Arduino подключен дополнительный модуль-преобразователь MAX6675, который уже непосредственно соединен с термопарой в защитном кожухе. Сама жидкость находится в резервуаре на 2 литра. В роли источника тепла выступает бытовой кипятильник на 500Вт.

Аппаратная платформа RobotDyn UNO R3 – это русский аналог Arduino UNO R3. В целом они практически идентичны, разница лишь в том, что Robotdyn UNO R3 имеет разъем MicroUSB, а также на ней есть пара дополнительных аналоговых входов (A6, A7), которые могут использоваться только как аналоговые. Для осуществления соединения с персональным компьютером используется USB-UART интерфейсный чип CH340G. Средой разработки для Robotdyn UNO R3 является Arduino IDE с официального сайта www.arduino.cc. Язык программирования в этой среде – C++.

RobotDyn UNO R3 выбран, как микроконтроллер в данной системе из экономических соображений, так как это одно из самых бюджетных предложений на рынке. Аппаратная платформа в виде конструктора упрощает

сборку любых, даже самых сложных систем. Удобная среда разработки, большое количество дополнительных модулей и библиотек для работы с ними, огромное сообщество любителей и профессионалов в сети интернет, работающих с Arduino и его аналогами, делает работу с этой платформой легкой и понятной любому начинающему «инженеру».

1. Понятие о температуре и об устройствах измерения

температур

1.1 Тепловая инерция, измерительные шкалы

Температура, от лат. *temperatura* — надлежащее смешение, соразмерность, нормальное состояние, величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы. При термодинамическом равновесии температура одинакова в разных точках системы. Первый постулат термодинамики гласит о том, что температура в изолированной системе стремится к равновесию и более теплые тела отдают тепло холодным. Из основ второго начала термодинамики, производная от энергии тела по его энтропии есть теоретическое определение температуры. Температура определенная таким образом всегда больше нуля, это так называемая абсолютная температура по термодинамической температурной шкале (обозначается T). В СИ единицей абсолютной температуры является кельвин (К). Температура по шкале Цельсия (t , °C) связана с абсолютной температурой выражением $t = T - 273,15 \text{ К}$ ($1^\circ\text{C} = 1 \text{ К}$).

В данном лабораторном стенде большое значение имеет такое понятие, как тепловая инерция. Тепловая инерция – это словосочетание, используемое в основном в инженерном моделировании теплообмена, собирающий в себе несколько характеристик материала, которые связаны с объёмной теплоёмкостью и с теплопроводностью. Это значит, что эффекты в динамике являются определяющими для данной модели, и расчёты в стационарном состоянии могут дать неточные результаты. Другими словами, тепловая инерция показывает способность к плавной, без скачков перемене температуры за какое-то время.

Тепловая инерция иногда в научной литературе называется тепловой активностью или термической активностью.

Температуру принято измерять в энергетических единицах. Температурные измерения производились еще до создания молекулярно-

кинетической теории, и благодаря этому шкалы, применяемые на практике, измеряют температуру в условных единицах — градусах.

Абсолютная температура как понятие было предложено У. Томсоном (Кельвином), из-за этого шкалу абсолютной температуры называют термодинамической температурной шкалой или шкалой Кельвина. Температура по этой шкале выражена в Кельвинах (K).

Шкала Кельвина также называется абсолютной, так как точка нуля на ней является абсолютным нулем. Это самая низкая температура, при которой нельзя получить тепловую энергию из тела с такой температурой.

Температура абсолютного нуля равна 0 K, или $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-459,67\text{ }^{\circ}\text{F}$.

Немаловажное значение играет разработка на основе термодинамической шкалы Кельвина, основанных на реперных точках — фазовых переходах веществ, методом измерения температуры. В 1927 г. была принята первая температурная шкала, которая называлась МТШ-27. Эту шкалу переделывали несколько раз (МТШ-48, МПТШ-68, МТШ-90): изменяли реперные точки, методы интерполяции, но принцип остался тот же — шкала основывается на наборе фазовых переходов чистых веществ с известными значениями термодинамических температур и интерполяционные приборы, градуированные в этих точках. На сегодняшний день основной является шкала МТШ-90. Положение о шкале, как основной документ устанавливает определение Кельвина, значения температур реперных точек и методы интерполяции.

Бытовые температурные шкалы, такие как как шкала Цельсия, или Фаренгейта — не удобны, так как не являются абсолютными и температур может принимать отрицательные значения. Для этих случаев и существуют абсолютные шкалы температур.

Одна из таких — это шкала Ранкина, а другая — абсолютная термодинамическая шкала Кельвина; температуры по ним измеряются, соответственно, в градусах Ранкина ($^{\circ}\text{Ra}$) и кельвинах (K). Эти шкалы начинаются от температуры абсолютного нуля. Различие заключается в цене

деления шкал, цена деления шкалы Кельвина равна цене деления шкалы Цельсия, а цена деления шкалы Ранкина такая же как у шкалы Фаренгейта. Точка замерзания воды в нормальных условиях по этим трем шкалам соответствует 273,15 K, 0 °C, 32 °F.

Абсолютная шкала Кельвина привязана к тройной точке воды равной 273,16 K, также от неё зависит постоянная Больцмана. Это создаёт проблемы с точностью интерпретации измерений высоких температур. Международное бюро мер и весов рассматривает переопределение значения кельвина, основанное на постоянном значении Больцмана, чтобы шкала не была привязана к температуре тройной точки, как сейчас.

Большое распространение имеет шкала Цельсия, будучи используема в различных сферах, таких как техническая, медицинская, метеорологическая и бытовая, где основной единицей измерения температуры является градус Цельсия, определяется она через шкалу Кельвина: $t\text{ (}^{\circ}\text{C)} = T\text{ (K)} - 273,15$, цена деления этих шкал совпадает. По шкале Цельсия температура тройной точки воды равна приблизительно 0,008 °C, и, следовательно, точка замерзания воды практически равна 0 °C. Вторая реперная точка, соответствующая кипению воды при 100 °C считается не действительной. Последние найденные значения, которым соответствует закипание воды по шкале Цельсия равна 99,975 °C. Шкала Цельсия удобна в практике, так как вода распространена на нашей планете. Ноль Цельсия — такая точка, при достижении которой вода при нормальных условиях замерзает. Эта шкала предложена Андерсом Цельсием в 1742 г.

Ноль градусов по шкале Цельсия — это 32 градуса по шкале Фаренгейта, а 100 градусов Цельсия — 212 градусов Фаренгейта.

На сегодняшний день принято считать, что шкала Фаренгейта – это такая температурная шкала, где 1 градус (1 °F) равен 1/180 разности температур кипения воды и таяния льда при атмосферном давлении, а точка таяния льда имеет температуру +32 °F. Температура по шкале Фаренгейта связана с

температурой по шкале Цельсия ($t\text{ }^{\circ}\text{C}$) соотношением $t\text{ }^{\circ}\text{C} = 5/9 (t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$, $t\text{ }^{\circ}\text{F} = 9/5 t\text{ }^{\circ}\text{C} + 32$. Предложена Г. Фаренгейтом в 1724 году.

Другая температурная шкала была предложена в 1730 году Р. А. Реомюром. Единица измерения по этой шкале — градус Реомюра ($^{\circ}\text{Ré}$), $1\text{ }^{\circ}\text{Ré}$ равен $1/80$ части температурного интервала между опорными точками — температурой таяния льда ($0\text{ }^{\circ}\text{Ré}$) и кипения воды ($80\text{ }^{\circ}\text{Ré}$)

$$1\text{ }^{\circ}\text{Ré} = 1,25\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

В настоящее время шкала вышла из употребления, дольше всего она сохранялась во Франции, на родине автора. Сравнительная таблица для разных температурных шкал приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика различных температурных шкал

Описание	Кельвин	Цельсий	Фаренгейт	Ньютон	Реомюр
Абсолютный ноль	0	−273.15	−459.67	−90.14	−218.52
Температура таяния смеси фаренгейта (соли и льда в равных количествах)	255.37	−17.78	0	−5.87	−14.22
Температура замерзания воды (нормальные условия)	273.15	0	32	0	0
Средняя температура человеческого тела ¹	310.0	36.8	98.2	12.21	29.6
Температура кипения воды (нормальные условия)	373.15	100	212	33	80
Температура поверхности солнца	5800	5526	9980	1823	4421

1.2 Методы измерения температуры

Чтобы измерить температуру необходимо выбрать термодинамический параметр вещества, у которого хотим ее узнать. При изменении этого параметра можно говорить об изменении температуры. Самым распространенным примером такого термометра служит газовый термометр, в котором температура определяется по измерению давления газа в баллоне постоянного объёма. Известны также термометры абсолютные радиационные, шумовые, акустические.

Термодинамические термометры — это крайне сложные установки, которые не используют для практических целей. На практике большая часть измерений температуры осуществляется с помощью практических термометров, которые являются вторичными, так как измеренная температура не основана на каком-либо свойстве вещества. Все они проходят градуировку по основным реперным точкам.

При температурных измерениях различных объектов, измеряют физический параметр, связанный с температурой, например, физические характеристики для газов — давление или объем, скорость звука, электрическую проводимость, электромагнитные спектры поглощения или излучения.

Обычно на практике используются контактные термометры. Термометр должен находиться в непосредственном контакте с телом для установления термодинамического равновесия тела и термометра, и только после того, как температура термометра будет равна температуре тела, можно сказать какая температура у тела. Для достижения температуры тела, физический контакт должен быть максимально теплопроводимым, так как плохой контакт между термометром и телом может заметно замедлить процесс измерения температуры. Тепловой контакт между термометром и телом должен быть достаточным, и для ускорения процесса теплообмена термометр стараются сделать минимальных размеров. При этом тело передает меньше тепловой энергии термометра, что повышает точность измерений. Идеальный термометр имеет нулевую теплоёмкость.

1.2.1 Контактный метод измерения температуры

Этот способ измерения основан на тепловом расширении твердых, жидких, газообразных веществ.

Достоинства средств измерения контактным методом: механическая прочность, надежность, малые затраты на обслуживание, хорошая точность измерения, низкая стоимость.

Недостатки: низкое быстродействие, большие размеры, ограниченный диапазон измерения температуры. Бывают с электрическим, механическим или пневматическим входом.

Дилатометрические измерительные устройства (дилатометры). Они основаны на измерении длины металлического стержня под действием температуры с механическим рычажным усилителем микроперемещений (рис. 1).

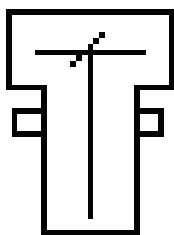


Рис. 1 – Схема дилатометрического термометра

Диапазон до 1000°C , погрешность срабатывания $\pm 1\%$. Измеряют среднюю по длине стержня температуру. Т.к. создается большое усилие, используют для регуляторов прямого действия.

Биметаллические термометры (рис.2) расширения: принцип основан на совмещении двух металлов с разными температурными коэффициентами.

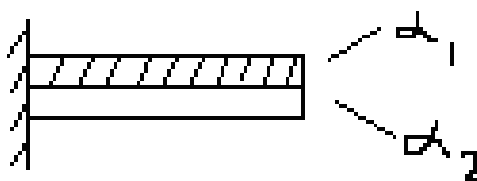


Рис. 2 – Схема биметаллического термометра

Основными преимуществами являются небольшие размеры, меньше подвижных частей, простота, дешевизна, чувствительный элемент может быть разной формы (полосы, скобы, улитки, спирали, винтовые). Большое перемещение Δx и малое усилие. Диапазон измерения температуры от -50°C до $+600^{\circ}\text{C}$, погрешность $\pm 1\%$.

Жидкостные термометры:

- Стекланные. Имеют среднюю точность, но широко распространены. Жидкость – спирт, ртуть, толуол, пентан.

Температурный диапазон $-195 - +1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Стекло специально состаривается, под влиянием большого давления.

- Стеклённые контактные термометры.
- Жидкостные манометрические термометры. Длина капилляров до 60 см, диаметр 0,1 мм.

В газовых конденсатных термометрах используются гелий, озон, аргон. Диапазон измерения температуры от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Газ может проходить через стенки при любом значении температуры. Эти термометры быстрее чем жидкостные. В конденсационных термометрах капилляр частично заполнен жидкостью. Температура не зависит от температуры капилляра.

Особые механические термометры:

- Пироскопы – конусообразные изделия из плавких материалов, измеряют температуру, ток и время воздействия. Используются для контроля технологических процессов.
- Термокраски, термолаки – зависимости цвета краски от температуры.
- Термоиндикаторные пленки.

Электрические контактные термометры характеризуются зависимостью R, L, C от температуры. Имеют высокую точность, быстродействие, широкий диапазон температур.

Термометры сопротивления – измеряют абсолютную температуру, используются для среднего диапазона температур, имеют нелинейные характеристики. Бывают на основе металлов и полупроводников (медь-платина, никель-платина). Сопротивления проводников нормированы 100 Ом и 50 Ом при 0°C . Сопротивления полупроводников (термисторы) от 1 кОм до 1 МОм (позисторы – положительный температурный коэффициент).

Термопары имеют линейную характеристику, быстродействие, высокую чувствительность, механическую прочность, большой температурный диапазон (до 2000°C). Стойки против коррозии. Простая конструкция, стабильность свойств во времени.

Кварцевые термометры. Зависимость частоты колебаний от температуры. $S=1$ кГц/К, $f_0=30$ МГц. Температурный диапазон -80°C - $+250^{\circ}\text{C}$.

Самым точным практическим термометром является платиновый термометр сопротивления. Также разработаны новейшие методы измерения температуры, основанные на измерении параметров лазерного излучения.

1.2.2 Бесконтактный метод измерения температуры

Любое тело излучает электромагнитную энергию, волны различной длины. В качестве приемника электромагнитного излучения в диапазоне от ИК и выше используются черные или серые приемники излучения (пластинки из золота, покрытые черным, или платины). Чувствительность пластинки не зависит от длины волны. Температуру пластины измеряют с помощью термопар, термометров сопротивления, пироэлементов. На этом принципе работают радиационные пирометры типа РАПИР.

Также существуют селективные чувствительные элементы для определенного диапазона длин волн на основе фотоэлектриков. При температуре выше 650°C можно визуально определить температуру по цвету металла. Большую роль при этом играет оптика. При низких температурах для измерения используются зеркала.

ОПИР – оптические пирометры. Чувствительны в узком диапазоне частот:

- пирометры с исчезающей нитью;
- пирометры спектрального отклонения.

Пирометры применяются в основном в металлургии; при низких температурах – в геологии, в медицине и химии. Съемка температурных полей объектов в ИК диапазоне с визуализацией температурных полей, используется для труднодоступных, движущихся или удаленных объектов.

1.2.3 Люминесцентные методы измерения температуры

Интенсивность излучения люминофоров лежит в основе люминесцентных методов измерения температуры.

Современные волоконно-оптические датчики позволяют измерять множество характеристик различных объектов и температуру в том числе.

Их сложно использовать на практике, но они дают несколько преимуществ:

этот вид датчиков не подвержен воздействию магнитного поля; малые размеры датчиков, они эластичны, обладают достаточной прочностью, высокой коррозионной стойкостью и т. д.

1. Волоконно-оптические датчики могут быть использованы в качестве устройств для измерения температуры. Их принцип работы заключается в следующем. Объект со значением температуры больше 0 К испускает тепловое излучение. Чем больше температура тела, тем больше энергия излучения, а длина волны, на которой излучение максимально, уменьшается. Поэтому, чтобы определить температуру используют формулу Планка для энергии теплового излучения черного тела на фиксированной длине волны или в диапазоне волн.

Основной плюс такого метода измерения — это возможность зафиксировать большую температуру без контакта с телом. Световые детекторы и оптические волокна выбирают, опираясь на диапазон температур. Область измерения температур для волоконно-оптических датчиков излучения от 400°C до 2000°C. Для измерений температур ниже 400°C используют оптические волокна, прозрачные для инфракрасных волн длиной 2 мкм и более,

2. Волоконно-оптические датчики, в основе принципа своей работы используют оптические свойства полупроводников. Длина волны спектра имеет граничную длину волны спектра оптического поглощения. Поглощение увеличивается с уменьшением длины волны, с ростом температуры граничная длина волны уходит в сторону более длинных волн (около 3 нм/К). При подаче на полупроводниковый кристалл луч от источника света, имеющего спектр излучения в окрестности указанной границы спектра поглощения, интенсивность света, проходящего через светочувствительную часть датчика, с

повышением температуры будет падать. Диапазон измерения температуры данным методом от 30°C до 300°C с погрешностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

3. Суть флуоресцентного метода в следующем. На торцовую часть оптического волокна светочувствительной части наносят флуоресцентное вещество. Под воздействием ультрафиолетовых лучей возникает флуоресцентное излучение, которое принимается этим же волокном. Температурный сигнал выявляется путем вычисления отношения соответствующих значений интенсивности флуоресцентного излучения для сигнала с длиной волны, сильно зависящего от температуры к интенсивности сигнала с другой длиной волны, слабо зависящего от температуры. Данный датчик используется для измерения температур в диапазоне от -50°C до 200°C с погрешностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

1.3 Выбор объекта управления

В этом лабораторном стенде выбрана модель системы аналогичная системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания, похожим образом устроена система отопления автомобиля и система водяного охлаждения для компьютера и т.п. В качестве объекта управления выбраны вентиляторы, частотой вращения которых осуществляется с помощью ПИД регулятора на базе RobotDyn UNO R3.

2 Описание объектов реализации проекта

Для создания лабораторного стенда автоматического регулирования температуры жидкости были использованы следующие объекты реализации:

2.1 Контроллер RobotDyn UNO R3

В настоящее время существует большое количество плат похожих на Arduino. Оригинальные платы, разработанные компанией, которую основал итальянец Массимо Банци производятся в Италии (Торино) и в США (Нью-Йорк). Их можно приобрести в официальном интернет-магазине, либо у официальных дистрибьюторов.

Официальный документ об использовании названия Arduino гласит о том, что проект открыт для всех желающих работать над продуктом, что позволяет большинству производителей производить точные копии оригинальных плат.

Крупные производители клонов Arduino – Seeeduno, Freeduino, Craftduino и другие производят качественные (в отличие от поддельных Arduino и noName) клоны Arduino по цене значительно ниже оригинальных.

Сравнительно недавно появился новый крупный производитель Arduino-плат — Robotdyn. В линейке продуктов бренда Robotdyn большое количество клонов Arduino очень хорошего качества.

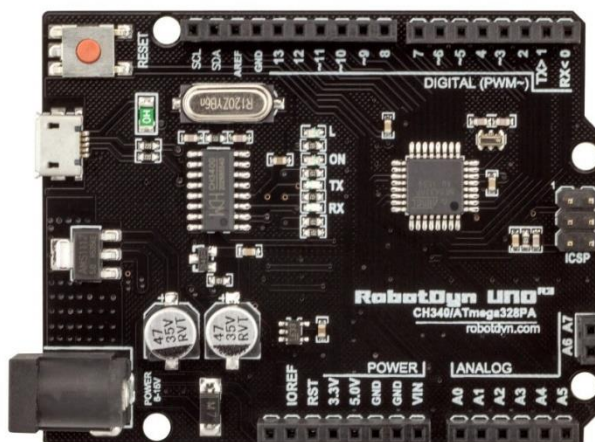


Рис. 3 – Отладочная плата RobotDyn UNO R3

Плата RobotDyn UNO R3 (рис. 3) конструктивно практически идентична оригинальной плате Arduino UNO R3, она подключается к компьютеру по microUSB кабелю. Вы можете питать плату через microUSB (5 В) или через разъем питания 7-15 В. Обращаем внимание, что чем выше входящее напряжение, тем ниже исходящая сила тока). Что обеспечивает мощное и надежное питание для любого проекта.

В отличие от оригинала, плата RobotDyn Uno R3 имеет более распространенный разъем microUSB, кроме того, на плату дополнительно установили 2 аналоговых входа A6 и A7. Надо отметить, что входы A6 и A7 (в отличие от аналоговых входов A0 – A5) нельзя использовать в качестве цифровых, а только как аналоговые входы.

Плата RobotDyn Uno R3 построена на оригинальном микроконтроллере ATmega328P (SMD-вариант), в отличие от плат, использовавших FTDI USB микроконтроллер для связи по USB, RobotDyn Uno R3 оснащена USB-UART интерфейсным чипом CH340G и, если вы программируете плату в операционных системах семейства Windows необходимо установить драйверы для работы с чипом CH340G. Также на плате расположен кварцевый генератор 16 МГц, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или батареи.

Характеристики Характеристики RobotDyn UNO R3 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики RobotDyn UNO R3

Микроконтроллер	Atmega328
Рабочее напряжение	5 в
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 в
Входное напряжение (предельное)	6-20 в
Цифровые входы/выходы	14 (6 могут использоваться как шим)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 ма
Постоянный ток для вывода 3.3 в	50 ма
Флэш-память	32 кб (0.5 кб загрузчик)
Озу	2 кб

Еeprom	1 кб
Тактовая частота	16 гц

RobotDyn Uno R3 может питаться от USB или внешнего источника питания. Плата сама выбирает источник питания. Внешнее питание (не USB) может подаваться через преобразователь напряжения AC/DC (блок питания) или аккумуляторной батареей. Преобразователь напряжения подключается посредством разъема 2.1 мм с центральным положительным полюсом. Провода от батареи подключаются к выводам Gnd и Vin разъема питания.

Платформа может работать при внешнем питании от 6 В до 20 В. При напряжении питания ниже 6 В, вывод 5 В может выдавать менее 5 В, при этом платформа может работать нестабильно. При использовании напряжения выше 12 В регулятор напряжения может перегреться и повредить плату. Рекомендуемый диапазон от 7 В до 12 В.

Выводы питания:

- VIN – Вход используется для подачи питания от внешнего источника (в отсутствие 5 В от разъема USB или другого регулируемого источника питания). Подача напряжения питания происходит через данный вывод.
- 5V – Регулируемый источник напряжения, используемый для питания микроконтроллера и компонентов на плате. Питание может подаваться от вывода VIN через регулятор напряжения, или от разъема USB, или другого регулируемого источника напряжения 5 В.
- 3V3 – Напряжение на выводе 3.3 В генерируемое встроенным регулятором на плате. Максимальное потребление тока 50 мА.
- GND – Выводы заземления.

Микроконтроллер ATmega328 располагает 32 Кб флэш памяти, из которых 0.5 Кб используется для хранения загрузчика, а также 2 Кб ОЗУ

(SRAM) и 1 Кб EEPROM, которая читается и записывается с помощью библиотеки EEPROM).

Каждый из 14 цифровых выводов RobotDyn Uno R3 может настроен как вход или выход, используя функции `pinMode()`, `digitalWrite()` и `digitalRead()`. Выводы работают при напряжении 5 В. Каждый вывод имеет нагрузочный резистор (по умолчанию отключен) 20-50 кОм и может пропускать до 40 мА.

Последовательная шина: 0 (RX) и 1 (TX). Выводы используются для получения (RX) и передачи (TX) данных TTL. Данные выводы подключены к соответствующим выводам микросхемы последовательной шины ATmega8U2 USB-to-TTL.

Внешнее прерывание: 2 и 3. Данные выводы могут быть сконфигурированы на вызов прерывания либо на младшем значении, либо на переднем или заднем фронте, или при изменении значения. Подробная информация находится в описании функции `attachInterrupt()`

ШИМ: 3, 5, 6, 9, 10, и 11. Любой из выводов обеспечивает ШИМ с разрешением 8 бит при помощи функции `analogWrite()`.

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Посредством данных выводов осуществляется связь SPI, для чего используется библиотека SPI.

LED: 13. Встроенный светодиод, подключенный к цифровому выводу 13. Если значение на выводе имеет высокий потенциал, то светодиод горит.

На платформе RobotDyn Uno R3 установлены 6 аналоговых входов (обозначенных как A0..A5), каждый разрешением 10 бит (т.е. может принимать 1024 различных значения). Стандартно выводы имеют диапазон измерения до 5 В относительно земли, тем не менее имеется возможность изменить верхний предел посредством вывода AREF и функции `analogReference()`.

I2C: 4 (SDA) и 5 (SCL). Посредством выводов осуществляется связь I2C (TWI), для создания которой используется библиотека Wire.

Дополнительная пара выводов платформы AREF. Опорное напряжение для аналоговых входов. Используется с функцией `analogReference().Reset`. Низкий уровень сигнала на выводе перезагружает микроконтроллер. Обычно

применяется для подключения кнопки перезагрузки на плате расширения, закрывающей доступ к кнопке на самой плате Arduino.

На платформе RobotDyn Uno R3 установлено несколько устройств для осуществления связи с компьютером, другими устройствами Arduino или микроконтроллерами. ATmega328 поддерживают последовательный интерфейс UART TTL (5 В), осуществляемый выводами 0 (RX) и 1 (TX).

Мониторинг последовательной шины (Serial Monitor) программы Arduino позволяет посылать и получать текстовые данные при подключении к платформе. Светодиоды RX и TX на платформе будут мигать при передаче данных через микросхему FTDI или USB подключение (но не при использовании последовательной передачи через выводы 0 и 1). Библиотекой SoftwareSerial возможно создать последовательную передачу данных через любой из цифровых выводов RobotDyn Uno R3.

ATmega328 поддерживает интерфейсы I2C (TWI) и SPI. В Arduino включена библиотека Wire для удобства использования шины I2C.

Детали работы компьютера с аппаратной платформой. Платформа программируется посредством ПО Arduino. Из меню Tools ->Board выбирается «Arduino Uno» (согласно установленному микроконтроллеру).

Микроконтроллер ATmega328 поставляется с записанным загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. Связь осуществляется оригинальным протоколом STK500.

Имеется возможность не использовать загрузчик и запрограммировать микроконтроллер через выводы ICSP (внутрисхемное программирование).

RobotDyn Uno R3 разработана таким образом, чтобы перед записью нового кода перезагрузка осуществлялась самой программой Arduino на компьютере, а не нажатием кнопки на платформе. Одна из линий DTR микросхемы ATmega8U2, управляющих потоком данных (DTR), подключена к выводу перезагрузки микроконтроллеру ATmega328 через 100 нФ конденсатор. Активация данной линии, т.е. подача сигнала низкого уровня, перезагружает микроконтроллер. Программа Arduino, используя данную функцию, загружает

код одним нажатием кнопки Upload в самой среде программирования. Подача сигнала низкого уровня по линии DTR скоординирована с началом записи кода, что сокращает таймаут загрузчика.

Функция имеет еще одно применение. Перезагрузка RobotDyn Uno R3 происходит каждый раз при подключении к программе Arduino на компьютере с ОС Mac X или Linux (через USB). Следующие полсекунды после перезагрузки работает загрузчик. Во время программирования происходит задержка нескольких первых байтов кода во избежание получения платформой некорректных данных (всех, кроме кода новой программы). Если производится разовая отладка скетча, записанного в платформу, или ввод каких-либо других данных при первом запуске, необходимо убедиться, что программа на компьютере ожидает в течение секунды перед передачей данных.

На RobotDyn Uno R3 имеется возможность отключить линию автоматической перезагрузки разрывом соответствующей линии. Контакты микросхем с обоих концов линии могут быть соединены с целью восстановления. Линия маркирована «RESET-EN». Отключить автоматическую перезагрузку также возможно подключив резистор 110 Ом между источником 5 В и данной линией.

В Arduino Uno встроен самовосстанавливающийся предохранитель (автомат), защищающий порт USB компьютера от токов короткого замыкания и сверхтоков. Хотя практически все компьютеры имеют подобную защиту, тем не менее, данный предохранитель обеспечивает дополнительный барьер.

Предохранитель срабатывает при прохождении тока более 500 мА через USB порт и размыкает цепь до тех пока нормальные значения токов не будут восстановлены.

Длина и ширина печатной платы RobotDyn Uno R3 составляют 6.9 и 5.3 см соответственно. Разъем USB и силовой разъем выходят за границы данных размеров. Четыре отверстия в плате позволяют закрепить ее на поверхности. Расстояние между цифровыми выводами 7 и 8 равняется 0,4 см, хотя между другими выводами оно составляет 0,25 см.

2.2 Схема для управления скоростью вращения

вентиляторов с помощью ШИМ

В лабораторном стенде необходимо обеспечить управление индуктивной нагрузкой (двигатель вентилятора), для работы которой необходимо питание 12 В. Выходы RobotDyn Uno R3 не могут обеспечить питание столь мощной нагрузки и большого напряжения т.к. выходной ток и напряжение на выходах RobotDyn Uno R3 слишком малы. Для поставленной задачи необходимо собрать схему представленную на рисунке 4.

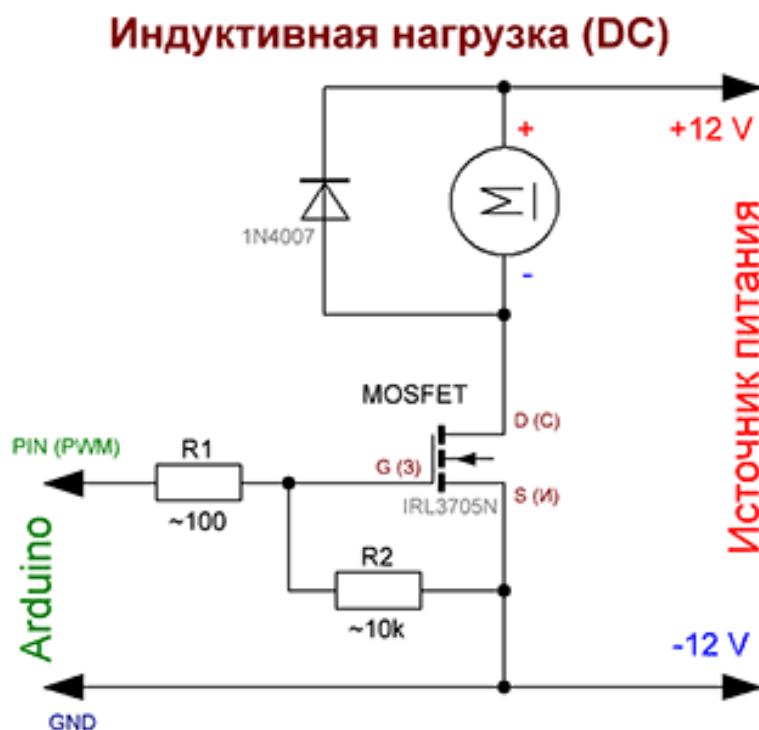


Рис. 4 – Схема подключения индуктивной нагрузки

Так как нагрузка индуктивная, рекомендуется ставить защитный диод, который защитит транзистор MOSFET от напряжения самоиндукции. Если управлять электродвигателем при помощи ШИМ (PWM) без защитного диода, то могут возникнуть такие проблемы, как нагрев MOSFET транзистора или его вылет, медленно будет крутиться ваш двигатель, возникнут потери мощности и т.д. Встроенный защитный диод в большинстве случаев не спасает от индуктивных выбросов.

Если нагрузка у вас активная – светодиод, галогенная лампа, нагревательный элемент и т.д., то в этом случае диод не нужен.

В цепь затвора желательно поставить Pull-Down резистор (стягивающий резистор между затвором и истоком). Он необходим, чтобы гарантированно удерживать низкий уровень на затворе транзистора при отсутствии сигнала высокого уровня от RobotDyn Uno R3. Это исключает самопроизвольное включение транзистора.

В разрыв цепи затвора также рекомендуется ставить резистор номиналом 50-150 Ом, для предотвращения кратковременных выбросов тока и защиты вывода микроконтроллера.

При подборе MOSFET транзистора, для того, чтобы он напрямую открывался от микроконтроллера и не нужно было ставить перед ним биполярных транзисторов и драйверов нужно обратить внимание на параметр Gate Threshold, который должен быть равен от 1 В до 4 В. Часто такие транзисторы помечаются как Logic Level.

В схеме используется MOSFET транзистор IRL3705N N-Channel Hexfet Power MOSFET. Данный транзистор способен выдерживать продолжительный ток до 89 А (с теплоотводом) и открывается при напряжении затвора 1 В (параметр $V_{GS(th)}$). Поэтому, можно напрямую подсоединить данный транзистор к ногам RobotDyn Uno R3. Когда транзистор полностью открыт, сопротивление Исток-Сток всего 0.01 Ом (параметр $R_{DS(on)}$). Поэтому, если к нему подключить электрический мотор 12 В, 10 А на транзисторе падение напряжения будет всего лишь 0.1 В, а рассеиваемая мощность 1 Вт.

2.3 Термопара

Принцип действия термопары основан на термоэлектрическом эффекте (эффекте Зеебека). Поэтому другое название термопары – термоэлектрический преобразователь.

В цепи между соединенными разнородными металлами образовывается разность потенциалов. Ее величина зависит от температуры. Поэтому она называется термо-ЭДС. У разных материалов величина термо-ЭДС разная.

Если в цепи стыки (спаи) разнородных проводников связаны в кольцо и имеют одинаковую температуру, то сумма термо-ЭДС равна нулю. Если же спаи проводов находятся при разных температурах, то общая разность потенциалов между ними зависит от разности температур. В результате мы приходим к конструкции термопары (рис. 5)

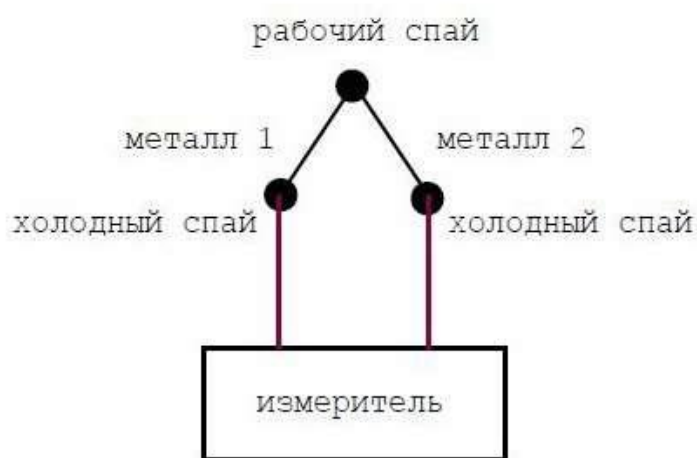


Рис. 5 – Устройство термопары

Два разнородных металла 1 и 2 в одной точке образуют рабочий спай. Рабочий спай помещают в точку, температуру которой необходимо измерить. Холодные спаи — это точки подключения металлов термопары к другому металлу, как правило, к меди. Это могут быть клеммные колодки измерительного прибора или медные провода связи с термопарой. В любом случае необходимо измерять температуру холодного спая и учитывать ее в вычислениях измеренной температуры.

Наиболее широкое распространение получили термопары ХК (хромель – копель) и ХА (хромель – алюмель). Сравнительные характеристики типовых термопар приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные типы термопар

Название	Обозначение НСХ	Материалы	Диапазон измерения, °C	Чувствительность, мкВ/°C, (при температуре, °C)	Термо- ЭДС, мВ, при 100 °C
ТХК (хромель- копелевые)	L	Хромель, копель	- 200 ... + 800	64 (0) 88 (600)	6,86
ТХА (хромель- алюмель)	K	Хромель, алюмель	- 270 ... +1372	35 (0) 42 (1300)	4,10
ТПР (платино- родиевые)	B	Платинородий, платина	100 ... 1820	8 (1000) 12 (1800)	0,03
ТВР (вольфрам- рениевые)	A	Вольфрам- рений, вольфрам- рений	0 ... 2500	14 (1300) 7 (2500)	1,34

В нашем случае используется термопара ТХА (хромель-алюмель) (рис.

6). Преимущества использования термопар:

- имеют крайне широкий диапазон измерения температуры -250 ... +2500 °C;
- могут быть откалиброваны на высокую точность измерения, до погрешности не более 0,01 °C;
- как правило, имеют низкую цену;
- считаются надежными датчиками температуры.

Главный недостаток термопар – это необходимость в достаточно сложном прецизионном измерителе, который должен обеспечивать:

- измерение низких значений термо-ЭДС с верхним значением диапазона десятки, а иногда и единицы мВ;
- компенсацию термо-ЭДС холодного спая;
- линеаризацию характеристики термопары.



Рис. 6 – Термопара

Методика измерения основана на номинальной статической характеристике (НСХ) термопары, которая задана в виде таблицы со значениями температуры в одном столбце и соответствующими значениями ЭДС в другом. НСХ различных термопар утверждены ГОСТ Р 8.585-2001.

В типичном случае для измерения температуры нужно сделать следующее:

- измерить термо-ЭДС термопары ($E_{\text{общ.}}$);
- измерить температуру холодного спая ($T_{\text{хол. спая}}$);
- по таблице НСХ термопары определить термо-ЭДС холодного спая, используя температуру холодного спая ($E_{\text{хол. спая}}$);
- определить термо-ЭДС рабочего спая, т.е. прибавить ЭДС холодного спая к общей термо-ЭДС ($E_{\text{раб. спая}} = E_{\text{общ.}} + E_{\text{хол. спая}}$);
- по таблице НСХ определить температуру рабочего спая, используя термо-ЭДС рабочего спая.

Пример измерения с помощью термопары типа ТХА температуру жала паяльника:

- Прикоснуться рабочим спаем к жалу паяльника и замерить напряжение на выводах термопары. $U=10,6$ мВ.
- Температура окружающей среды, т.е. температура холодного спая – примерно 25°C . ЭДС холодного спая из таблицы ГОСТ Р 8.585-2001 для термопары типа К при 25°C равна 1 мВ.
- Термо-ЭДС рабочего спая равна $10,6 + 1 = 11,6$ мВ.
- Температура из той же таблицы для 11,6 мВ равна 285°C . Это и есть измеренное значение.

Эту последовательность действий, с преобразованием температуры в понятный для RobotDyn Uno R3 цифровой сигнал, в нашем проекте выполняет преобразователь для термопары MAX6675.

2.4 Преобразователь для термопары MAX6675

Для упрощения работы с термопарой и для подключения ее к RobotDyn Uno R3 была использована преобразователь для термопары MAX6675 (рис. 7).

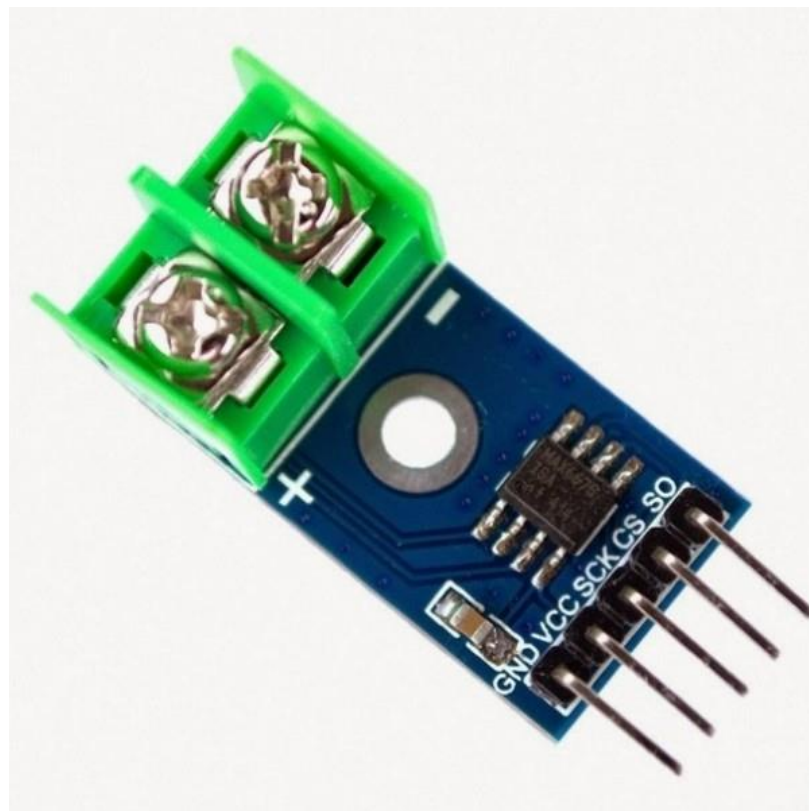


Рис. 7 – Преобразователь для термопары MAX6675

Характеристики MAX6675:

- Рабочее напряжение: 3.0 В ~ 5.5 В;
- Встроенная компенсация холодного спая, короткого замыкания;
- С простой последовательный интерфейс;
- Сигнал температуры могут быть преобразованы в 12-битный цифровой;
- Разрешение температуры: 0.25 °C;
- Компенсация холодного спая диапазон: -20 °C ~ +80 °C;
- Обнаружение отсоединения термопары;
- Подключение: SPI 3х проводной;
- К-Тип датчик температуры;
- Тип К Температурный диапазон 0-800 °C.

MAX6675 применения в различных областях, таких как:

- Промышленные применения
- Электро- и радиоаппаратура
- Средства управления нагреванием, вентиляцией и кондиционированием воздуха - HVAC
- Автомобилестроение

MAX6675

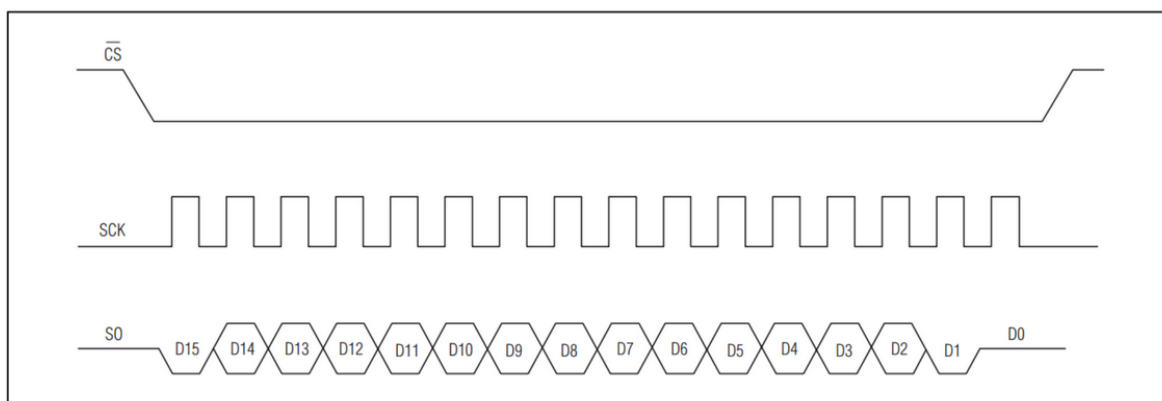


Рис. 8 – Сигналы на выходах MAX 6675

На выходе сигнал 12 бит (рис. 8) с разрешением 0.25 °C, то есть существует возможность измерять температуру от 0°C до 1024°C градуса.

Процедура считывания очень проста, после того как ножка CS прижата к земле можно подавать тактовый сигнал и по спадающему фронту считывать температуру, проще некуда.

2.5 Вспомогательные элементы проекта

2.5.1 Элементы охлаждения

В мире существует огромное количество разнообразных типов и видов элементов охлаждения. Они различаются по конструкции или устройству, условиям работы или способу применения, а также техническими параметрами и характеристиками.

Виды конструкций вентиляторов:

- осевые (аксиальные);
- центробежные (радиальные);
- диагональные;
- тангенциальные.

Осевой (аксиальный) вентилятор (рис. 9) - это классический вид вентилятора, знакомый нам по простым бытовым вентиляторам с пропеллером.

Крыльчатка с лопастями (пропеллер) перемещает воздух вдоль своей оси, благодаря наклону лопастей относительно плоскости всего колеса крыльчатки. При этом в радиальном направлении перемещение воздуха почти не происходит. Из преимуществ данного типа вентиляторов следует отметить высокий КПД, небольшие габаритные размеры, легкость регулировки параметра расхода воздуха.

Применяется данный вид вентиляторов в бытовых настольных и напольных вентиляторах, в бытовых вытяжках для ванных комнат и туалетов, в разнообразных вытяжных системах, в системах охлаждения электроники и различной техники, в турбовентиляторных авиационных двигателях, а также в аэродинамических трубах.

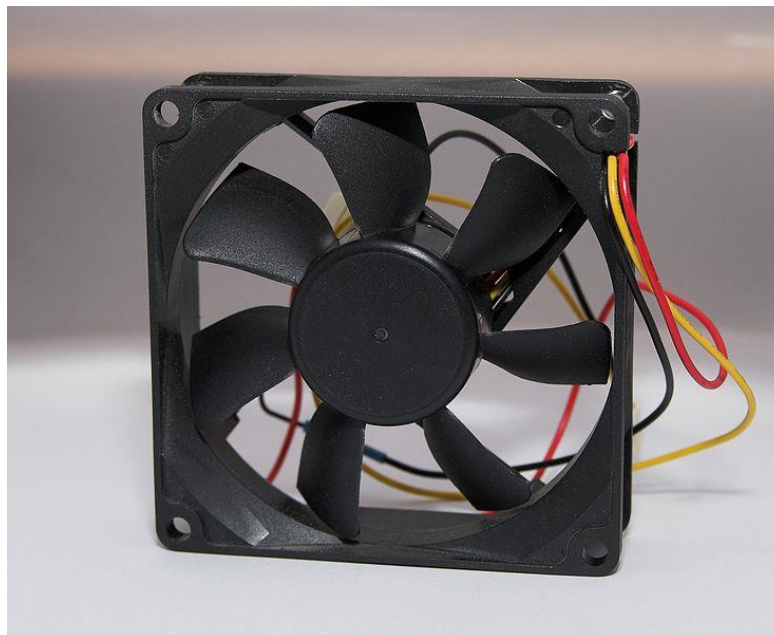


Рис. 9 – Осевой (аксиальный) вентилятор

Центробежный (радиальный) вентилятор (рис. 10) в своей конструкции имеет вращающийся барабан, состоящий из лопаток изогнутой формы. Лопатки могут иметь загиб вперед или назад, это влияет на некоторые свойства вентилятора, а также на параметры и устройство некоторых деталей вентилятора (экономичность, оптимальный диаметр рабочего колеса, частота вращения, издаваемый шум).

В зависимости от предназначения центробежного вентилятора, может изменяться количество лопаток в его конструкции. Так же, центробежные вентиляторы различаются по направлению вращения рабочего колеса (вправо или влево).

Принцип работы центробежного вентилятора заключается в следующем. Через воздуховод воздух засасывается внутрь ротора, там он раскручивается под действием центробежной силы и за счет формы лопаток, и центробежный вентилятор направляется в выходное отверстие. Выходящий поток воздуха находится под прямым углом к входящему.

Центробежные вентиляторы предназначены в основном для промышленных приточно-вытяжных систем, хотя так же применяются и в бытовых системах вентиляции воздуха.



Рис. 10 – Центробежный (радиальный) вентилятор

Диагональные вентиляторы (рис. 11) – это как бы смешанный тип вентилятора, представляет собой смесь осевого и радиального вентиляторов.

На входе вентилятора воздух движется, как и у осевых вентиляторов - в осевом направлении, но потом при помощи крыльчатки отклоняется на 45° , и поток воздуха дополнительно усиливается возникающей при этом центробежной силой, как и у радиальных вентиляторов.

Благодаря совмещению свойств осевых и радиальных вентиляторов, диагональные вентиляторы имеют очень высокий диагональный вентилятор КПД, до 80%. При этом они достаточно малошумящие и компактные.

Диагональные вентиляторы широко применяются в качестве промышленных вентиляторов в различных промышленных вентиляционных системах, в качестве канальных и крышных вентиляторов.



Рис. 11 – Диагональный вентилятор

Рабочее колесо тангенциального вентилятора (рис. 12) выглядит как цилиндр из лопастей, загнутых вперёд.

Лопасты перемещают воздушный поток в плоскости перпендикулярной оси вращения цилиндра. Корпус тангенциального вентилятора схож с корпусом центробежного. Различие в том, что воздуховод расположен не в торце корпуса, а по всей длине боковой стороны. На выходе корпус имеет форму диффузора, благодаря чему воздух приобретает ускорение в нужном направлении.

Из преимуществ данного типа вентиляторов следует отметить равномерность создаваемого воздушного потока, легкость изменения направления потока воздуха, бесшумность работы, а также, достаточно высокий КПД (до 0.7).

Особенности данных вентиляторов - большой расход воздуха, низкий уровень шума и низкое создаваемое давление.

С учетом особенностей данного типа вентиляторов, они нашли широкое применение в системах кондиционирования (внутренние блоки кондиционеров, бытовые вентиляторы башенного типа) и в других различных вентиляционных системах (фанкойлы, воздушные завесы).



Рис. 12 – Тангенциальный вентилятор

В системе используются обычные двухпроводные осевые (аксиальные) вентиляторы низкого давления размером 80мм и 120мм. В данной разновидности вентиляторов лопасти (лопатки), гонят воздух по оси, вокруг которой они вращаются, что и необходимо в лабораторном стенде, где они выполняют роль «продувки» радиаторов. Эти вентиляторы отличаются практичностью и простотой изготовления, поэтому они дешевле и наиболее распространены среди других.

2.5.2 Радиатор

Радиатор от новолатинского *radiātor* — «излучатель» – устройство для излучения тепла в воздухе. Его работа основана на принципах излучения и конвекции.

Существуют следующие виды радиаторов:

- радиатор отопительный;
- радиатор системы охлаждения или кондиционирования.

Радиаторы системы охлаждения также делятся на два типа:

- пассивный, в виде массивной металлической в основном алюминиевой или медной пластины с рёбрами или выступами, для увеличения площади поверхности, отдающей тепло;
- активный, трубчато-пластинчатого или трубчато-ленточного с постоянно циркулирующей, отводящей от источника тепло, жидкостью внутри.

В лабораторной установке применяется система из двух трубчато-пластинчатых радиаторов (рис. 13) с принудительной конвекцией. Выполнена система охлаждения по аналогии с системой охлаждения двигателем внутреннего сгорания, где радиатор является теплообменником, с постоянно циркулирующей жидкостью от источника тепла к радиатору.



Рис.13 – Радиатор

2.5.3 Нагревательный элемент

Нагреватель — это устройство для нагревания (обогрева) чего-либо. Существуют несколько видов нагреватель:

- канальный нагреватель;
- циркуляционный нагреватель;
- трубчатый электронагреватель (ТЭН);
- высокоомная спираль из термостойкого металла в электронагревателях;

- нагревательный кабель;
- нагреватель на элементе Пельтье.

В лабораторном стенде применяется трубчатый электронагреватель (ТЭН) (рис. 14). ТЭН – это устройство, состоящее из металлической трубки, заполненной электрическим изолятором, проводящим тепло, в центре которого проходит термостойкий проводник из нихрома или фехрома для передачи мощности среде.

Характеристики нагревателя:

- Мощность – 350 Вт;
- Питание от сети ~220 В.



Рис. 14 – Трубчатый электронагреватель

2.5.4 Принудительная циркуляция

Центробежный насос (рис. 15) - насос, в котором движение жидкости и необходимый напор создаются за счёт центробежной силы, возникающей при воздействии лопастей рабочего колеса на жидкость. Внутри корпуса насоса, который имеет, как правило, спиральную форму, на валу жестко закреплено рабочее колесо. Оно может быть открытого типа (диск на котором установлены лопасти) и закрытого типа - лопасти размещены между передним и задним дисками. Лопасти отогнуты от радиального направления в сторону,

противоположную направлению вращения рабочего колеса. С помощью патрубков корпус насоса соединяется с всасывающим и напорным трубопроводами.

Если корпус насоса полностью наполнен жидкостью из всасывающего трубопровода, то при придании вращения рабочему колесу (например, при помощи электродвигателя) жидкость, которая находится в каналах рабочего колеса (между его лопастями), под действием центробежной силы будет отбрасываться от центра колеса к периферии. Это приведёт к тому, что в центральной части колеса создастся разрежение, а на периферии повысится давление. А если повышается давление, то жидкость из насоса начнёт поступать в напорный трубопровод. Вследствие этого внутри корпуса насоса образуется разрежение, под действием которого жидкость одновременно начнёт поступать в насос из всасывающего трубопровода. Таким образом, происходит непрерывная подача жидкости центробежным насосом из всасывающего в напорный трубопровод.

Для непрерывной циркуляции жидкости в системе используется циркуляционный центробежный насос с сухим ротором.

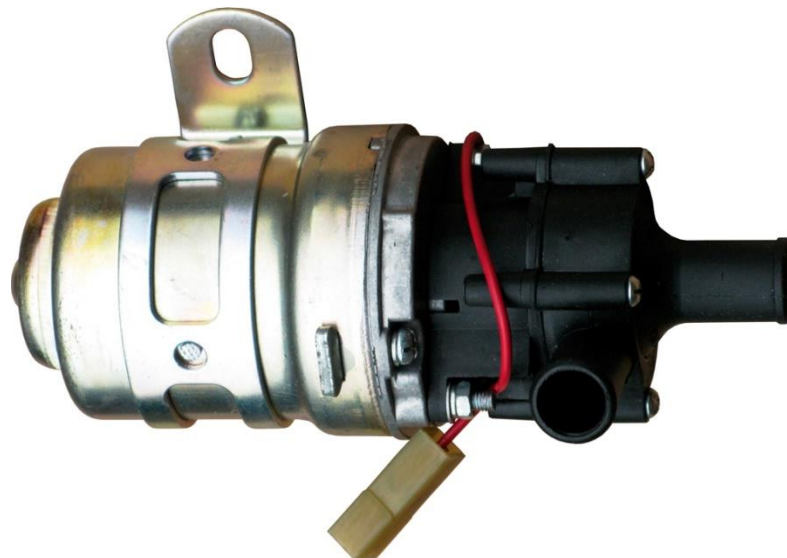


Рис. 15 – Центробежный насос

3 Реализация проекта

В этой части работы описана непосредственно реализация проекта. Способы соединения объектов реализации и настройка рабочих параметров.

3.1 Подключение термопары к RobotDyn UNO R3 с помощью преобразователя температуры MAX6675.

Для измерения температуры в лабораторном стенде используется термопара, чтобы RobotDyn UNO R3 «понимал» приходящий сигнал с термопары используется преобразователь температуры max6675, который имеет 5 выводов, обратим внимание на его распиновку.

Выводы MAX6675:

- VCC – питание +5 В;
- SO – информационный выход;
- CS – проверка наличия термопары;
- SCK – таймер считывания данных;
- GND – земля.

Таблица 4 – Подключение MAX 6675 к RobotDyn UNO R3

RobotDyn UNO R3	VCC	SO	SCK	CS	GND
MAX 6675	8	9	10	11	12

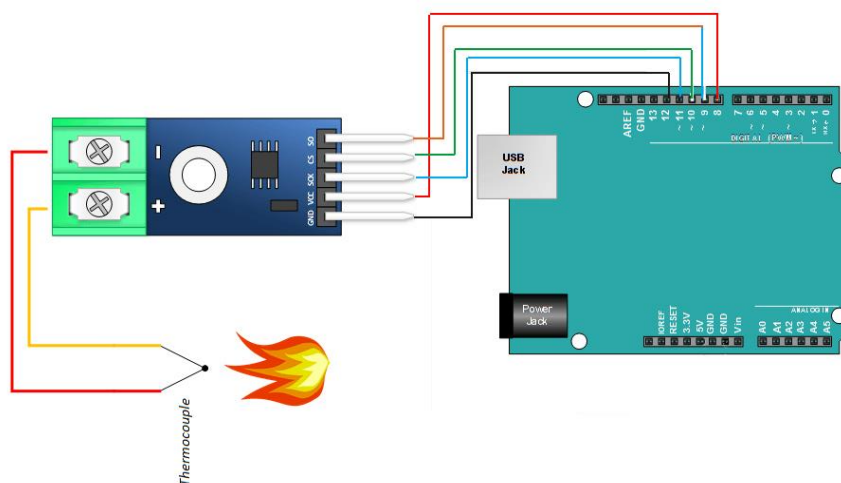


Рис. 16 – Схема подключения термопары к RobotDyn UNO R3

В среде для программирования Arduino был создан скетч с использованием специальной библиотеки `max6675.h`, в которой есть функция `ts.readCelcius()`, возвращающая уже готовое значение температуры типа `real`. В соответствии с названием каждого пина преобразователя в скетче были определены выходы на аппаратной платформе, а также им были присвоены цифровые значения типа `int`, соответствующие входам RobotDyn UNO R3 (таб. 4, рис 16)). Исходя из этого в коде выходы 9, 10 и 11 используются при инициализации преобразователя командой `MAX6675 ts(csk, cs, so)`, где названия выходов соответствуют именам переменных и номерам пинов, к которым подключен преобразователь. А для выходов 8 и 12, которым соответствуют питание 5 В и земля, в аппаратной платформе RobotDyn UNO R3 были переопределены их значения командами `pinMode(vcc, OUTPUT)`, `digitalWrite(vcc, HIGH)` и `pinMode(gnd, OUTPUT)`; `digitalWrite(gnd, LOW)`. С помощью этих команд задается земля и высокий уровень сигнала 5 В нужным выходам. Также при выполнении программы необходимо поставить задержки `delay()`, для корректного получения данных, иначе данные не будут успевать считываться. Для вывода в монитор порта считываемой с термопары температуры используется команда `Serial.println(ts.readCelsius())` (рис. 17).

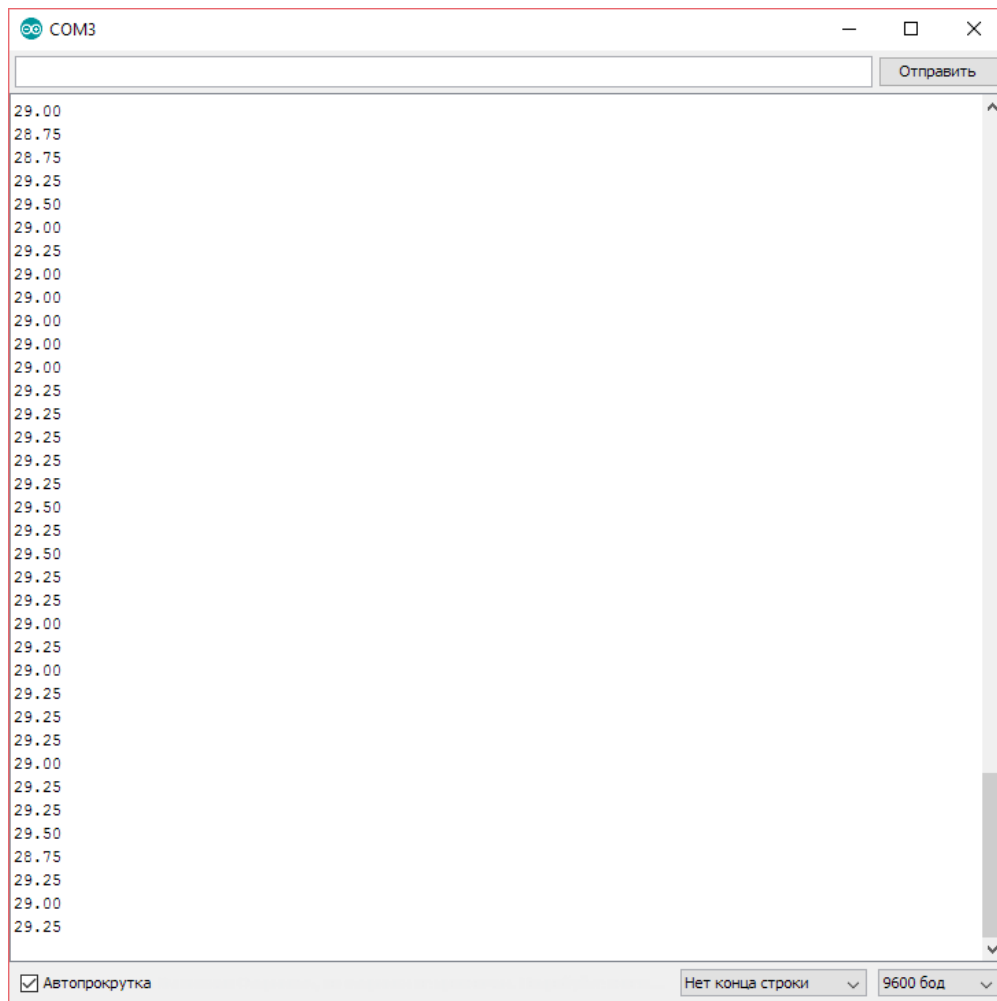


Рис. 17 – Вывод температуры на экран монитора

Чтобы лучше видеть результат измерения можно улучшить код добавив следующую строку `Serial.print("temperature is "); Serial.println(ts.readCelsius())` (рис. 18). Таким образом будет понятно, что конкретно за цифры мы видим в окне монитора порта.

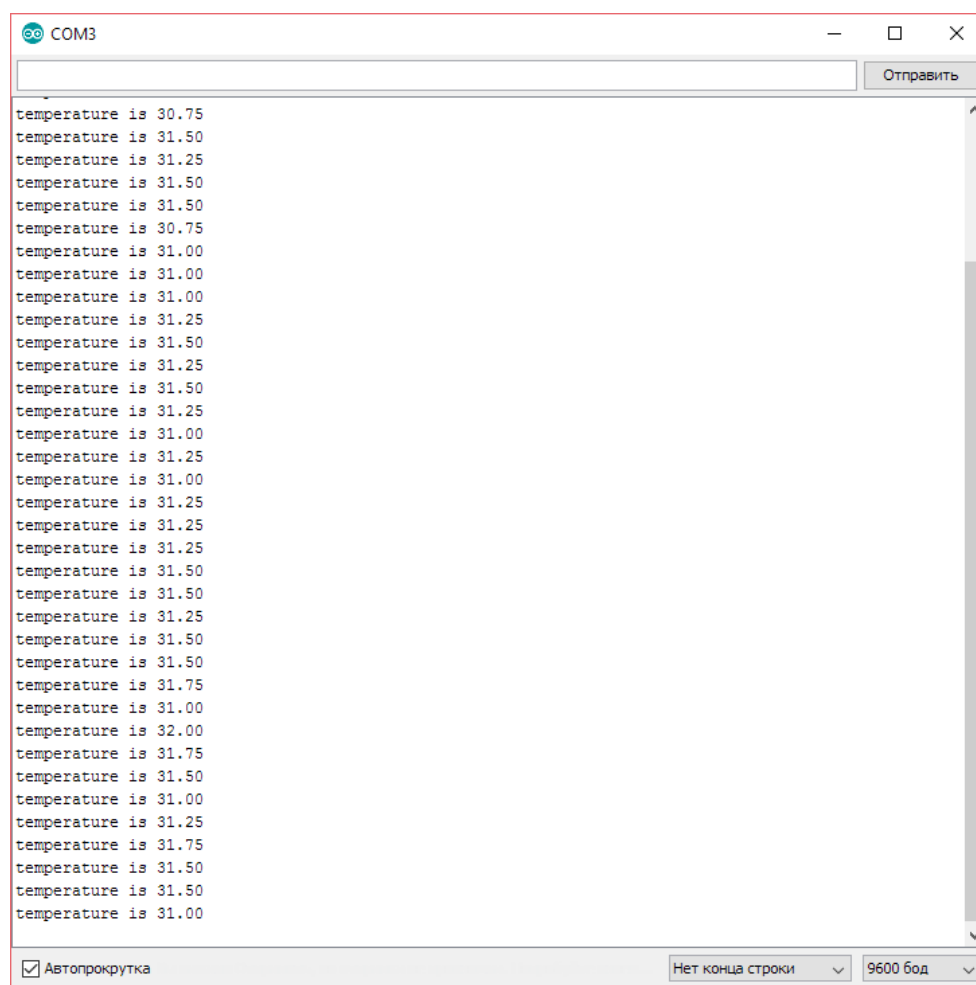


Рис. 18 – Вывод температуры на экран монитора

3.2 Подключение вентиляторов к RobotDyn UNO R3 с

помощью дополнительной схемы

Чтобы управлять мощностью вентиляторов с помощью ШИМ от RobotDyn UNO R3, собрана схема на транзисторе MOSFET. К ней приходит питание 12 В, управляющий сигнал ШИМ от контроллера, а также к ней подключены двухпроводные вентиляторы. Эта схема пропускает 12 В от блока питания, когда на нее приходит импульс по «проводу ШИМ» от контроллера. Плавность управления частотой вращения вентиляторов происходит за счет различной длины импульсов, приходящих от аппаратной платформы в виде сигнала ШИМ. Транзистор, обладая эффектом конденсатора, начинает пропускать через себя напряжение, плавно его увеличивая ровно до того

момента пока длится импульс, как только он прекращается напряжение падает и транзистор снова начинает заряжаться. Таким образом устанавливая соответствующие значения сигнала ШИМ будет получено нужно напряжение на выходе дополнительной схемы.

В программной среде Arduino с помощью команды `analogWrite(5, FAN_pwm)`; задается 5 пин, по которому будет поступать сигнал ШИМ на соответствующий вывод дополнительной схемы. Длительность этого импульса и есть управляемая величина, которая регулируется с помощью ПИД-регулятора в зависимости от значения температуры, с целью стабилизировать температуру и скорость вращения вентиляторов. Расчетное значение ПИД регулятора записывается в переменную `FAN_pwm`. Значения переменной `pwm` могут принимать значения от 0 до 255, где 0 это отсутствие напряжения и минимальная частота оборотов вентиляторов, а 255 это максимальное напряжение и соответственно максимальная скорость вращения. Также выводы дополнительной схемы соединены с землей блока питания и с землей аппаратной платформы, это необходимо для корректной работы схемы.

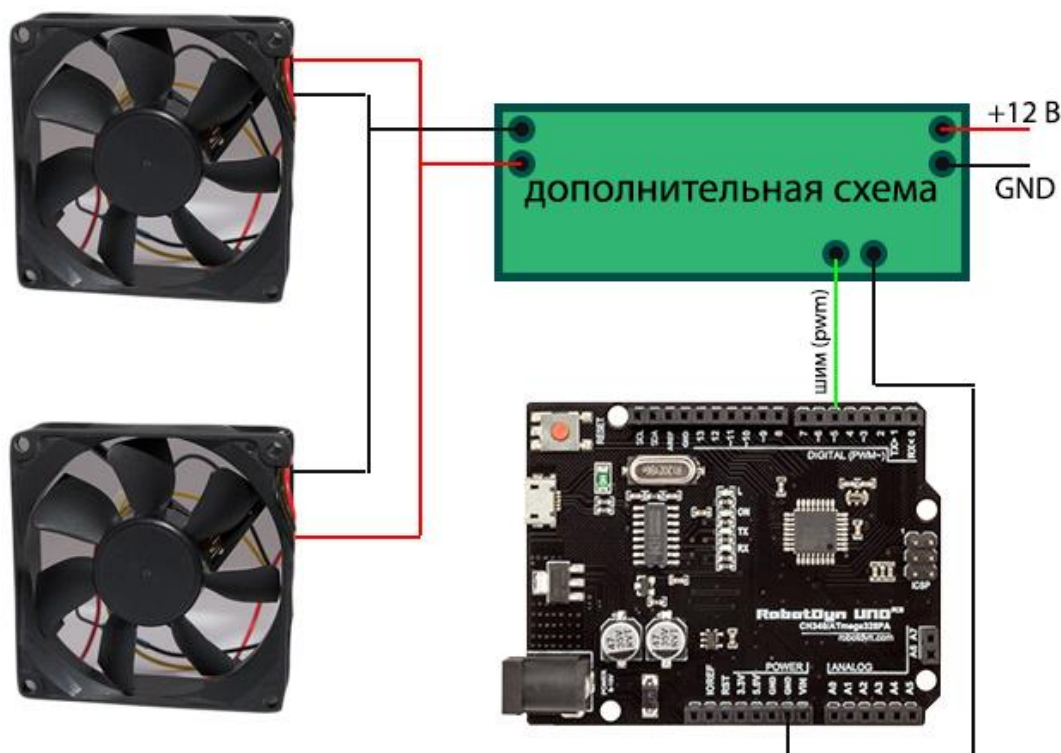


Рис. 19 – Схема подключения вентиляторов

Как видно из рисунка 19 вентиляторы управляются по общему проводу и воспринимаются системой как один вентилятор. С помощью сигнала ШИМ регулируется величина напряжения, а сила тока необходимая потребителям обеспечивается блоком питания нужной мощности. Чтобы знать и оперативно отслеживать величину сигнала ШИМ через монитор порта можно использовать команду `Serial.println(FAN_pwm)`, в данном случае эта переменная будет равна расчётному значению ПИД регулятора, что создает дополнительное удобство отслеживания информации в ходе лабораторных испытаний.

3.3 Сборка Лабораторного стенда

Перед началом работы все детали проекта нужно собрать непосредственно в лабораторный стенд. Для емкости с водой объемом 2 литра, выбрана верхняя точка стенда, так как необходима постоянная подача на вход насоса жидкости. В емкости расположены нагреватель и термopapa в защитном кожухе. Нагреватель включается в сеть 220 В, а термopapa через преобразователь температуры подключается к RobotDyn UNO R3. Нагретая жидкость из емкости поступает в насос, питание насоса осуществляется блоком питания на 12 В. Далее насос перекачивает нагретую жидкость в радиаторы, где она охлаждается благодаря теплоотдачи радиаторов и закрепленным на них вентиляторам. Питание вентиляторов происходит через дополнительную схему в зависимости от сигнала ШИМ, который приходит от RobotDyn UNO R3. К дополнительной схеме подведено напряжение 12 В, которое как раз и распределяется на потребителей в виде насоса, куда напряжения приходит напрямую, и вентиляторов, куда напряжения приходит в зависимости от сигнала ШИМ через управляющий MOSFET транзистор. После радиаторов жидкость снова поступает в емкость замыкая тепловой контур.

Реализация проекта осуществляется средствами программной среды Arduino. Работа в программной среде представляет собой написание кода в текстовом редакторе. Также для работы лабораторного стенда понадобится

библиотека МАХ6675, необходимая для работы преобразователя температуры. Загрузка кода производится через кабель microUSB. Далее после настройка ПИД регулятора и загрузки кода для работы стенда подключение компьютера не обязательно. Главное обеспечить питанием все необходимые элементы лабораторного стенда.

3.4 Настройка ПИД Регулятора

Настройка ПИД регулятора важная часть проекта. Существует и используется множество способов для настройки ПИД регулятора. В данном случае в основном будет использован практический подход, чтобы гарантировать его правильную работу именно в этой системе.

3.4.1 Назначение ПИД регулятора в системе охлаждения

В лабораторном стенде автоматического регулирования температуры жидкости из названия становится ясно, что величина, которую можно регулировать – это температура. Смоделированная система аналогична той, что используется в автомобиле или в системе водяного охлаждения компьютера где для охлаждения рабочего тела используются охлаждающие элементы и циркулирующая жидкость, которая является телом теплопереноса. Следовательно, нагреватель будет постоянно греть нашу систему, аналогично работающему двигателю, а регулирование температуры будет осуществляется с помощью контроля частоты оборотов вентилятора на радиаторе. Таким образом температура – это регулируемая, в виде уставки, и измеряемая, в виде фактической температуры, величина, на основе которой будет производится расчет величины ШИМ для контроля частоты вращения вентиляторов. В таких системах для расчета величины воздействия используется ПИД регулятор.

Для удобства представления информационных процессов, происходящих в системе автоматического регулирования, применяют структурные схемы.

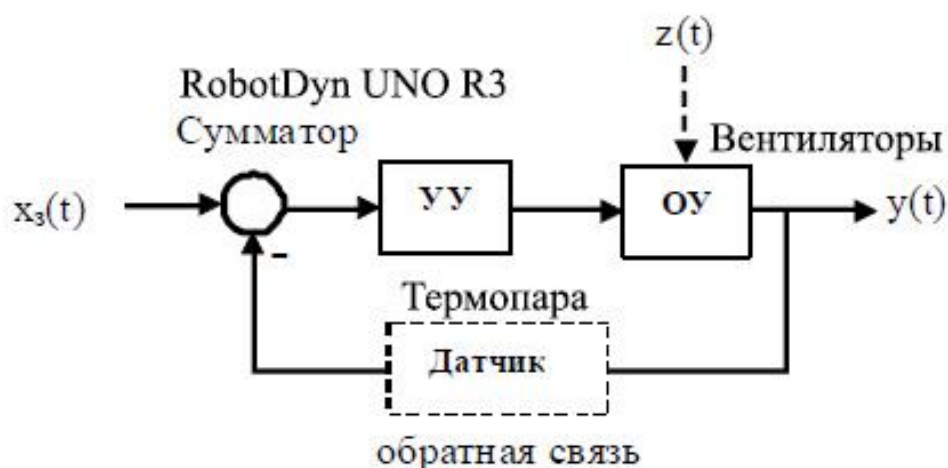


Рис. 20 – Структурная схема лабораторного стенда

Из структурной схемы на рис. 20 изображен принцип работы всей системы автоматического регулирования температуры жидкости. Объектом управления (ОУ) в данном случае выбраны вентиляторы, так как мы будем управлять частотой их вращения. На вход вентиляторов подается напряжение, которое зависит от так называемого задающего воздействия $x_3(t)$. Задающее воздействие – это некоторый сигнал, который определяет, каким должен быть выходной сигнал $y(t)$. В нашем случае необходимо будет задать постоянную температуру, которой необходимо придерживаться и в идеале выходной сигнал должен соответствовать задающему воздействию (рис. 21). Задающее воздействие не всегда является константой, а может быть представлена как любая функция, зависящая от времени.

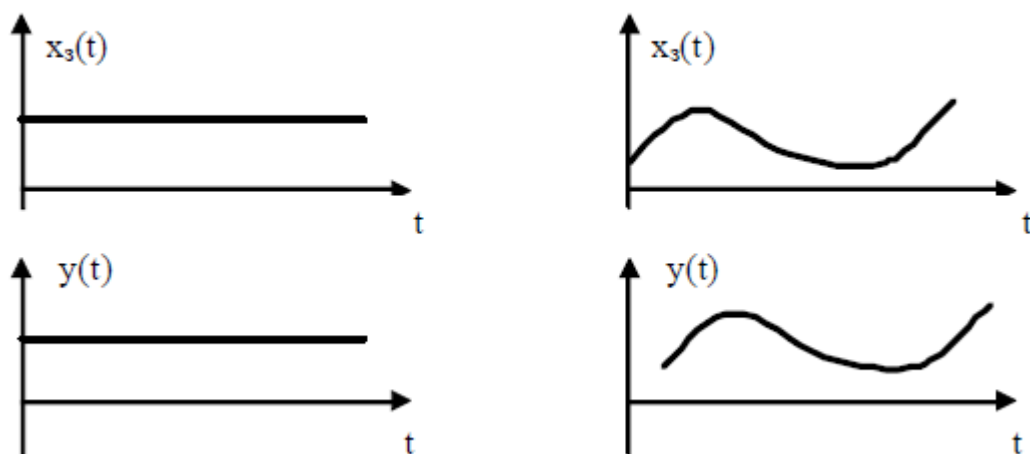


Рис. 21 – Зависимость выходного сигнала от задающего воздействия

Также в системе присутствуют различные помехи $z(t)$, в данном стенде это потери температур в системе, нелинейность нагрева, возможно перебои с электричеством или неравномерной работой насоса или же различные внешние воздействия. Важно вовремя отреагировать на эти помехи и отреагировать на них нужным образом и откорректировать значение выходного сигнала. А для этого необходимо учитывать сигнал ошибки, это то на сколько температура отклонилась от требуемой величины. Обозначается сигнал ошибки $e(t)$.

Итак, чтобы придерживаться необходимой температуры нужно уметь определять ошибку и учитывать помехи, а еще в системе водяного охлаждения имеет место инерционность, когда система не сразу реагирует на помехи или корректирующие воздействия. Для постоянного отслеживания ошибки в системе используется датчик температуры (термопару), который и будет измерять отклонение температуры от уставки. Сигналы от термопары будут поступать на устройство управления (УУ), которое, получая сигнал от датчиков определит отклонение от уставки и, в зависимости от величины этого отклонения, выдаст соответствующий выходной сигнал. В соответствии с этим сигналом частота вращения вентилятора будет меняться. После чего температура системы изменится, датчики снова определяют температуру (и новую ошибку) и все повторится сначала. Таким образом реализуется система с обратной связью.

Обратная связь одно из основополагающих понятий теории автоматического управления. Другими словами, это способ учета ошибок в управлении. Осуществления принципа обратной связи происходит с помощью датчиков. Сигнал с которых приходит в устройство перед УУ, которое называется сумматор. Он выполняет функцию сложения двух сигналов: $x_3(t)$ и выходной сигнал $y(t)$. Так как нам необходимо вычислить разность между этими сигналами, выходной сигнал с обратной связи приходит на сумматор со знаком минус. УУ в свою очередь должно реагировать именно на этот сигнал рассогласования выходного сигнала и задающего воздействия.

3.4.2 Выбор ПИД регулятора

Учитывая все вышесказанное необходимо выбрать закон управления, т.е. каким образом УУ будет воздействовать на ОУ в зависимости от характера сигнала ошибки $e(t)$.

Самый базовый закон управления это пропорциональный. Принцип пропорционального управления заключается в следующем. Датчик температуры в каждый момент времени фиксирует отклонение от задающего воздействия, затем вычисляется сигнал ошибки $e(t) = x_3(t) - y(t)$. Данный закон реализует самый простой и наиболее часто реализуемый вариант – чем больше ошибка, тем больше воздействие. В данном случае УУ или регулятор умножает сигнал ошибки на пропорциональный коэффициент K_p , который задается оператором (формула 1).

$$U_p(t) = K_p \times e(t) \quad (1)$$

Таким образом становится ясно, что вместо регулятора в данном законе можно использовать просто усилитель (рис. 22).

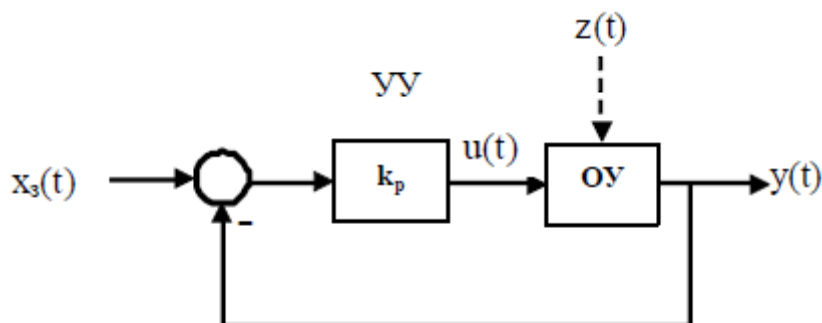


Рис. 22 – Система с пропорциональным управлением

Получается так называемый П-регулятор, который достаточно прост для программной реализации и его главное преимущество, что он сразу реагирует на ошибку, следовательно, он быстрый. Недостатком является неточность, особенно это выражается в системах с большой инерционностью и запаздыванием.

Говоря о недостатках пропорционального управления нужно понимать, что есть «хорошее» управление и что есть «плохое».

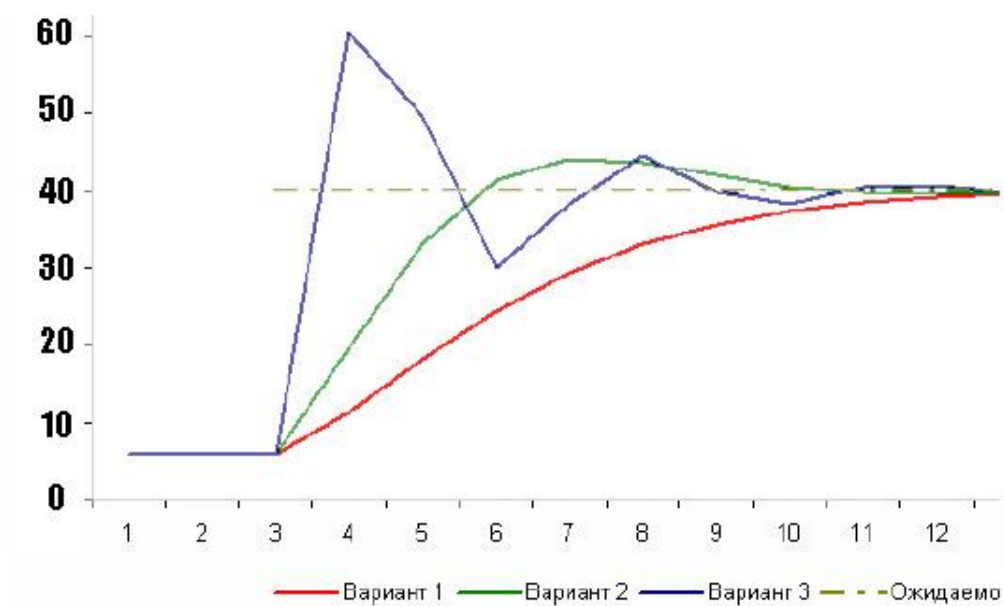


Рис. 23 – Варианты пропорционального управления

На рисунке 23 представлены различные варианты относительно уставки в зависимости от коэффициента пропорциональности K_p .

Вариант 1. Коэффициент слишком мал, следовательно, выход на уставку будет осуществляться медленно.

Вариант 2. Система ведет себя лучше, но есть перерегулирование и выход на уставку достаточно медленный.

Вариант 3. Большое перерегулирование из-за слишком большого коэффициента.

Из этого примера следует, что пропорциональное регулирование может допускать несколько вариантов некачественного регулирования, таких как: большое время переходного процесса, перерегулирование и колебательность.

Есть два базовых варианта функционирования системы управления – установившийся и переходный. Установившийся режим – это когда система пришла в стабильность, и температура достигла уставки. Переходный режим – это время до установившегося режима, либо, когда меняются условия уставки или условия системе. И самыми важными условиями управления системой становятся точность и скорость, следовательно, главная задача ПИД регулятора выполнить эти условия максимально эффективно.

Пропорционально-дифференциальное управление

Для повышения качества регулятора, и для увеличения быстродействия к пропорциональной составляющей необходимо добавить составляющую, которая бы реагировала не только на ошибку регулирования, но и на скорость ее изменения. Т.е. при изменении ошибки мы как бы узнаем следующее значение ошибки на основе сравнения с предыдущей и пытаемся воздействовать на нее заранее. С этой задачей справляется дифференциатор, главная задача которого умножить коэффициент дифференцирования на разность между настоящим значением выходного сигнала и в предыдущий момент времени (формула 2).

$$U_d(t) = K_d \times (y(t) - y(t - 1)), \text{ где} \quad (2)$$

$U_d(t)$ – управляющее воздействие;

K_d – постоянный коэффициент;

$y(t)$ – настоящее значение выходного сигнала;

$y(t - 1)$ – значение выходного сигнала в предыдущий момент времени.

Если $y(t - 1) = y(t)$, то управляющее воздействие будет равно нулю, при неравенстве этих значений будет вырабатываться соответствующая дифференциальная компонента. Главный недостаток этого регулирования в том, что при постоянной ошибке и равенстве выходных сигналов, реакции регулятора не будет, поэтому всегда используется пропорционально-дифференциальный или ПД регулятор (рис. 24).

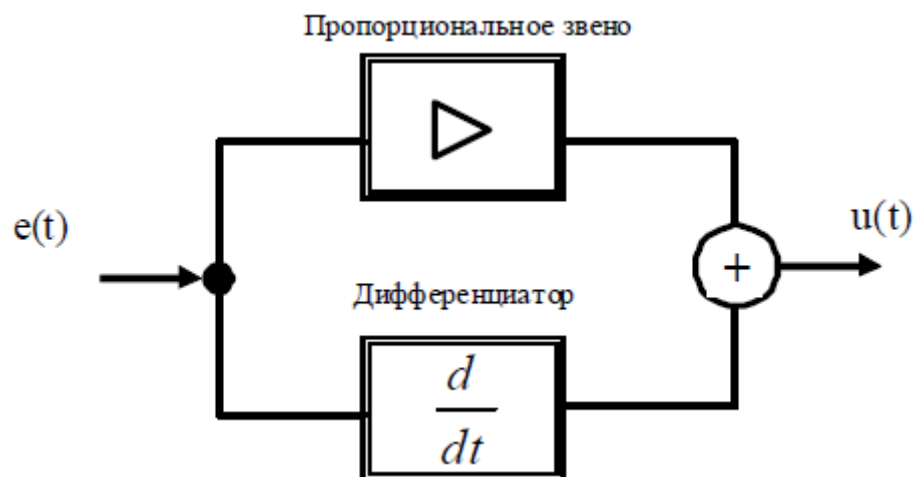


Рис. 24 – ПД регулятор

Сигнал ошибки приходит на оба звена, сигналы преобразуются в соответствии с законами регулирования, далее сигналы складываются (формула 3).

$$U_{pd}(t) = K_p \times e(t) + K_d \times (y(t) - y(t - 1)), \quad (3)$$

Главное достоинство ПД регулятора то, что такое регулирование является самым быстросействующим из-за реагирования не только на ошибку, но и на скорость ее изменения. А недостатком низкая точность и чувствительность к шумам.

Интегрирующее звено или интегратор складывает сигнал ошибки $e(t)$. Управляющее воздействие $u(t)$ пропорционален интегралу ошибки в каждый момент времени. Следовательно, интегратор реагирует только на длительные отклонения, а шумы и кратковременные отклонения им сглаживаются.

Исходя из смысла интеграла становится ясно, что площади фигур на рисунке 25 под линией, характеризующей функцию сигнала ошибки $e(t)$, практически одинаковы, не смотря на шумы.

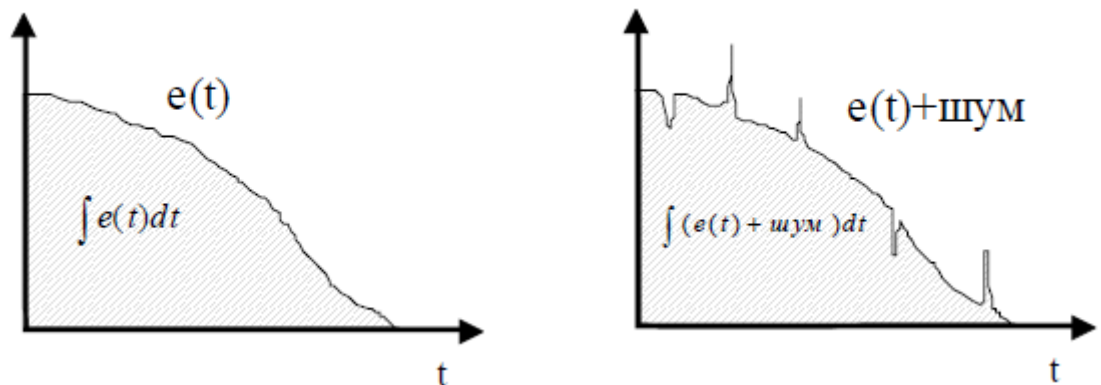


Рис. 25 – Интегралы от функций ошибки

Интегральный закон регулирования выражается формулой 4:

$$U_i(t) = K_i \times \int e(t)dt \quad (4)$$

Однако, как и у всех методов регулирования у интегрального закона тоже есть недостатки. Главным из которых является снижение стабильности системы в следствии чрезмерного накопления ошибок. Использование только И регулятора приведет к тому, что колебания станут бесконечно большими. В следствии чего в паре с интегратором используют П-регулятор и получается

пропорционально-интегральный закон регулирования ПИ-регулятор, изображенный на рисунке 26, которому соответствует формула 5.

$$U_{pi}(t) = K_p \times e(t) + K_i \times \int e(t)dt \quad (5)$$



Рис. 26 – ПИ регулятор

Главными преимуществами являются высокая точность в установившемся режиме, а при правильном подборе коэффициентов k_i и k_p обеспечены хорошие показатели и в переходных режимах.

Недостатком является меньшее быстродействие в сравнении с другими регуляторами и менее качественное управление в переходных режимах.

В программной коде для стабилизации этой составляющей были введены ограничения на интегральной составляющей, чтобы предостеречь систему от ее бесконечного роста в следствии инерционности системы.

В итоге, если совместить все три составляющих мы получим наиболее гибкий закон управления – пропорционально-интегрально-дифференциальный ГИД регулятор. Он объединяет в себе все достоинства и недостатки составляющих его законов, поэтому требует серьезной настройки и тщательного подбора коэффициентов.

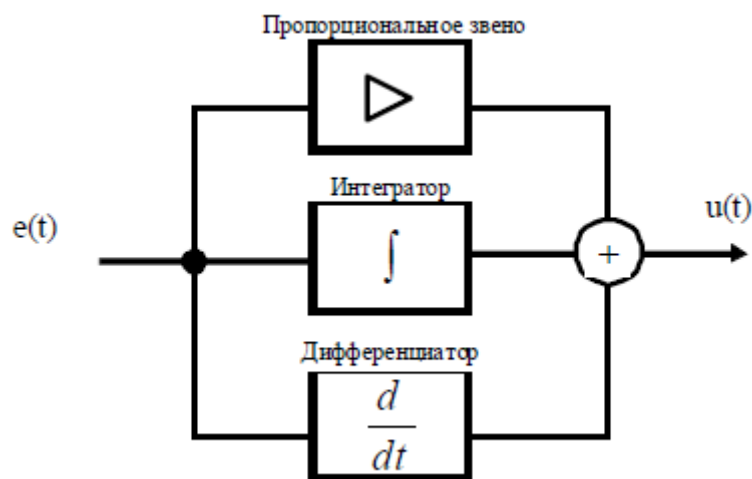


Рис. 27 – ПИД регулятор

Как и в предыдущих законах регулирования формирование управляющего воздействия происходит в результате суммирования сигналов от каждой составляющей.

Итоговое выражение ПИД регулятора, выглядит как сумма всех составляющих законов (формула 6):

$$U_{pd}(t) = K_p \times e(t) + K_i \times \int e(t)dt + K_d \times (y(t) - y(t - 1)) \quad (6)$$

ПИД регулятор довольно старое изобретение и до недавнего времени 90% систем где использовалось автоматическое регулирование, использовался ПИД регулятор. Однако в последнее время наибольшую популярность набирают так называемые нечеткие регуляторы, они не уступают по характеристикам, более универсальны и проще в настройке.

Для решения нашей задачи при подборе нужных законов регулирования нужно исходить от условий работы системы и требований к ее регулированию. Система инерционна и какие-то изменения в ней происходят достаточно плавно так как имеется относительно большой объем постоянно перемешивающейся, циркулирующей жидкости. Также в системе могут возникать высокочастотные помехи так как разрешение измерений термопары 0.25 и бывают скачки в измерениях. Чтобы частично этого избежать в программе был реализован фильтр, усредняющий несколько значений температуры, скачки стали меньше, но все равно имеют место быть.

Исходя из условий системы и учитывая все плюсы и минусы регуляторов описанных выше был выбран ПИ регулятор. Так как здесь не нужно быстроедействие, присутствуют высокочастотные помехи и «паразитные выбросы», а также система достаточно инерционна и без быстрых изменений температур.

3.4.3 Настройка параметров ПИД регулятора

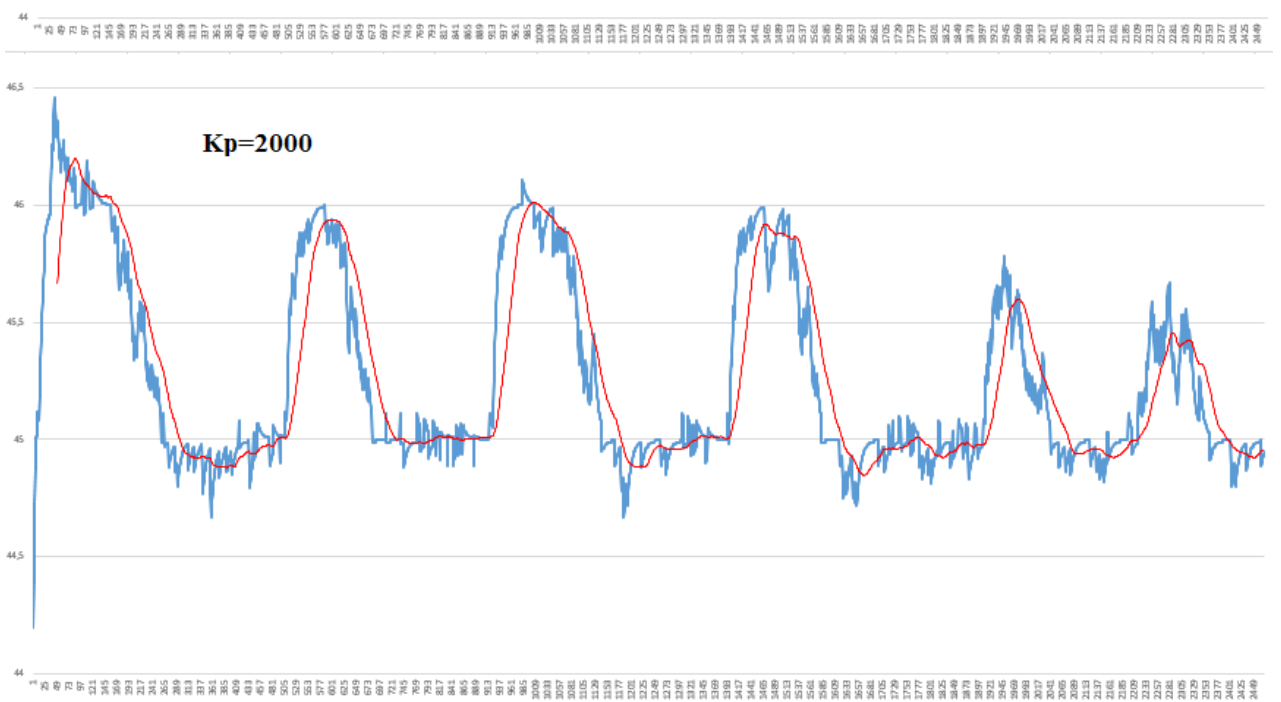
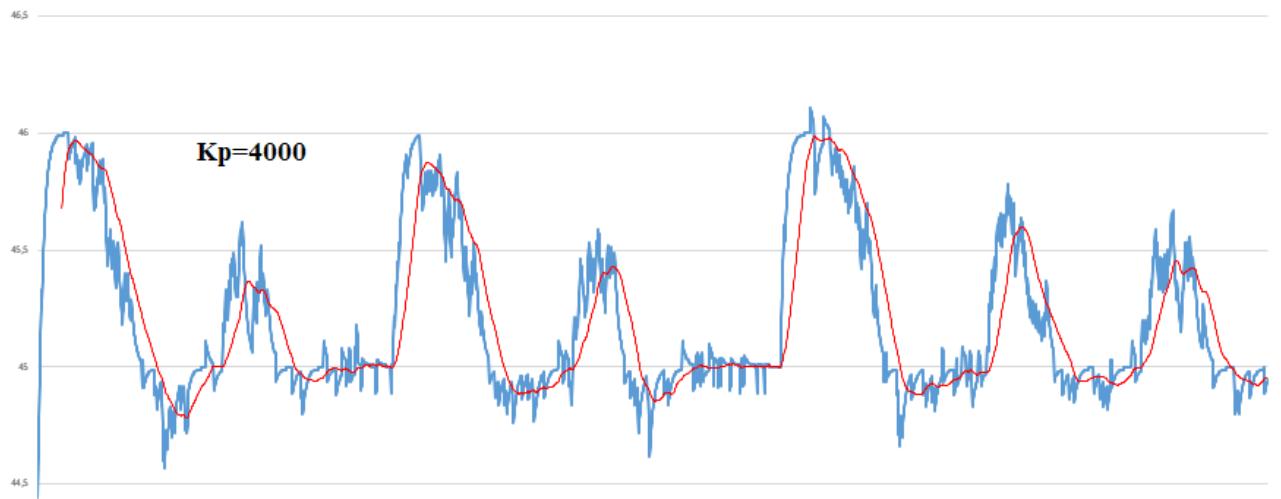
Настройка параметров ПИД-регулятора включает в себя нахождение подходящих для системы коэффициентов k_i , k_p и k_d . Это сложный процесс, в котором необходимо учесть множество параметров системы и ее характеристик. Далее приведены примеры настройки этих коэффициентов:

Математическая настройка. Сначала составляется структурная схема системы, затем зная все передаточные функции каждого звена, вычисляется передаточная функция всей системы. Дальше остается подобрать оптимальные коэффициенты для данной функции. На практике зачастую мы не знаем переходных функций и получить точную математическую модель для многих систем становится крайне сложной задачей.

Инженерная настройка. Создается отладочный стенд с необходимым оборудованием. Далее подавая на вход единичные воздействия, с помощью измерительного оборудования инженер находит переходные функции, по которым и будут подбираться коэффициенты ПИД регулятора.

Реальная настройка. Способы, перечисленные выше, по большей части теоретические, на деле же все выглядит гораздо проще. Коэффициенты определяются экспериментальным путем. Шаг за шагом наблюдая за изменениями функции выходного сигнала будет производиться так называемый итерационный процесс подбора коэффициентов.

Первым настраивается пропорциональный коэффициент. Для этого в исходном ПИ регуляторе остается только K_p , при этом $K_i=0$.



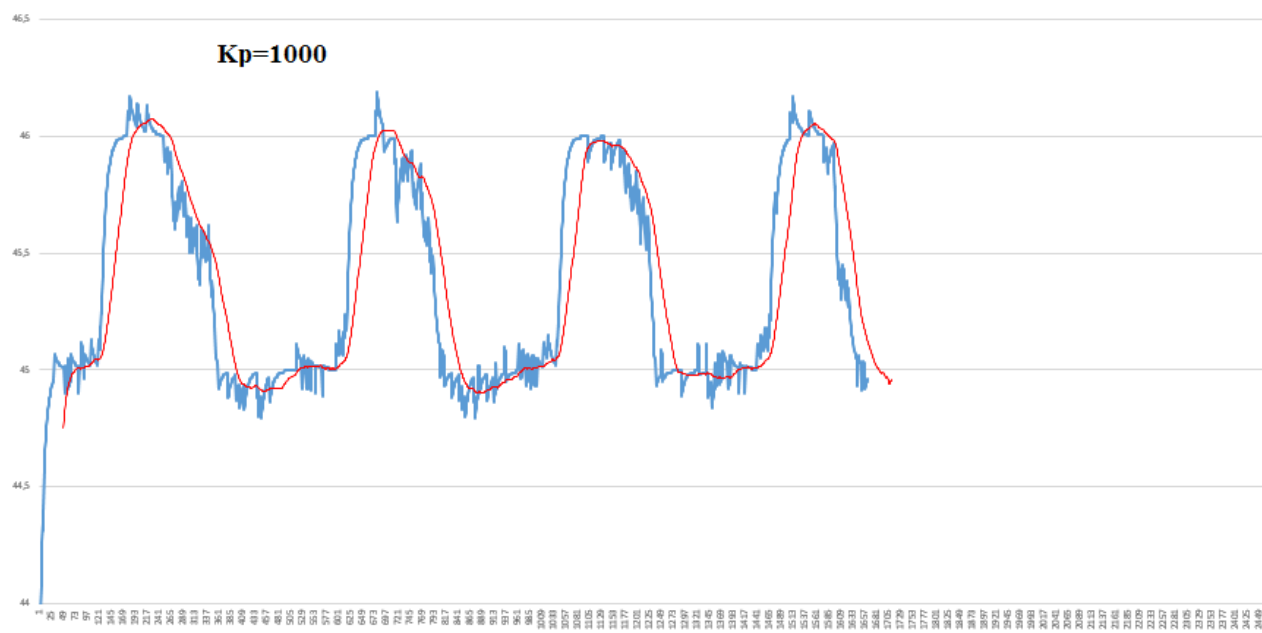


Рис. 28 – Графики подбора коэффициента K_p

На рисунке 28 видно, что с уменьшением K_p в системе происходят колебания с меньшей амплитудой поэтому выставляем коэффициент, когда эти колебания практически отсутствуют. При этом вначале мы выставляем большой коэффициент, при котором заметны колебания, затем постепенно уменьшаем коэффициент K_p . Также при больших значениях K_p , регулятор больше напоминает позиционное регулирование, когда при малейшем превышении температуры вентиляторы включаются на полную мощность, а при достижении уставки тут же выключаются.

После настройки пропорциональной составляющей, подбираем коэффициент интегратора K_i , который должен быть гораздо меньше K_p . Изначально берем коэффициент около 0.005 и постепенно его увеличиваем. При достаточно большом K_i , интегральное звено больше напоминает пропорциональное, так как его составляющая очень быстро накапливается и также быстро спадает, что противоречит принципу интегрального регулирования, которое должно быть плавным и сглаживать всплески системы (рис 29).

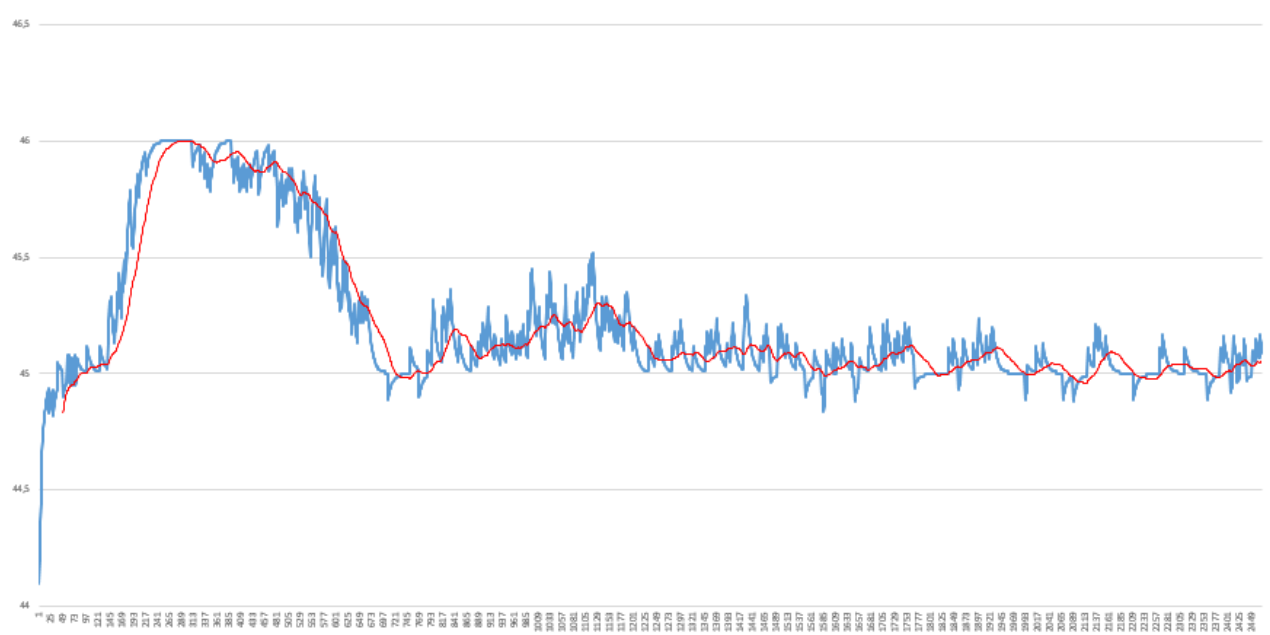


Рис. 29 – Подбор коэффициента K_i

Настроив все компоненты мы получаем удовлетворяющую нас характеристику (рис. 30). Но надо учитывать, что подобранные таким способом коэффициенты не являются оптимальными.

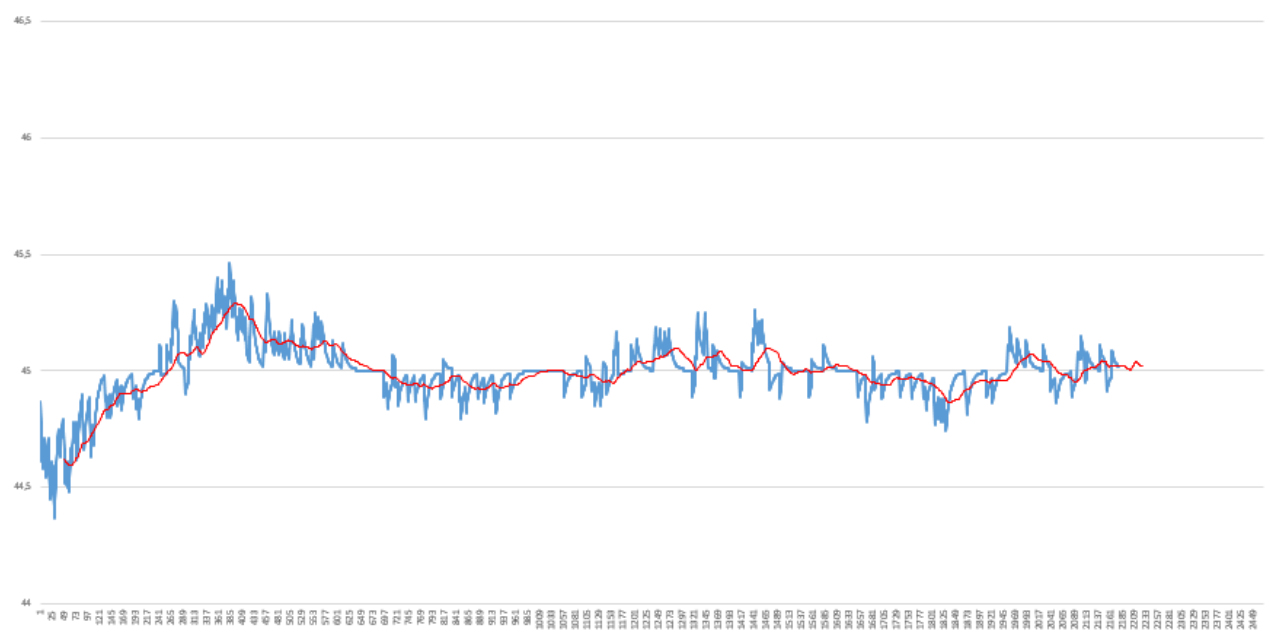


Рис. 30 – Функция выходного сигнала ПИ регулятора»

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

ВКР посвящена разработке лабораторного стенда с автоматическим регулированием температуры. Данная разработка может быть использована как самостоятельно в виде лабораторного стенда для студентов, так и на ее основе можно конструировать системы охлаждения для разных нужд.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуются для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих

современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями моего исследования могут являться как физические, так и юридические лица, а также коммерческие организации различных размеров, нуждающиеся в моделировании похожих процессов или же в обучении работе с ПИД регуляторами или в программной среде Arduino.

- Сегментация аудитории по целевому признаку:
 - 1) практические цели;
 - 2) научно-исследовательские цели.
- Сегментация аудитории по виду потребителей:
 - 1) Физические лица, коммерческие предприятия, нуждающиеся в подобных стендах для обучения людей.
 - 2) коммерческие предприятия, занимающиеся созданием лабораторных стендов для обучения студентов и школьников.
 - 3) индивидуальные разработчики, работающие над подобными задачами.

По отношению к принципам работы Интернет-ресурса, можно произвести сегментацию рынка по следующим критериям:

- Сегментация по типу охлаждающих систем:
 - 1) Системы промышленного охлаждения;
 - 2) Системы водяного охлаждения компьютеров;
 - 3) Лабораторные стенды для обучения.

- Сегментация по размеру компании-производителя:
 - 1) крупные;
 - 2) средние;
 - 3) мелкие.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка по наиболее важным критериям

			Тип запорных устройств		
			Системы промышленного охлаждения	Системы водяного охлаждения компьютеров	Лабораторные стенды для обучения
Размер компании		Крупные			
		Средние			
		Мелкие			

Примечания к таблице 4:

 - области, где имеются готовые продукты различных компаний.

Исходя из вышеприведенных данных, можно сделать выводы,

- Основным сегментом рынка выбрана область систем водяного охлаждения компьютеров для средней по размеру компании.
- Необходимо создать оборудование для водяного охлаждения основываясь на принципах ПИД регулирования.
- Сегменты рынка, которые привлекательны для развития разработок в будущем: создание систем водяного охлаждения серверов.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное

исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок), где B_{k1} – «DeerCool», B_{k2} – «Zalman».

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в чтении и корректировке программного кода	0.15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
2. Потребность в ресурсах памяти контроллера	0.05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
3. Функциональное исполнение системы	0.1	5	5	5	0,5	0,5	0,5

4. Качество системы позиционирования	0.05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
5. Возможность использования с любым другим контроллером на базе Arduino UNO	0.05	3	1	1	0,15	0,05	0,05
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность ПО	0.1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
2. Уровень востребованности среди потребителей ПО	0.1	1	5	3	0,1	0,5	0,3
3. Цена	0.1	3	5	1	0,3	0,5	0,1
4. Финансирование разработки ПО	0.2	3	3	3	0,6	0,6	0,6
5. Срок исполнения системы	0.1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1	35	44	33	3,6	4,4	3,5

Исходя из расчётов, сделанных выше (таблица 6), можно сделать вывод, что наша разработка имеет средний уровень конкурентоспособности.

Позиции конкурентов особенно уязвимы в потребности в ресурсах памяти и ценовом диапазоне. Так же в зоне уязвимости может оказаться финансирование научной разработки.

Конкурентное преимущество нашей разработки в функциональной мощности, сроке выхода на рынок, местность распространения и конкурентоспособности.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (Таблица 7).

Таблица 7 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей). С2. Функциональная мощность (предоставляемые возможности). С3. Конкурентоспособность продукта. С4. Актуальность разработки. С5. Высоко квалифицированный научный труд.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Большой срок поставок плат, используемых для проведения научного исследования. Научной разработки. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров. Сл3 Медленный процесс вывод на рынка новой системы. Сл4. Уровень проникновения на рынок.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения продукта на рынок. В2. Использование только российских комплектующих В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.	Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность продукта и ускорить выход на рынок. Так же использование развитой международной инфраструктуры поможет ускорить выход продукта на рынок. Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря использованию высоко квалифицированного научного труда. Благодаря снижению таможенных пошлин на платы возможно повышение конкурентоспособности продукта.	Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей квалифицированных кадров. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях может привести к увеличению срока поставки плат, используемых для проведения научного исследования.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция производителей продукта. У3. Ограничения памяти платы Arduino. У4. Выпуск более новых чипов для Arduino.	Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода продукта на рынок и понизить квалификацию научного труда. Развитая конкуренция производителей продукта может привести к снижению конкурентоспособности	Отсутствие спроса на новые технологии производства и высокая стоимость оборудования и плат может привести к отсутствию прототипа научной разработки, отсутствию потенциальных потребителей, необходимого

У5. Высокая стоимость оборудования и плат.	продукта. Ограничения памяти платы Arduino и высокая стоимость оборудования и плат требует более высоко квалифицированный научный труд и затягивает срок выхода на рынок.	оборудования для проведения испытания ПО, ухудшить уровень проникновения на рынок и увеличить сроки поставки плат. Выпуск более новых чипов для Arduino может способствовать к отсутствию необходимого оборудования для проведения испытания ПО.
--	---	--

4.1.4 Определение возможных альтернативных научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Таблица 8 – морфологическая матрица

	1	2	3
А. Модель системы водяного охлаждения	Zino R3	Deepcool Captain 120 EX	Zalman Reserator 3 Max Dual
Б. Питание	5V	-	-
В. ПО для программирования контроллера	Arduino	-	-
Г. Управление охлаждающим элементом	Программное	Ручное	В фирменном ПО
Д. Получение данных	Micro-USB	USB	USB

Из полученной морфологической матрицы, можно получить как минимум 4 варианта реализации и направления научных исследований при работе над проектом:

- Исполнение 1. А1Б1В1Г1Д1
- Исполнение 2. А1Б1В1Г2Д2.
- Исполнение 3. А1Б1В1Г3Д3

В дальнейших расчетах именно эти варианты работы над проектом будут рассматриваться в качестве различных исполнений реализации разработки.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Постановка целей и задач, получение исходных данных	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, студент
	3	Проведение патентных исследований	Научный руководитель, студент
	4	Разработка календарного плана	Научный руководитель, студент
Проектирование структуры ПО	5	Обсуждение литературы	Научный руководитель, студент
	6	Проектирование структуры ПО	Научный руководитель, студент
	7	Разработка ПО	Научный руководитель, студент
	8	Тестирование ПО	Студент
<i>Проведение ОКР</i>			
Оформление отчета, по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Оформление расчетно-пояснительной записки	Студент
	10	Оформление графического материала	Студент
	11	Подведение итогов	Научный руководитель, студент

4.2.2 Разработка графика проведения научного

В таблице 10 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 10 – Временные показатели проведения работ

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					T_{Pi}		T_K	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	3	5	3,8	4,56	–	5,53	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	2	4	2,8	0,34	3,36	0,41	4,07
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, С	10	13	11,2	4,03	13,44	4,88	16,28
Разработка календарного плана	НР, С	2	4	2,8	0,67	3,36	0,81	4,07
Обсуждение литературы	НР, С	2	4	2,8	1,01	3,36	1,22	4,07
Проектирование структуры продукта	НР, С	15	20	17	20,4	14,28	24,72	17,30
Разработка продукта	НР, С	12	15	13,2	7,92	15,84	9,60	19,19
Тестирование продукта	С	6	10	7,6	-	9,12	-	11,05
Оформление расчетно-пояснительной записки	С	6	9	7,2	-	8,64	-	10,47
Оформление графического материала	С	2	5	3,2	-	3,84	-	4,65
Подведение итогов	НР, С	2	3	2,4	1,72	2,88	2,08	3,49
Итого:				74	40,65	78,12	49,27	94,68

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5}, \quad (3)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{маxi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 10 работ требуются специалисты:

студент (С);

научный руководитель (НР).

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож}}{Ч_i}, \quad (4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графиков проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВЫХ}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПР}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 12$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 12} = 1,212$$

В таблице 11 названной как график проведения научного исследования, приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 11 – план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль	Март			Апрель			Май			Июнь	
			3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Постановка задачи	НР												
2	Разработка и утверждение технического задания	С,НР												
3	Подбор и изучение материалов по тематике	С,НР												
4	Разработка календарного плана	НР												
		НР												
5	Обсуждение литературы	С,НР												
6	Проектирование структуры продукта	С,НР												
7	Разработка продукта	С,НР												
8	Тестирование продукта	С												
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	С												
11	Оформление графического материала	Инженер												
12	Подведение итогов	Инженер												

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расхи}} \quad (7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{\text{расхи}}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); $Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 7.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Блокнот	40	2 шт.	80
Бумага для принтера формата А4	150	2 уп.	300
Ручка шариковая	10	4 шт.	40
Карандаш	10	2 шт.	20
Стирательная резинка	5	2 шт.	10
Итого:			450

Расходы на материалы составили

$$Z_m = 450 \text{ рублей.}$$

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (плат, проводов, различного рода механизмов, устройств и приводов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 13.

Таблица 13 – Материальные затраты на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
RobotDyn UNO R3	Шт	1	1	1	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
ПО	Шт	1	2	2	0	2 520	2 520	0	2 520	2 520
Нагреватель	Шт	1	1	1	500	500	500	500	500	500
Датчик температуры	Шт	1	2	2	700	700	700	700	1 400	1 400
Насос	Шт	1	1	1	950	950	950	950	950	950
Емкость для воды	Шт	1	1	1	300	300	300	300	300	300
Радиодетали и другие расходники	Шт	5	10	12	520	1 080	1 250	520	1 080	1 250
Итого								3 970	7 750	7 920

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Среднедневная заработная плата. Примечания к таблице 14.

Заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}}$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 9. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 10. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям $K_{\text{пр}} = 0,3$ и районный коэффициент $K_{\text{рк}}=0,3$ ($K = 1,3 * 1,3 = 1,69$).

Таблица 14 – Затраты на основную заработную плату исп. 1

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	25 000	993,25	41	1,69	68 822,29
С	15 000	595,95	79	1,69	79 565,29
Итого:					148 387,58

Таблица 15 – Затраты на основную заработную плату исп. 2

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	25 000	993,25	45	1,69	75 517,65
С	15 000	595,95	85	1,69	85 471,75
Итого:					160 989,4

Таблица 16 – Затраты на основную заработную плату исп. 3

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	25 000	993,25	45	1,69	75 517,65
С	15 000	595,95	88	1,69	88 629,68
Итого:					164 147,334

4.3.4 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 (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (13)$$

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

На 2017 г. в соответствии с положениями ст.58.2 закона №212-ФЗ установлены следующие тарифы страховых взносов: ПФР – 0.22 (22%), ФСС РФ – 0.029 (2,9%), ФФОМС – 0,051 (5,1%).

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблице 10).

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды исп. 1

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
НР	68 822,29	–
С	79 565,29	–
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{\text{внеб}} = 27,1\%$	
Итого:	40 213,03	

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды исп. 2

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
НР	75 517,65	–
С	85 471,75	–
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{\text{внеб}} = 27,1\%$	
Итого:	43 628,12	

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды исп. 3

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
НР	75 517,65	–
С	88 629,68	–
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{\text{внеб}} = 27,1\%$	
Итого:	44 483,92	

4.3.5 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:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}} \quad (14)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Для исполнения 1:

$$З_{\text{накл}} = (450 + 3970 + 148387 + 40213) \cdot 0.16 = 30883,2$$

Для исполнения 2:

$$З_{\text{накл}} = (450 + 7750 + 160989 + 43628) \cdot 0.16 = 34050,72$$

Для исполнения 3:

$$З_{\text{накл}} = (450 + 7920 + 164147 + 44483) \cdot 0.16 = 34720$$

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) 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.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	450	450	450
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	3 970	7 750	7 920
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148 387	160 989	164 147
4. Отчисления во внебюджетные фонды	402 13	43 628	44 483
5. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-
6. Контрагентские расходы	-	-	-
7. Накладные расходы	30 883	34 050	34 720
9. Бюджет затрат НТИ	223 903	246 867	251 720

4.3.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (15)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп. i}}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Исполнение 1: 0,85

Исполнение 2: 0.92

Исполнение 3: 1

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i \quad (16)$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблице 21).

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исслед.	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Уровень новизны	0,1	5	5	5
2. Теоретический уровень	0,1	5	3	3
3. Возможность реализации	0,1	5	3	3
4. Наглядность	0.2	4	5	5
5. Безопасность	0.3	5	5	5

6. Возможность модернизации	0,2	5	4	4
ИТОГО	1	4,8	4,1	4,1

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (18)$$

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,92	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,1	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,8	4,1	4,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,17	1	1

Таким образом, исполнение № 1 является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с исполнениями № 2 и № 3.

5 Социальная ответственность

Аннотация

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) IC CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- 1 содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- 2 учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- 3 соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- 4 интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

Введение

Данный раздел выпускной квалификационной работы рассматривает вопросы выявления и анализа вредных и опасных факторов труда, оценки условий труда и разработки мер защиты от них для рабочего места оператора комплексом мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия проектируемой деятельности в соответствии с требованиями санитарных норм и правил, техники безопасности и пожарной безопасности.

Объектом исследования будет выступать рабочее место разработки лабораторного стенда.

В ВКР рассматривается разработка лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры жидкости.

В данном разделе выпускной квалификационной работы дается характеристика рабочей зоны, которой является лабораторный кабинет в 10 корпусе ТПУ. Проанализированы опасные и вредные факторы.

5.1 Профессиональная социальная безопасность

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

По природе действия опасные и вредные производственные факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические. Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 23.

Таблица 23 – оптимальные параметры микроклимата рабочего места

Источник фактора, наименование видов работы	Факторы (по ГОСТ 12.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<i>Рабочим местом является зона расположения парового котла ГРЭС. Технологический процесс представляет собой автоматическое управление и контроль основных параметров парового котла. Площадка где паровой котел, находится на территории Нерюнгринской ГРЭС.</i>	1. Повышенный уровень шумов 2. Повышенный уровень вибрации 3. Электромагнитные излучения	1. Электро-безопасность 2. Пожаро-взрывобезопасность	Шумы – СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [1] Вибрация – ГОСТ 31192.2-2005 [3] Электромагнитное излучение - СанПиН 2.2.2/2.4.1340 [5] Электробезопасность – ГОСТ 12.1.038-82 [6] Пожарная безопасность – СНиП 2.11.03-93 [7]

5.1.1.1 Шум

Шум представляет собой беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Он может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, преобразователями напряжения,

работающими осветительным приборами дневного света, а также проникает извне.

Сильный шум вызывает трудности в распознавании цветовых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, остроту зрения, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные движения, уменьшает на 5-12% производительность труда. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах. Длительное воздействие шума с уровнем звукового давления 90дБ снижает производительность труда на 30-60%. Неблагоприятное действие шума на человека зависит не только от уровня звукового давления, но и от частотного диапазона шума (наиболее важный для слухового восприятия интервал от 45 до 10000 Гц), а также от равномерности воздействия в течение рабочего времени

По нормам (СП 51.13330.201) при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 75 дБ [12].

При разработке проектируемой системы добавилось электрооборудование, которое является источником шума, такие как автоматические задвижки, электромагнитные реле. При этом основным источником шума являются компрессоры, паровой котел. До разработки автоматизированной системы шум на площадке парового котла составлял 75 дБ, после внедрения автоматизированной установки уровень шума повысился до 80 дБ.

Во время работы персонала в зоне расположения парового котла обслуживающему и производственному персоналу необходимо одевать наушники или беруши.

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка

помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше ширины окна.

Наиболее простым и действенным способом облегчения работ, является кратковременные отдыхи в течение рабочего дня при выключенных источниках шума.

5.1.1.2 Электромагнитное излучение

Каждое устройство, которое производит или потребляет электроэнергию, создает электромагнитное излучение. Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряжения электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела. Нарушение в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер.

На производстве имеется множество источников электромагнитных полей (высоко- и низковольтные кабели, шины, трансформаторы тока и напряжения, распределительные шкафы, шкафы управления, а также насосные агрегаты, работающие от сети переменного тока).

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 – Электромагнитные поля в производственных условиях допустимые уровни магнитного поля и длительность пребывания работающих без средств защиты в электрическом поле приведены в таблице 27 [5].

Таблица 24 – допустимые уровни электромагнитного излучения

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, Н [А/м]/В [мкТл] при воздействии	
	Общем	Локальном
≤1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

После внедрения автоматизированного комплекса, уровень магнитного

поля не превышает 200 А/м, а время пребывания обслуживающего персонала не более 2 часов в смену. Трансформаторы (активная часть) – помещены в металлических маслonaполненный бак, вся коммутационная аппаратура устанавливается в металлических шкафах.

Уровень влияния магнитного поля незначителен, следовательно, дополнительных средств защиты от магнитного излучения не требуется. В силу незначительности дополнительной защиты от электромагнитных излучений не требуется.

5.1.1.3 Электробезопасность

трудно определить в токо- и нетоковедущих частях оборудования, которые являются хорошими проводниками электричества. Смертельно опасным для жизни человека считают ток, величина которого превышает 0,05 А, ток менее 0,05 А – безопасен (до 1000 В). С целью предупреждения поражений электрическим током к работе должны допускаться только лица, хорошо изучившие основные правила по технике безопасности.

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Во время монтажа и эксплуатации линий электросети необходимо полностью сделать невозможным возникновения электрического источника возгорания в следствии короткого замыкания и перегрузки проводов, ограничивать применение проводов с легковоспламеняющейся изоляцией и, за возможности, перейти на негорючую изоляцию.

Линия электросети для питания шкафов автоматики, периферийных устройств и оборудования для обслуживания, ремонта и наладки шкафов автоматики выполняется как отдельная групповая трехпроводная сеть, путем прокладки фазового, нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. Нулевой защитный проводник используется для заземления (зануление)

электроприемников и прокладывается от стойки группового распределительного щита, распределительного пункта к розеткам питания.

Использование нулевого рабочего проводника как нулевого защитного проводника запрещается, а также не допускается подключение этих проводников на щите до одного контактного зажима.

Площадь перерезу нулевого рабочего и нулевого защитного проводника в групповой трехпроводной сети должна быть на меньше площади перерезу фазового проводника. Все проводники должны отвечать номинальным параметрам сети и нагрузки, условиям окружающей среды, условиям деления проводников, температурному режиму и типам аппаратуры защиты, требованиям ПОЭ.

При проектировании автоматизированной системы добавилось большое количество электроприборов, таких как датчики, исполнительные механизмы с электроприводами.

Данное оборудование работает от постоянного тока, с напряжением 24 В, относительная влажность воздуха 50%, средняя температура около 24°C.

Для указанных электроприборов никаких дополнительных средств электрозащиты не требуется, т. к. при низковольтном напряжении 24 В, вероятность поражения током маловероятна. Для гашения дуги исполнительных реле, были подобраны реле со встроенным дугогасительным устройством.

Контроллерное оборудование, исполнительные нагревательные элементы работают от сети переменного напряжения 220 В и частотой 50 Гц. Данное оборудование подключено через распределительный шкаф. Эти виды оборудования являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. При осмотре, работе, наладке этого оборудования возможен удар током при соприкосновении с токоведущими частями оборудования.

Для обеспечения безопасности в данном случае необходимо установить защитные барьеры или ограждения вблизи от распределительного шкафа. Поставить табличку «Опасно. Высокое напряжение».

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходима изоляция токоведущих частей, установлено защитное отключение, защитное заземление и зануление [6].

Помещение, в котором расположено рабочее место, относится к категории без повышенной опасности, и соответствует установленным условиям согласно с [7]:

- напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц;
- относительная влажность воздуха 50%;
- средняя температура около 24°C;
- наличие непроводящего полового покрытия.

5.1.1.4 Микроклимат

Микроклимат определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

Санитарные правила и нормы предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

По степени физической тяжести работа оператора АСУ относится к категории лёгких работ. Основные нагрузки на организм – нервно-психологические, а также зрительные. Так как основным видом работы оператора АСУ является работа с прикладным программным обеспечением и технической документацией, то потенциальными источниками опасных и вредных факторов являются персональные компьютеры и мониторы.

Поэтому в помещении должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата, которые установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека.

В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены оптимальные величины показателей микроклимата согласно требованиям [1] и приведены в таблице 25, а допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений приведены в таблице 29.

Таблица 25 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория 1а	23-25	40-60	0,1
Теплый	Категория 1а	20-22	40-60	0,1

Таблица 26 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ	Температура воздуха		Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха	
		Ниже оптимальных не более	Выше оптимальных не более		Ниже оптимальных не более	Выше оптимальных не более
Холодный	Категория 1а	20,0-21,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Категория 1а	21,0-22,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,2

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха согласно [1] и приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Расход свежего воздуха

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ /на одного человека в час
Объем до 20 м ³ на человека	Не менее 30
20...40 м ³ на человека	Не менее 20
Более 40 м ³ на человека	Естественная вентиляция

5.1.1.5 Освещение

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное. Совмещенное сочетает оба вида освещения.

На посту управления, где расположено рабочее место оператора, используется совмещенное освещение.

Для определения приемлемого уровня освещенности в помещении необходимо:

- определить требуемый для операторов уровень освещенности внешними источниками света;
- если требуемый уровень освещенности не приемлем для других операторов, работающих в данном помещении, надо найти способ сохранения требуемого контраста изображения другими средствами.

Рекомендуемые соотношения яркостей в поле зрения следующие:

- между рабочими поверхностями не должно превышать 1:3 – 1:5;
- между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 1:10.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк (СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м². Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Согласно СНИП 23-05-95 нормы на освещение для оператора поста управления берутся для производственных помещений. Эти нормы представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Нормы на освещение для оператора

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		Естественное освещение КЕО е _н , % при боковом
			Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент пульсации, К _п , %	
Различение объектов высокой точности	Б	1	300	15	1,0

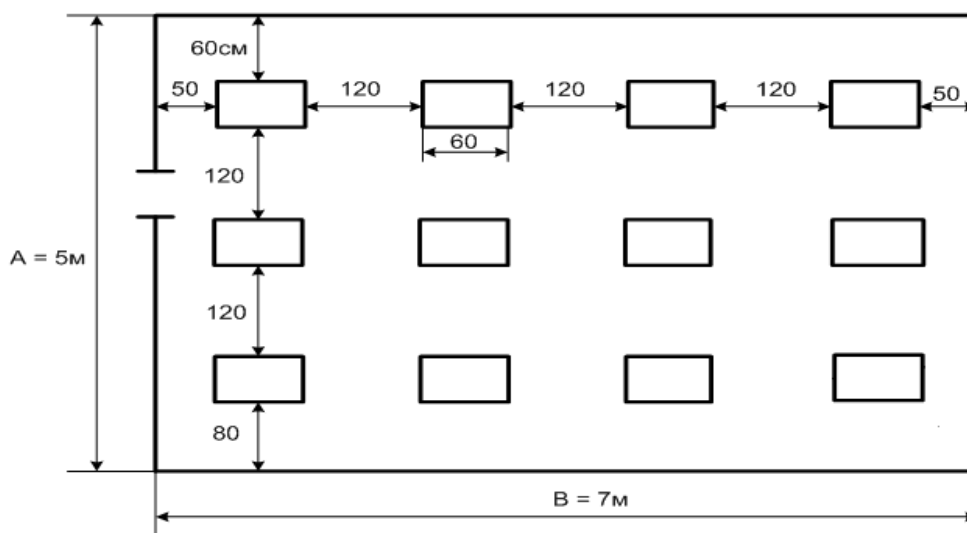


Рис. 31 – План размещения светильников в помещении

5.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.2.1 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожара или уменьшение его последствий. Активная пожарная защита – меры, обеспечивающие успешную борьбу с пожарами или взрывоопасной ситуацией.

Возникновение пожара в помещении, где установлена вычислительная и оргтехника, приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объёме.

Согласно нормам технологического проектирования [16], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д.

Данное помещение относится к категории Д [16], помещения, в которых находятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Для исключения возникновения пожара необходимо:

- вовремя выявлять и устранять неисправности;
- не использовать открытые обогревательные приборы, приборы кустарного производства в помещении лаборатории;
- определить порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначить ответственного за их проведения.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, произвести эвакуацию и приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Для тушения пожаров в помещении необходимо установить углекислотный огнетушитель типа ОУ-5.

Покидать помещение согласно плану эвакуации, на рис. 32.



Рис. 32 – план эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10, пр. Ленина, 1 этаж

5.3 Организация мероприятия обеспечения безопасности

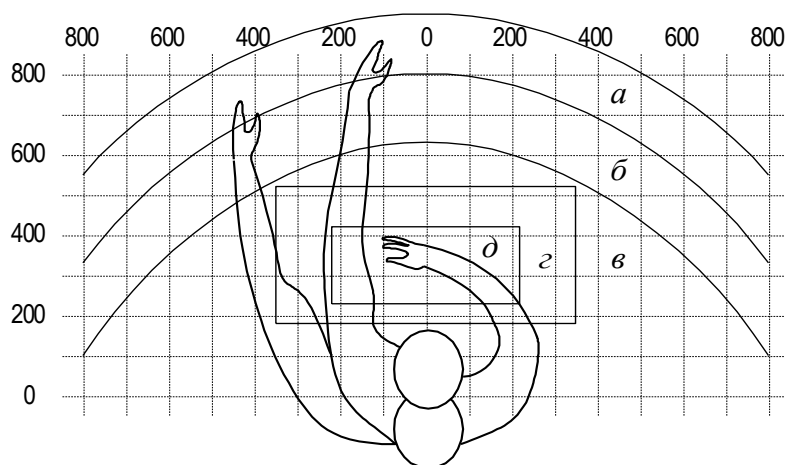
5.3.1 Эргономические требования к рабочему месту

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Организация рабочего места программиста или оператора регламентируется следующими нормативными документами:

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:



а - зона максимальной досягаемости;
б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
в - зона легкой досягаемости ладони;
г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Рис. 33 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- дисплей размещается в зоне *а* (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура – в зоне *г/д*;
- «мышь» – в зоне *в* справа;
- сканер в зоне *а/б* (слева);
- принтер находится в зоне *а* (справа);

– документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – *в*, а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

На Рисунке 34 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста.

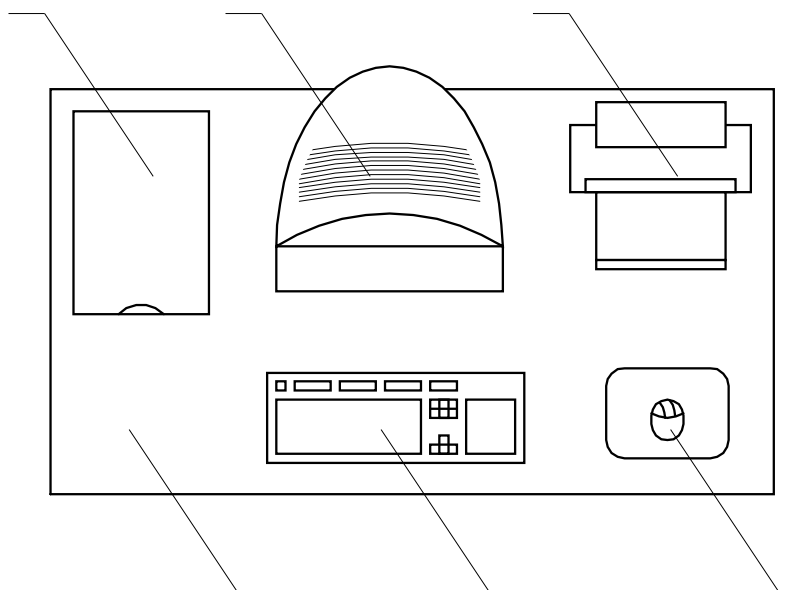


Рис. 34 – Размещение основных и периферийных составляющих
1 – сканер, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола,
5 – клавиатура, 6 – манипулятор типа «мышь».

Для комфортной работы эргономика рабочего пространства должна удовлетворять следующим требованиям [13].

5.3.2 Окраска и коэффициенты отражения

В зависимости от ориентации окон рекомендуется следующая окраска стен и пола:

- окна ориентированы на юг – стены зеленовато-голубого или светло-голубого цвета, пол – зеленый;
- окна ориентированы на север – стены светло-оранжевого или оранжево-желтого цвета, пол – красновато-оранжевый;
- окна ориентированы на восток – стены желто-зеленого цвета, пол – зеленый или красновато-оранжевый;

– окна ориентированы на запад – стены желто-зеленого или голубовато-зеленого цвета, пол зеленый или красновато-оранжевый.

В помещениях, где находится компьютер, необходимо обеспечить следующие величины коэффициента отражения для потолка 60-70, для стен 40-50, для пола около 30.

5.4 Особенности законодательного регулирования

1. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы. Классификация». Настоящий стандарт распространяется на опасные и вредные производственные факторы, устанавливает их классификацию и содержит особенности разработки стандартов ССБТ на требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. Санитарные нормы устанавливают классификацию шумов; нормируемые параметры и предельно допустимые уровни шума на рабочих местах, допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Настоящий свод правил устанавливает нормы допустимого шума на территориях и в помещениях зданий различного назначения, порядок проведения акустических расчетов по оценке шумового режима на этих территориях и в помещениях зданий, порядок выбора и применения различных методов и средств для снижения расчетных или фактических уровней шума до требований санитарных норм, а также содержит указания по обеспечению в помещениях специального назначения оптимального акустического качества с точки зрения их функционального назначения.
4. ГОСТ 31192.2-2005. Вибрация. измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Настоящий стандарт устанавливает требования

к проведению измерений и оценке воздействия локальной вибрации на рабочем месте

5. СанПиН 2.2.4.1191-03 – Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарные правила устанавливают санитарно-эпидемиологические требования к условиям производственных воздействий ЭМП, которые должны соблюдаться при проектировании, реконструкции, строительстве производственных объектов, при проектировании, изготовлении и эксплуатации отечественных и импортных технических средств, являющихся источниками ЭМП.

6. Гост Р 12.1.019 – 2009. Электробезопасность. Настоящий стандарт относится к группе стандартов, регламентирующих требования электробезопасности электроустановок производственного и бытового назначения на стадиях проектирования, изготовления, монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации.

Заключение

В результате выполненной работы был разработан лабораторный стенд автоматического регулирования температуры жидкости на основе аппаратной платформы RobotDyn UNO R3. В ходе работы был изучен принцип работы лабораторного стенда, а также работа по программной разработке и настройке ПИД регулятора практическим методом. Также в работе были рассмотрен принцип работы П-регулятора, ПИ-регулятора, ПД-регулятора, после чего был выбран самый подходящий для данной работы. Приведены графики и полное описание режима настройки ПИ-регулятора с пояснениями, для наглядности были добавлены графики выходного сигнала переходных процессов. В данной выпускной квалификационной работе бакалавра была разработана скетч в программной среде Arduino, который был загружен на аппаратную платформу RobotDyn UNO R3. Для измерения и фиксации температуры были освоены принцип работы термопары, преобразователя для термопары max6675, а также специальная библиотека для работы с этим преобразователем в программной среде Arduino.

Таким образом, спроектированная САР удовлетворяет требования к системе регулирования, а также имеет высокую гибкость для модернизации как самой системы, так и задачи перед студентом при выполнении лабораторной работы на данном стенде.

Список используемых источников

1. Arduino UNO. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://arduino.ua/ru/hardware/Uno> свободный. – Загл. с экрана.
2. ПИД регулятор. Принцип действия, математическое описание, настройка. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://arduino.ua/ru/hardware/Uno> свободный. – Загл. с экрана.
3. Аппаратная часть платформы Arduino. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://arduino.ru/Hardware> свободный. – Загл. с экрана.
4. Arduino Software. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://arduino.cc/en/main/software> свободный. – Загл. с экрана.
5. Техническая документация ATmega328. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://lib.chipdip.ru/882/DOC000882846.pdf> свободный. - 448 с.
6. Преобразователь температуры для термпары МАХ6675. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.2150692.ru/faq/74-arduino-max6675>
7. Температура. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/температура> Загл. с экрана.
8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
9. СНиП 2.04.05-91 *. Отопление, вентиляция и кондиционирование
10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
11. СанПиН 2.2.4/2.1.8.989-00. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)
12. Правила устройства электроустановок. Издание 7-е, перераб. – М.: «Норматика», 2013. – 464с. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.

13. Зинченко В.П. Основы эргономики. – М.: МГУ, 1979. – 179с.
14. Статья 8.1. КоАП РФ. Несоблюдение экологических требований при осуществлении градостроительной деятельности и эксплуатации предприятий, сооружений или иных объектов
15. Постановление от 30 декабря 2003 г. N 794 О Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. [Электронный ресурс] режим доступа – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_159106/
16. НПВ 105-95 Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений, 1995.
17. СНиП II-12-77. Строительные нормы и правила. Часть ii Нормы проектирования. Защита от шума