

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей

УДК 536.24-042.3:621.383.52-027

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Афанасьева Виктория Валериевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШЭ	Кравченко Евгений Владимирович	к.т.н.		

Со-руководитель (по разделу «Концепция стартап-проекта»)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Андрienко Олег Владимирович	к.э.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Планируемые результаты обучения выпускника образовательной программы
магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
<i>Общие по направлению подготовки</i>		
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>		
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-11**, УК-2, ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.1) согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектростанций», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>		
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками

^{1**} - универсальные компетенции из СУОС ТПУ (для 2017 г. приема - приказ № 2226 от 01.03.2017 г).

		газа»)
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ(УК-1, УК-2, ПК-5, ПК-6), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
P4 (P6)	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ(УК-1, УК-2, ПК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>		
P5 (P4)	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследование, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ(УК-1, УК-2, ПК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 19.011

		«Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>		
P6 (P5)	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ(УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОК-2, ПК-8, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>педагогическая деятельность:</i>		
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ(ПК-11), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 8 сентября 2015 г. № 608н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 сентября 2015 г., регистрационный № 38993)
<i>Универсальные компетенции</i>		
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОК-1, ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться	Требования ФГОС (УК-6, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ(УК-4, УК-5, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профиль 4		
P14	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в автоматизированных системах управления технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-6, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.012 Профессиональный стандарт «Специалист по метрологии», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.061 Оператор-наладчик автоматических линий

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
П.А. Стрижак
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ74	Афанасьевой Виктории Валериевне

Тема работы:

Исследование влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей	
Утверждена приказом директора № 579/с	30.01.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Использование светодиодного модуля в составе экспериментального стенда. Применение конвективного способа теплоотвода для светодиодного модуля (пассивного и активного). Максимальная температура светодиодов 90 °С.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературных источников по теме 2. Создание экспериментального стенда 3. Выбор технических средств 4. Разработка чертежей АСУ 5. Составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации 6. Программирование 7. Инструкция по эксплуатации 8. Математическое моделирование 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 10. Социальная ответственность

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема функциональная 2. Схема принципиальная электрическая 3. Схема монтажная 4. Чертеж общего вида щитовой конструкции
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Куликова Ольга Александровна, доцент ООД ШБИП, к.т.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Реферат	
Введение	
Формулирование технических требований к АСУ. Разработка структуры АСУ	
Разработка функциональной схемы АСУ	
Выбор технических средств АСУ	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШЭ	Кравченко Евгений Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Афанасьева Виктория Валериевна		

Реферат

Выпускная квалифицированная работа 142 с., 41 рис., 56 табл., 92 источника, 4 прил.

Ключевые слова: светодиодный модуль, перегрев кристалла, активное охлаждение, пассивное охлаждение, экспериментальный стенд.

Объектом исследования является светодиодный модуль.

Цель работы: исследовать влияние температуры на эксплуатационные характеристики светодиодного излучателя.

В работе рассмотрены существующие решения способов теплоотвода, выбраны технические средства для создания экспериментального стенда, разработаны структурная схема, функциональная схема, принципиальная электрическая схема, монтажная схема. Создана мнемосхема для автоматизированной системы управления экспериментальным стендом. Проведены эксперименты по определению наиболее эффективных способов теплоотвода. Разработана математическая модель распределения температурного поля по светодиодному излучателю в программе Matlab.

В результате работы создан экспериментальный стенд для исследования влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей, система запущена и налажена.

Основным преимуществом данного экспериментального стенда является простота эксплуатации, возможность расширения системы, возможность проведения экспериментов с использованием различных типов радиаторов и светодиодов, автоматизированная система управления экспериментальным стендом имеет удобную для пользователя SCADA систему и среду программирования Codesys для контроллера фирмы Овен. Благодаря наглядности SCADA, можно отслеживать процесс и быстро отреагировать на какие-либо изменения системы.

Оглавление

Введение.....	11
1 Анализ объекта исследования.....	17
2 Экспериментальная часть.....	17
2.1 Выбор радиаторов для светодиодного модуля.....	18
2.2 Расчет теплового сопротивления радиатора.....	20
2.3 Измерение температуры светодиодных излучателей при пассивном охлаждении.....	21
3 Математическое моделирование процесса распределения температурного поля по светодиодному излучателю.....	27
4 Формулирование технических требований к АСУ. Разработка структуры АСУ.....	31
5 Разработка функциональной схемы АСУ.....	35
6 Выбор технических средств АСУ. Оформление заказной спецификации...36	
6.1 Выбор программируемого логического контроллера.....	36
6.2 Выбор датчика температуры.....	37
6.3 Выбор нормирующего преобразователя.....	38
6.4 Выбор регулирующего органа.....	40
6.5 Выбор реле.....	41
6.6 Выбор звукового сигнального устройства.....	43
6.7 Выбор автоматизированного рабочего места.....	43
7 Составления перечня входных и выходных сигналов.....	45
7.1 Составления перечня входных сигналов.....	45
7.2 Составления перечня выходных сигналов.....	46
8 Разработка принципиальной электрической схемы АСУ.....	46
9 Проектирование монтажной схемы АСУ.....	48
10 Разработка чертежа щитовой конструкции.....	49
11 Разработка фрагментов математического обеспечения.....	50
12 Разработка фрагментов SCADA-системы.....	52

13 Инструкция по эксплуатации экспериментального стенда.....	53
13.1 Включение экспериментального стенда.....	53
13.2 Отключение экспериментального стенда.....	54
14 Измерение температуры светодиодных излучателей при активном и смешанном охлаждении.....	55
15 Расчет параметров настройки регулятора.....	59
15.1 Идентификация объекта управления.....	59
15.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора.....	61
15.3 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в АСУ экспериментальным стендом по каналу задающего воздействия.....	65
Заключение.....	69
Список использованных источников.....	70
Приложение А Заказная спецификация.....	79
Приложение Б Моделирование процесса распределения температурного поля по светодиодному излучателю.....	80
Приложение В Концепция стартап-проекта.....	96
Приложение Г Designing an Automated Control System for LED Module.....	116

Введение

В выпускной квалифицированной работе исследуется влияние температуры на эксплуатационные характеристики светодиодного излучателя. Объектом исследования является светодиодный модуль.

Светодиод – это радиоэлектронный прибор, с электронно-дырочным переходом, выполненный на основе полупроводника (из легированного кремния или германия), принцип действия которого основан на односторонней проводимости с выделением светового излучения при пропускании через него электрического тока в прямом направлении [1].

В основании светодиода закрепляются катод и анод. Все устройство сверху герметично закрыто линзой. На катоде установлен кристалл. На контактах имеются проводники, которые подсоединены к кристаллу p-n-переходом (проволока для объединения двух проводников с различными типами проводимости). Для создания стабильной работы светодиода применяется теплоотвод, который необходим для предотвращения перегрева кристалла. Конструкция светодиода [2] приведена на рисунке 1.

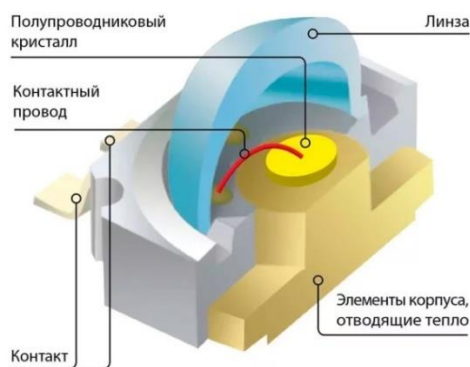


Рисунок 1 – Конструкция светодиода типа SMD

Светодиоды как источники света превосходят лампы накаливания и люминесцентные источники по экономии электроэнергии. Они потребляют в 10 раз меньше электроэнергии по сравнению с лампами накаливания [3]. Есть и другие преимущества: более высокая эффективность, большой срок службы (измеряется десятками тысяч часов), прочность, экологичность

(отсутствие ртути или свинца), компактные размеры и низкие рабочие напряжения. К недостаткам светодиодов можно отнести: перегрев полупроводникового кристалла светодиода и высокую стоимость. Классификация ламп по мощности [4] приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация ламп по мощности

Лампа накаливания, Вт	Люминесцентная лампа, Вт	Светодиодная лампа, Вт	Световой поток, Лм
20	5-7	2-3	250
40	10-13	4-5	400
60	15-16	6-10	700
75	18-20	10-12	900
100	25-30	12-15	1200
150	40-50	18-20	1800
200	60-80	25-30	2500

Чрезмерный перегрев кристалла светодиода приводит к его деградации, к падению величины светового потока и уменьшению срока службы лампы. Поэтому обеспечение нормальных температурных условий светодиодных осветительных приборов является актуальной задачей.

При проектировании осветительной системы на базе светодиодов нужно предусмотреть эффективную систему теплоотвода для поддержания температуры р-п перехода в пределах 60...70 °С на теплоотводящем основании и около 90 °С на кристалле для маломощных светодиодов и около 150 °С на кристалле для мощных светодиодов от 10 Вт [5].

Выбор системы охлаждения является важным этапом проектирования светодиодных систем. Существуют различные способы охлаждения светодиодов, например, теплоотвод на основе алюминиевого радиатора, ребристые и проволочные радиаторы, применение специальных теплопроводящих материалов (клеякие вещества, пасты, материалы для заполнения воздушных промежутков, изолирующие пластины). В таблице 2 приведена характеристика теплопроводящих материалов [6].

Таблица 2 – Характеристика теплопроводящих материалов

Теплопроводящий материал	Преимущества	Недостатки
Термопасты	Высокое значение объемной теплопроводности, маленькая величина клеевого слоя, низкая вязкость, не затвердевают	Считаются довольно грязными при производстве
Гели	Хорошо заполняют неровности поверхности	Более низкая теплопроводность по сравнению с термопастами, меньшее сцепление, чем у термоклеев
Термоклей	Хорошо заполняют неровности поверхности	Необходим процесс очистки

Перспективным способом охлаждения светодиодов является применение керамических радиаторов. Данные радиаторы обладают малым тепловым сопротивлением, высокой механической и диэлектрической прочностью, отличной адгезией к металлам. Так же, существуют жидкостные радиаторы. Охлаждение в этом случае осуществляется через корпус светодиода, либо через верхнюю поверхность светодиодного чипа за счет потока жидкости в камере между поверхностью чипа и куполообразной линзой.

При выборе радиатора, к нему предъявляются следующие требования: материал радиатора должен быть с высоким значением теплопроводности, площадь поверхности радиатора должна быть максимальной. В таблице 3 указана теплопроводность некоторых материалов [7].

Таблица 3 – Теплопроводность материалов

Материал	Теплопроводность Вт/(м*К)
Воздух	0,024
Алюминий	120...240
Керамика	100...200
Медь	401
Нержавеющая сталь	16
Термопасты	0,1...10
Вода	0,58

При выборе радиатора необходимо учитывать габаритные ограничения, стоимость, вес [8]:

- 1) на 1Вт рассеиваемого тепла требуется радиатор площадью 32...65 см²;

- 2) необходим материал с хорошей теплопроводностью;
- 3) необходимо использовать радиаторы с хорошим коэффициентом излучения.

В 2014 году учеными Киевского политехнического института была предложена новая конструкция мощного светодиодного осветительного прибора с высокоэффективной системой охлаждения на основе пульсационных тепловых труб [9], предназначенная для освещения жилых помещений.

Наибольшее распространение получили следующие технические решения, применяемые для отвода тепла от светодиодов. Печатные платы, обладающие хорошей теплопроводностью, в которых за слоем диэлектрика расположен слой алюминия или меди, выполняющий функцию радиатора.

Часто используются силиконовые теплопроводящие пасты компании Dow Corning [10], обладающие коэффициентом теплопроводности около 0,8...7 Вт/м·К. Диапазон рабочих температур составляет 45...200 °С. Повышения показателей теплоотведения можно добиться за счет применения теплопроводных подложек. Этот материал представляет собой застывший силиконовый гель, коэффициент теплопроводности таких подложек составляет 3,5 Вт/м·К.

По данным аналитической компании IMSRESEARCH, ведущими производителями светодиодов являются такие компании как: Nichia (Япония) 24 % рынка, OSRAM (Германия) 10,5 % рынка, Philips Lumileds Lighting (США) 6,5 % рынка, четвертое место делят компании Cree Lighting (США) и Seoul Semiconductor (Южная Корея). В России производством светодиодов занимаются следующие компании: ЗАО «Оптоган» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Интер РАО Светодиодные системы» (г. Санкт-Петербург), ОАО «НИИПП» (г. Томск) [11].

В настоящее время светодиоды нашли применение в самых различных областях: освещение помещений, светодиодные панели и индикаторы,

автомобильная светотехника, светосигнальные приборы (светофоры, информационные табло).

Разработанный экспериментальный стенд для исследования влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей можно применять в различных сферах (в образовании, в световой промышленности).

Потенциальными потребителями в образовании могут стать различные учебные заведения: школы, колледжи, университеты. Появятся лабораторные стенды и установки для проведения экспериментов над светодиодными излучателями, можно будет проследить, как изменяется температура светодиодов при использовании различных видов радиаторов, какой теплоотвод является наиболее эффективным и т.д.

Производители светодиодов выпускают свою продукцию для различных отраслей. В промышленности светодиодные излучатели применяются для освещения производственных помещений, цехов, оборудования. В автомобильной промышленности светодиоды используются в сигналах торможения и габаритных фонарях [12]. Светодиоды применяются также при производстве бытовой электроники (жидкокристаллические дисплеи, персональные компьютеры). В радиотехнике светодиоды используются в различных электронных схемах [13]. Поэтому для производителей светодиодов важно обеспечить эффективный теплоотвод.

Целью работы является исследование влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодного излучателя.

В ходе работы необходимо решить ряд задач:

- 1) произвести анализ объекта исследования;
- 2) сравнить эффективность различных способов теплоотвода для светодиодного модуля;
- 3) провести эксперимент с использованием теплоотводов из различных материалов;

4) разработать математическую модель распределения температуры по светодиодному излучателю;

5) разработать структуру АСУ;

6) выбрать технические средства автоматизированной системы управления экспериментальным стендом;

7) разработать схемы автоматизации (функциональную, принципиальную электрическую, монтажную и т.д.);

8) разработать SCADA-систему для мониторинга работы системы.

Для решения поставленных задач применялись навыки в области теплотехнических измерений, навыки проектирования систем автоматизации технологических процессов, навыки моделирования в программе Matlab, а также знания по электротехнике и электронике.

1 Анализ объекта исследования

Объектом исследования является светодиодный модуль, входящий в состав экспериментального стенда.

Светодиодный модуль представляет собой печатную плату диаметром 40 мм с расположенными на ней 14 светодиодами мощностью по 7 ВА [14]. Конструкция данного модуля представлена на рисунке 1.1.

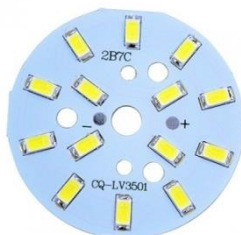


Рисунок 1.1– Конструкция светодиодного модуля

Технические характеристики светодиодного модуля представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1– Технические характеристики светодиодного модуля

Диаметр платы, мм	40
Рабочее напряжение, В	220
Рассеиваемая мощность, ВА	7
Угол свечения, град.	120
Световой поток, Лм	840
Тип светодиодов	SMD
Количество светодиодов, шт	14
Цвет свечения, К	Белый (4500)

2 Экспериментальная часть

Главной проблемой светодиодов является отвод тепла выделяемого LED-кристаллом. Большая его часть (более 90%) передается на его металлическую подложку за счет теплопроводности. Лишь 5 % тепла уходят в виде теплового излучения [15]. Для охлаждения светодиодного модуля использовались радиаторы: алюминиевый радиатор, медный радиатор. Для улучшения теплопередачи между радиатором и светодиодным модулем использовалась термопаста КПТ-8.

2.1 Выбор радиаторов для светодиодного модуля

Радиаторы для охлаждения светодиодов различаются по конструкции и материалу. При выборе материала для изготовления радиатора следует обратить внимание на следующее условия: теплопроводность его должна быть не менее 5...10 Вт. Материалы с меньшим параметром не смогут обеспечить передачу всего тепла, которое может принять воздух. А радиаторы с теплопроводностью выше 10 Вт не будут повышать его эффективность, а повлекут неоправданные финансовые затраты.

2.1.1 Алюминиевый радиатор

Коэффициент теплопроводности алюминия составляет около 202...236 Вт/м·К и зависит от чистоты сплава. Алюминий легко поддается разным видам механической обработки. Чтобы увеличить теплоотводящие свойства алюминиевого радиатора, его анодируют (покрывают в чёрный цвет).

Главным недостатком конструкции теплоотвода на основе алюминиевого радиатора является многослойность и массивность конструкции. Помимо радиатора, дополнительно используются специальные теплопроводящие материалы (изолирующие пластины, клейкие вещества, пасты, материалы для заполнения воздушных промежутков и др.).

Для проведения эксперимента использовался алюминиевый радиатор FK2010 представленный на рисунке 2.1.1.



Рисунок 2.1.1 – Конструкция алюминиевого радиатора

Технические характеристики алюминиевого радиатора FK2010 представлены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1 – Технические характеристики радиатора FK2010

Размеры (ДхШхВ), мм	45x45x24,5
Материал	алюминий
Тепловое сопротивление, К/Вт	7
Тип радиатора	ребристый

2.1.2 Медный радиатор

Медь обладает большей теплопроводностью, чем алюминий, поэтому в некоторых случаях ее использование для изготовления радиаторов оправдано. В целом же данный материал уступает алюминию в плане легкости конструкции и по ценовой категории.

Для проведения эксперимента использовалась медная пластина, представленная на рисунке 2.1.1.

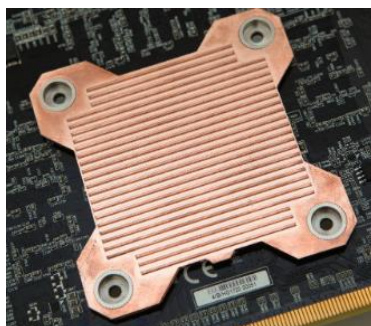


Рисунок 2.1.1 – Конструкция медной пластины

Технические характеристики медной пластины представлены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1 – Технические характеристики медной пластины

Размеры, мм	45x45
Материал	медь
Тепловое сопротивление, К/Вт	6,5

2.2 Расчет теплового сопротивления радиатора

Важную роль при подборе радиатора для светодиодных излучателей играет тепловое сопротивление радиатора. При помощи данного показателя можно определить какое количество теплоты радиатор способен эффективно рассеивать. На рисунке 2.2.1 представлена условная модель светодиода с радиатором.

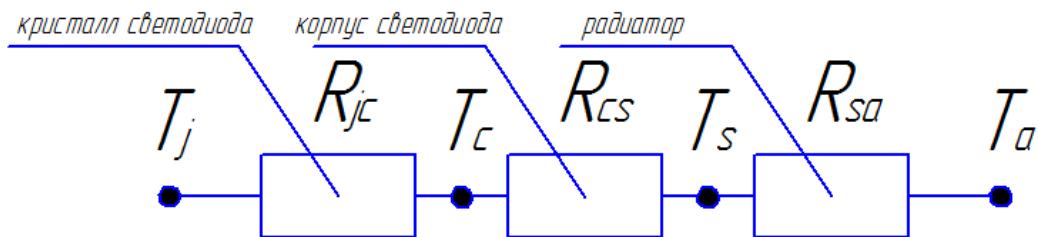


Рисунок 2.2.1 – Тепловая модель радиатора и светодиодного модуля:

T_j – температура кристалла светодиодного модуля; T_c – температура корпуса светодиодного модуля; T_s – температура радиатора; T_a – температура окружающей среды; R_{jc} – тепловое сопротивление кристалл-корпус; R_{cs} – тепловое сопротивление корпус-радиатор; R_{sa} – тепловое сопротивление радиатор-окружающая среда.

Суммарное максимальное сопротивление на участке кристалл-окружающая среда выражается следующим неравенством:

$$R_{ja} \leq \frac{T_j - T_a}{P_{nn}} = \frac{90 - 40}{7} = 7,14 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт},$$

где P_{nn} – мощность, рассеиваемая на кристалле светодиодного модуля, Вт.

Суммарное тепловое сопротивление от кристалла до радиатора определяется для рассматриваемого светодиодного модуля.

$$R_{jc} + R_{cs} = 0,7 + 0,24 = 0,94 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Минимальное тепловое сопротивление радиатора для рассматриваемого светодиодного модуля составляет:

$$R_{sa} = R_{ja} - R_{jc} - R_{cs} = 7,14 - 0,94 = 6,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Радиаторы использованные в работе имеют тепловое сопротивление выше $6,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, соответственно данные радиаторы являются эффективными теплоотводами для рассматриваемого светодиодного модуля.

2.3 Измерение температуры светодиодных излучателей при пассивном охлаждении

Для измерения температуры светодиодного излучателя и получения термограмм с различными радиаторами использовался тепловизор компании Testo [16] (рисунок 2.3.1).



Рисунок 2.3.1 – Внешний вид тепловизора типа Testo 885-2

Технические характеристики тепловизора Testo 885-2 представлены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1– Технические характеристики тепловизора типа Testo 885-2

Диапазон температур, °С	-30...+650
Погрешность измерений, °С	±2
Размеры приемника излучения, пиксель	320x240
Температурная чувствительность, мК	30

Перед проведением эксперимента были произведены настройки тепловизора. Задан коэффициент излучения 0,94. Так как линза светодиода пластиковая, а тепловизор измеряет только температуру поверхности, поэтому был выбран коэффициент излучения именно для пластика. Коэффициенты выбираются из базы данных Testo.

На первом этапе были получены термограммы распределения температур по светодиодному модулю без использования радиатора, фиксация данных проводилась каждые 10 с (рисунок 2.3.2).

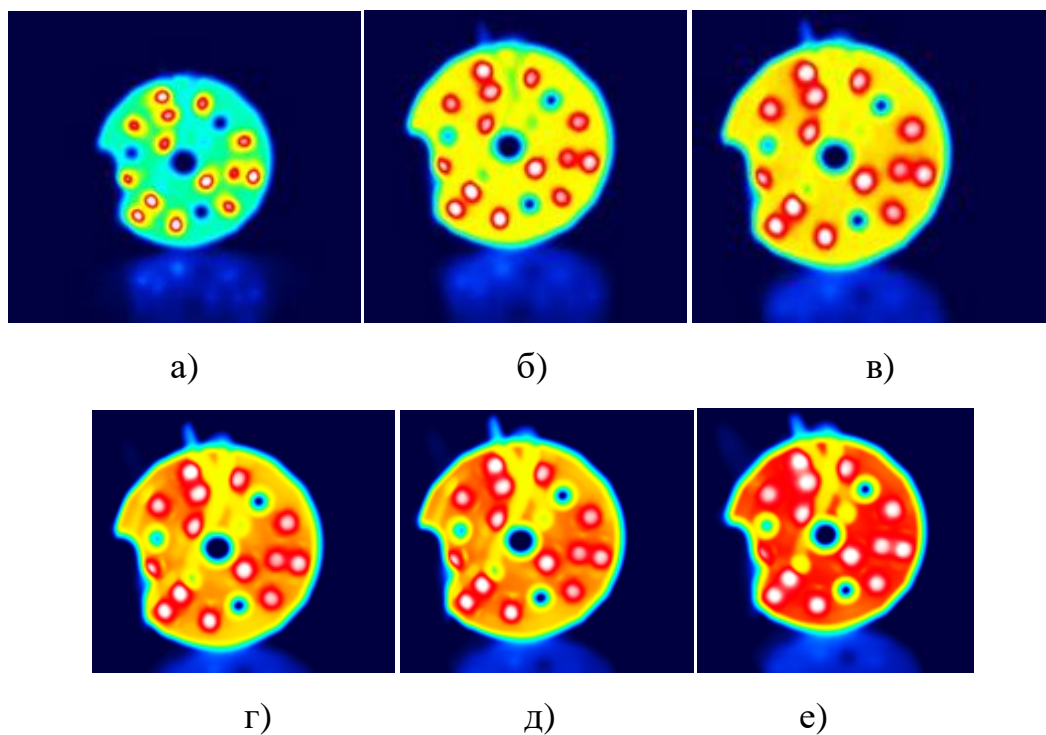


Рисунок 2.3.2 – Изображения термограмм распределения температуры по светодиодному модулю без использования радиатора через каждые 10 с

На рисунке 2.3.3 представлено расположение точек измерения температур кристаллов светодиодов.

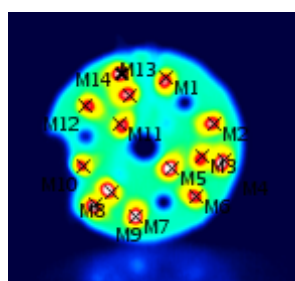


Рисунок 2.3.3 – Расположение точек измерения температур кристаллов светодиодов

Данные полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 2.3.2

Таблица 2.3.2 – Распределение температур кристаллов светодиодного модуля в течении 60 с

Время, с	Температура кристаллов светодиодного модуля в течении времени														
	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T ₁₁ °C	T ₁₂ °C	T ₁₃ °C	T ₁₄ °C	T _{ср} , °C
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
10	47,1	48,5	46,7	50,6	51,2	48,2	52	49,3	49,4	47,6	45,5	46,1	48,3	50,4	48,6

Продолжение таблицы 2.3.2

Время, с	Температура кристаллов светодиодного модуля в течении времени														
	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C	T ₁ °C
20	59,7	60,4	59,9	60,2	61,4	60,7	63,9	61,2	61,1	60,7	59,8	60,3	61,2	63,7	61
30	71,4	71,9	70,7	72,3	73,3	71,3	73,8	72,8	72,8	69,2	66,6	69,7	73,7	74,7	71,7
40	78,9	81,4	81,3	83,3	85	82,2	85,5	83,8	84	78,4	76,8	84,4	85,6	88	82,8
50	87,7	88,1	86,7	89,7	90,2	86,3	88,5	87,4	88	87,1	86,6	88,8	90,7	92,6	88,5
60	92,1	94,4	93,5	95,5	96,9	93,4	95,5	94,1	94,4	85,2	83,9	92,2	94,3	96,3	93

По таблице 2.3.2 видно, что без использования радиатора температура кристаллов светодиодного модуля превышает допустимое значение 90 °C на 60-ой секунде работы. При близком расположении светодиодов друг к другу температура кристаллов выше, чем при более разреженном расположении.

После охлаждения светодиодного модуля до температуры 26 °C проведены испытания с алюминиевым радиатором (рисунок 2.3.4).

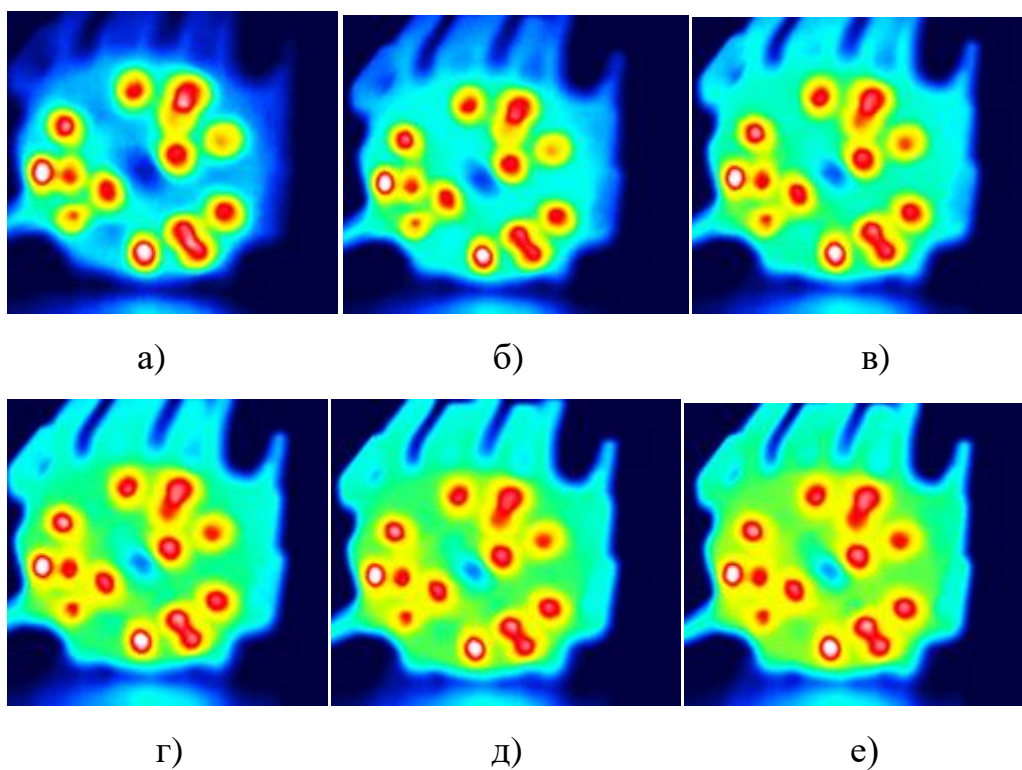


Рисунок 2.3.4 – Изображения термограмм распределения температуры по светодиодному модулю с алюминиевым радиатором через каждые 10 с

Данные полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 2.3.3.

Таблица 2.3.3 – Распределение температур кристаллов светодиодного модуля в течении 60 с

Время, с	Температура кристаллов светодиодного модуля в течении времени														
	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T ₁₁ °C	T ₁₂ °C	T ₁₃ °C	T ₁₄ °C	T _{ср} , °C
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
10	38,7	36,6	40,3	39,3	37,1	39,7	40,1	39,8	42,1	38,9	38	38,9	43	40,4	39,5
20	40,7	39,8	42,8	42,5	39,8	42,2	43	42,8	46	41,8	40,8	40,8	45,9	43,4	42,3
30	44,3	41,5	44,9	44,5	40,8	44,5	45,3	44,6	47,6	43,2	42,6	43,3	47,6	45,6	44,3
40	45,5	43,8	46,7	46,3	43,8	45,7	46,5	46,1	49,3	46	44,6	44,8	48,5	45,9	46
50	47,7	45	47,5	46,8	45,5	47,7	48,5	47,6	51,8	47,7	44,3	45,9	51,9	48,4	47,6
60	47,8	46,4	48,9	48,7	45,4	48,7	50	49,3	52,7	48,5	46	46,8	52,4	49,5	48,7

По таблице 2.3.3 видно, что температура кристаллов светодиодов не превышает предельного значения, средний прирост температуры через каждые 10 с, начиная с 10 с, составляет 1,84 °C. Радиатор располагался ребрами в сторону.

После остывания светодиодного модуля до температуры 26 °C, проводились испытания с тем же алюминиевым радиатором, только ребра радиатора располагались вниз (рисунок 2.3.5).

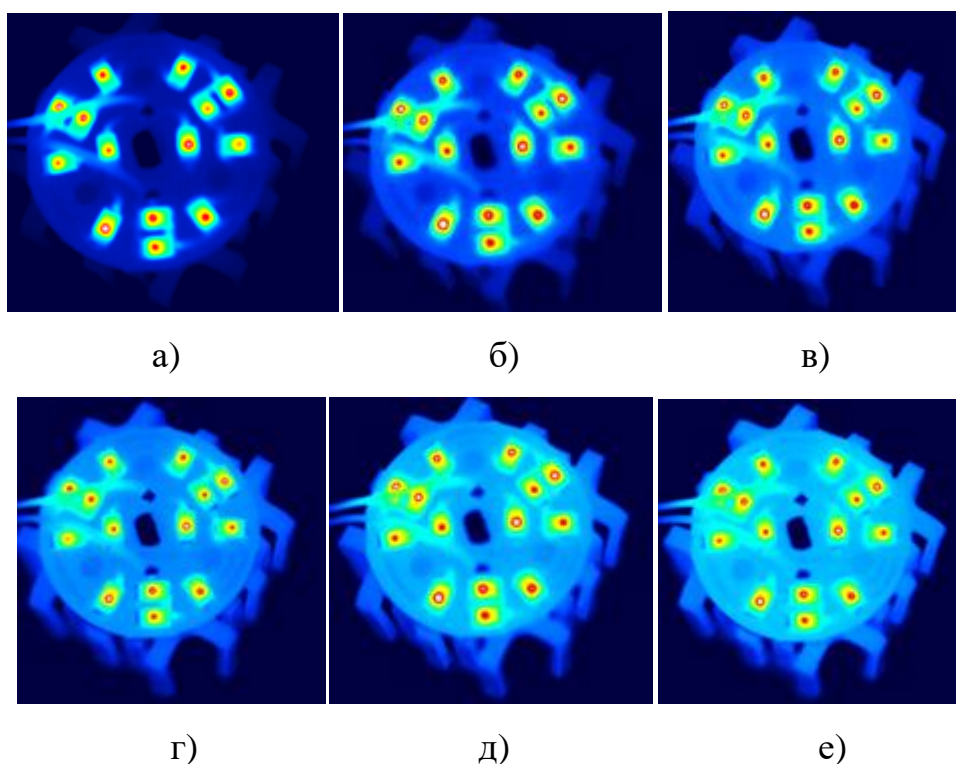


Рисунок 2.3.5 – Изображения термограмм распределения температуры по светодиодному модулю с алюминиевым радиатором через каждые 10 с

Данные полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 2.3.4.

Таблица 2.3.4 – Распределение температур кристаллов светодиодного модуля в течении 60 с

Время, с	Температура кристаллов светодиодного модуля в течении времени														
	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T ₁₁ °C	T ₁₂ °C	T ₁₃ °C	T ₁₄ °C	T _{ср} , °C
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
10	53,7	54,6	59,3	57,9	54,3	55,9	58,2	55,1	61,6	52,7	53,3	58,5	59,1	59,7	56,7
20	58,6	59,3	60,4	60,2	56,2	57	58,2	57,2	63,5	53,5	56,1	60,2	61,7	61,7	58,8
30	59,5	60,3	61,7	60,7	56,6	60,5	62	59,4	64,9	57,6	56,4	62,4	62,8	63	60,6
40	61,5	64,1	68,3	64,5	60,1	51,2	63,2	59,9	68	60,2	62,7	66,9	67,1	68,3	63,3
50	63,7	64,2	65,3	62,9	60	62,4	65,8	63,9	69,3	62,8	63	67,3	69,2	69,5	65
60	65,6	67,9	68,2	66,3	61,5	63,6	68,1	66,9	70,1	64,6	65,1	68,6	68,9	70,2	66,8

Исходя из результатов таблицы 2.3.4, температура кристаллов также не превышает предельного значения, но на 20 % выше температуры по таблице 2.3.3 при использовании того же радиатора. Это связано с другим положением радиатора. Если расположить радиатор на боковую грань ребрами в сторону, то площадь теплоотводящей поверхности увеличивается, при расположении радиатора ребрами вниз площадь теплоотводящей поверхности уменьшается.

Далее проводились испытания с использованием медной пластины (рисунок 2.3.6).

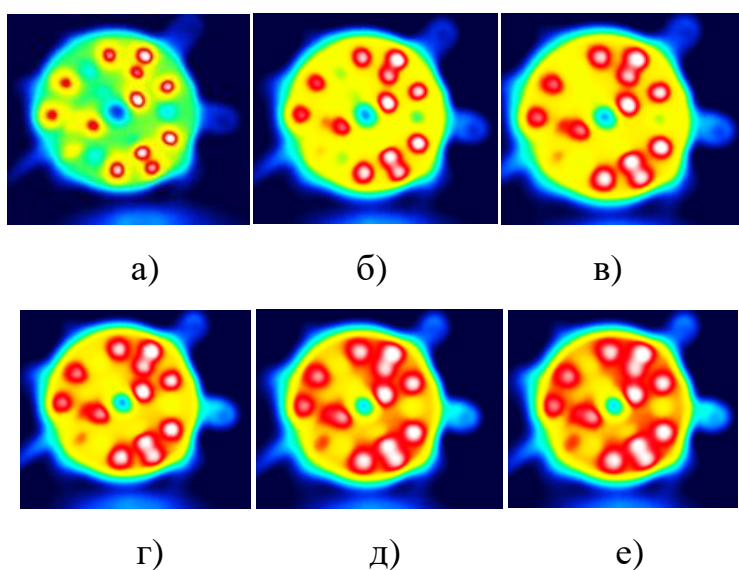


Рисунок 2.3.6 – Изображения термограмм распределения температуры по светодиодному модулю с медной пластиной через каждые 10 с

Данные полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 2.3.5.

Таблица 2.3.5 – Распределение температур кристаллов светодиодного модуля в течении 60 с

Время, с	Температура кристаллов светодиодного модуля в течении времени														
	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T ₁₁ °C	T ₁₂ °C	T ₁₃ °C	T ₁₄ °C	T _{ср} , °C
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
10	50,3	48,1	53	52	51,3	52,4	50,6	50,5	50,8	46,2	47	42,1	48	48	49,3
20	53,2	52,3	55,3	55,1	53,6	55,2	54,6	53,8	54,1	48,4	51,8	47,6	50,5	51,5	52,6
30	55,2	54,9	57,6	57,4	56,2	57,1	56,8	56,2	56,5	49,2	52	49,9	53	53	54,6
40	57,9	56	60,6	60,5	59,9	60,2	59,9	59,5	60,1	56,6	58,8	53,7	56,5	57,1	58,4
50	60,7	60,4	62,8	62,2	61,2	62,5	62,3	60,8	61,2	58,9	59,6	55,8	58,4	58,7	60,4
60	63,1	62,7	65,5	65	62,7	64,2	64,1	63,1	63,4	59,7	60,3	58,4	60,7	60,8	62,4

При использовании медной пластины температура кристаллов светодиодов не превысила 90 °C, при этом, медная пластина уступает по показателям алюминиевому радиатору, это связано с наличием ребер у алюминиевого радиатора. В полезную площадь теплоотведения входит площадь самой пластины и сумма площадей ребер, причем каждое ребро имеет 2 теплоотводящие поверхности.

На рисунке 2.3.7 представлена зависимость средних температур кристаллов светодиодов от времени.

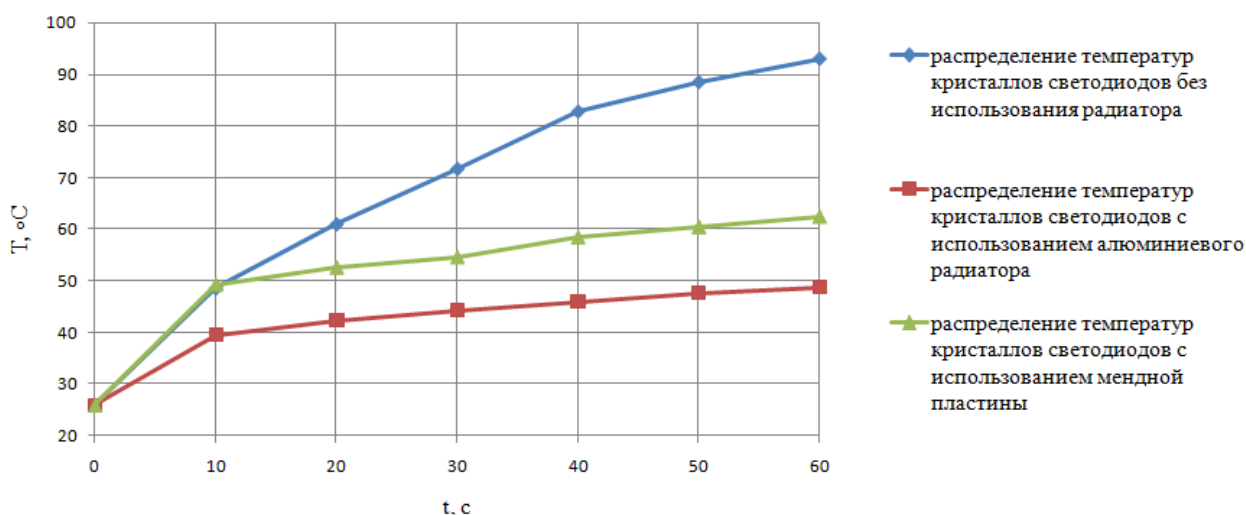


Рисунок 2.3.7 – Зависимость температуры кристаллов светодиодов от времени

По рисунку 2.3.7 можно сделать вывод, что без использования теплоотводов температура кристаллов светодиодов превышает предельное значение $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, что может привести к падению величины светового потока и снижению срока службы светодиодов. Наиболее эффективным теплоотводом в рассматриваемом проекте является алюминиевый радиатор, средняя температура кристаллов за время 60 с составляет $48,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, при использовании медной пластины температура кристаллов составляет $62,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3 Математическое моделирование процесса распределения температурного поля по светодиодному излучателю

Для определения теплофизических свойств светодиода было осуществлено математическое моделирование в программе Matlab. За основу была взята двумерная задача теплопроводности для многослойного тела. В качестве объекта моделирования рассматривался светодиодный излучатель, геометрия области решения представлена на рисунке 3.1.

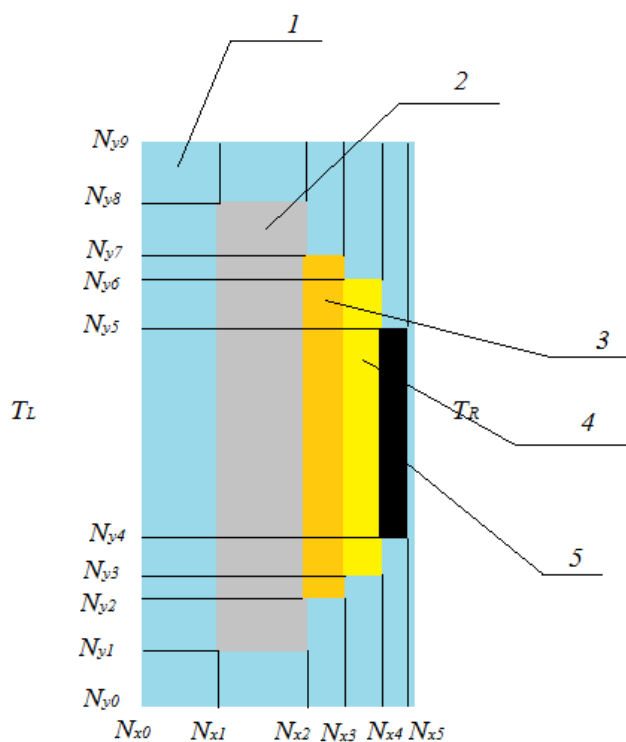


Рисунок 3.1 – Геометрия области решения:
 1 – воздух, 2 – алюминий, 3 – стеклотекстолит, 4 – эпоксидная смола,
 5 – карбид кремния, T_L – температура для левого граничного условия,
 T_R – температура для правого граничного условия

Вся область решения разбивается на сетку по оси x и по оси y . Для решения дифференциальных уравнений использовался метод конечных разностей. Математическая постановка задачи будет иметь вид, так как для решения задачи используются граничные условия 1 и 4 рода:

$$0 < x < L, \quad 0 < y < H;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right), \quad | \quad 0 < x < N_{x1}, \quad 0 < y < H; \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right), \quad | \quad N_{x1} < x < N_{x2}, \quad N_{y1} < y < N_{y8}; \\ \rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right), \quad | \quad N_{x2} < x < N_{x3}, \quad N_{y2} < y < N_{y7}; \\ \rho_4 c_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \lambda_4 \left(\frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2} \right), \quad | \quad N_{x3} < x < N_{x4}, \quad N_{y3} < y < N_{y6}; \\ \rho_5 c_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} = \lambda_5 \left(\frac{\partial^2 T_5}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_5}{\partial y^2} \right), \quad | \quad N_{x4} < x < L, \quad N_{y4} < y < N_{y5}. \end{array} \right.$$

Здесь ρ – плотность материала, c – удельная теплоемкость материала, λ – коэффициент теплопроводности материала, T – температура моделируемого объекта, t – время, H – высота моделируемого объекта по оси y , L – длина моделируемого объекта по оси x , N – координаты сетки, на которые разбивается область решения.

Геометрические условия определяют форму и размеры объекта. физические условия определяют теплофизические характеристики объекта (λ , ρ , c). Временные условия характеризуют распределение температуры по объекту в течение времени.

Начальные и граничные условия запишутся следующим образом:

$$t = 0: \quad T = T_0, \quad 0 \leq x \leq L, \quad 0 \leq y \leq H;$$

$$x = 0: \quad T = T_L, \quad t > 0;$$

$$x = L: \quad T = T_R, \quad t > 0;$$

$$y = 0: \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad t > 0;$$

$$y = H: \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad t > 0.$$

Граничные условия 1 рода используются на границах $x=0$, $x=L$ и $y=0$, $y=N$. Граничные условия 4 рода используются в точке контакта нескольких материалов.

Алгоритм решения задачи был взят из пособия [17].

Предполагалось, что модель включает области с отличающимися теплофизическими характеристиками [18] (таблица 3.1). На вертикальных границах области решения поддерживается температура $T_L=299$ К, $T_R=363$ К. Горизонтальные границы являются адиабатическими. Начальная температура области решения 299 К.

Таблица 3.1 –Теплофизические свойства материалов

Материал	λ , Вт/м·К	c , Дж/кг·К	ρ , кг/м ³
воздух	2,62	1005	1,185
алюминий	237	904	2733
медь	402	385	8950
стеклотекстолит	0,37	960	1700
эпоксидная смола	0,6	1100	1400
карбид кремния	84	800	2330

Основные допущения, используемые при постановке задачи:

- 1) теплофизические характеристики материалов не зависят от температуры;
- 2) тепловой контакт на границах между областями (1,2,3,4,5) считается идеальным.

Характерный вид температурного поля модели объекта (светодиодного излучателя) с использованием алюминиевого радиатора при температуре окружающей среды $T=26$ °С в момент времени $t=60$ с представлен на рисунке 3.2.

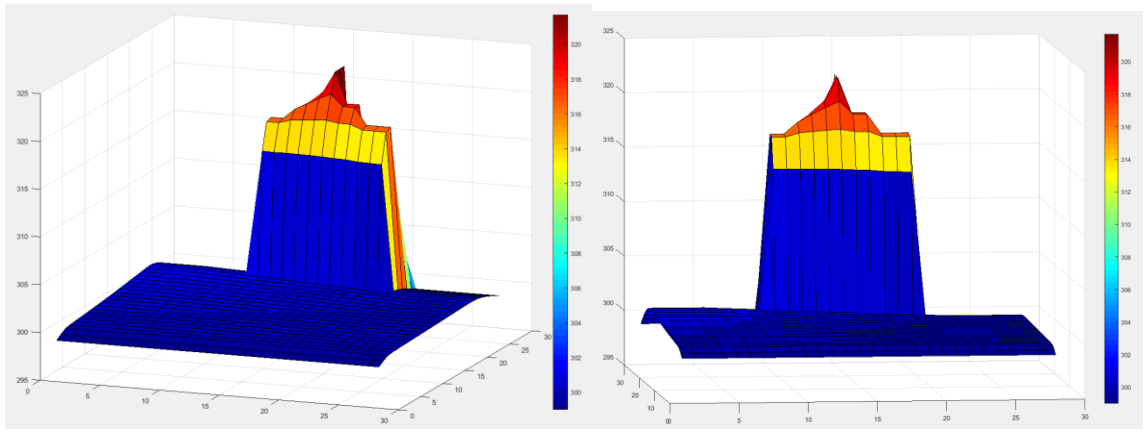


Рисунок 3.2 – Изображение модели распределения температурного поля по светодиодному излучателю с использованием алюминиевого радиатора

На рисунке 3.3 представлены результаты моделирования и опытных измерений с использованием алюминиевого радиатора в течение 60 с.

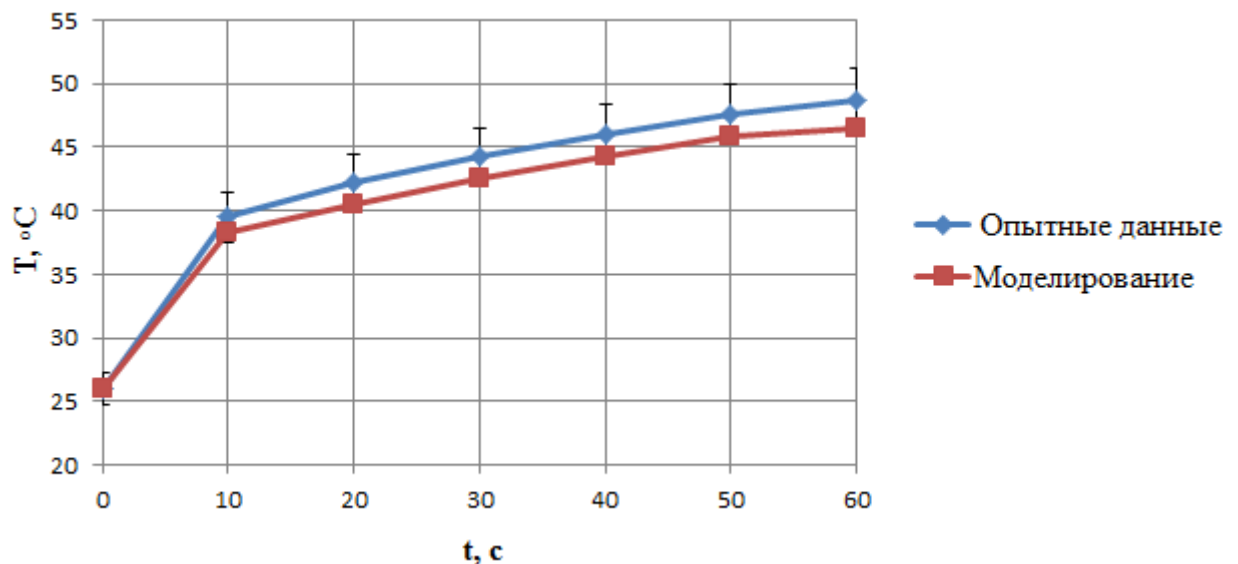


Рисунок 3.3 – Результаты моделирования и опытных измерений с использованием алюминиевого радиатора

По рисунку видно, что при моделировании теплового процесса температура кристалла ниже температуры опытных измерений, это связано с тем, что, моделируя процесс, принимаются идеальные условия.

Моделирование процесса распределения температурного поля по светодиодному излучателю в программе Matlab представлено в приложении Б.

4 Формулирование технических требований к АСУ. Разработка структуры АСУ

Автоматизация технологических процессов является важным фактором повышения эффективности и безопасности технологических процессов. Высокая экономическая эффективность, технологическая целесообразность и эксплуатационная необходимость повлияли на широкое распространение автоматизации в промышленности, в технике связи, на транспорте и различных сферах обслуживания [19]. Основные ее преимущества: более эффективное использование ресурсов – энергии, сырья, оборудования, рабочей силы и капиталовложений [20]. Так же повышается качество и обеспечивается однородность выпускаемой продукции, повышается надёжность установок и сооружений [21].

Для обеспечения автоматизации технологического процесса АСУ экспериментальным стендом по определению теплофизических свойств светодиодных излучателей должна выполнять следующие управляющие функции:

- 1) автоматическое управление оборудованием (включение/выключение вентилятора с целью обеспечения необходимой температуры светодиодного модуля);
- 2) дистанционное управление исполнительным механизмом.

Выбранная АСУ должна выполнять следующие информационные функции:

- 1) сбор и обработка информации о состоянии технологического процесса;
- 2) представление на экране компьютера мнемосхемы с указанием значений измеряемых параметров;
- 3) отображение на экране компьютера отклонений температуры от заданных значений с аварийной звуковой сигнализацией;

4) фиксация в архиве данных ПЛК сигналов о неисправностях и значениях температуры при срабатывании аварийных защит для возможности анализа.

Должны выполняться следующие функции контроля:

- 1) непрерывный контроль температуры и ее отклонений от заданных предельных значений;
- 2) автоматический контроль исправности всех каналов измерения, сигнализации и управления разработанной АСУ.

К вспомогательным функциям относится ручной ввод (изменение уставок значения температуры).

В таблице 4.1 представлен перечень контролируемых параметров [22].

Таблица 4.1– Перечень контролируемых параметров

Наименование параметра	Способ и место представления информации											Примечания
	По месту	Микропроцессорная техника										
		На БЩУ						На других щитах				
		Индикация	Индикация	Архивация	Сигнализация			Расчет ТЭП	Индикация	Сигнализация		
	+				-	Гр.	+			-	Гр.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Светодиодный модуль												
Температура светодиодов		+	+	+								

Структурная схема АСУ приведена на рисунке 3.1 [23].

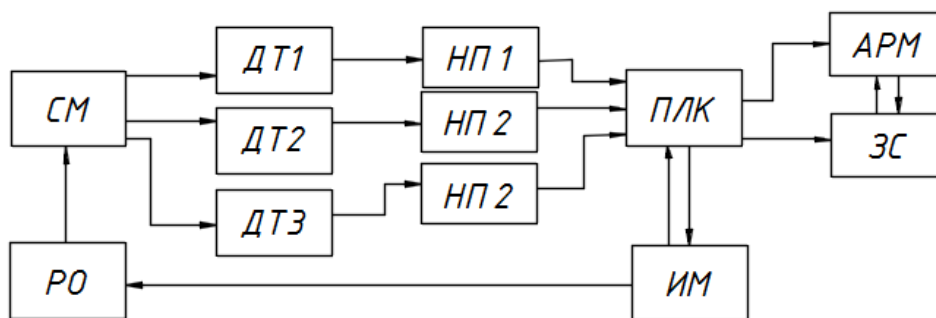


Рисунок 4.1 – Структурная схема АСУ экспериментальным стендом

В таблице 4.2 представлены условные обозначения элементов структурной схемы.

Таблица 4.2 – Условные обозначения элементов структурной схемы АСУ экспериментальным стендом [24]

Условное обозначение	Название элемента
	Направление передачи сигнала
	Светодиодный модуль
	Датчик температуры
	Нормирующий преобразователь
	Программируемый логический контроллер
	Звуковая сигнализация
	Исполнительный механизм (реле)
	Регулирующий орган (вентилятор)
	Автоматизированное рабочее место

ОУ – в качестве объекта управления выступает светодиодный модуль.

ДТ – в качестве измерительного преобразователя используются датчики температуры. Датчики температуры расположены по периметру светодиодного модуля для измерения температуры светодиодов. В качестве датчиков температуры выступают термопары (3 шт.).

НП – нормирующие преобразователи используются для преобразования сигнала с датчиков температуры в выходной токовый сигнал 4...20 мА.

ПЛК – в качестве регулирующего устройства выступает программируемый логический контроллер. Сигнал от датчика температуры поступает на ПЛК, где происходит сравнение этого сигнала с уставкой и происходит выработка управляющего сигнала, который идет на реле.

ЗС – звуковое сигнальное устройство используется для сигнализации о том, что температура светодиодных элементов достигла выше 90 °С.

ИМ – в качестве исполнительного механизма используется реле. Реле необходимо для управления включением/отключением вентилятора.

РО – в качестве регулирующего органа используется вентилятор. Служит для охлаждения светодиодов.

АРМ – автоматизированное рабочее место служит для визуализации и взаимодействия системы с человеком (диспетчером или оператором). На персональном компьютере отображается мнемосхема объекта, со всеми текущими, измеренными параметрами и оператор ведёт технологический процесс, имея всю нужную информацию на экране монитора [25].

К разработанной АСУ экспериментальным стендом приводятся следующие технические требования [26]:

1) разработанная АСУ должна выполняться как единый программно-технический комплекс, выполняющий функции сбора и обработки информации, регистрации, управления, сигнализации;

2) АСУ должна иметь иерархическую структуру. Верхний и средний уровни должны быть выполнены на базе микропроцессорной и компьютерной техники. Нижний уровень должен обеспечивать связь системы с технологическим оборудованием, обеспечивая измерение значений технологических параметров и выдачу управляющих воздействий;

3) система должна предусматривать возможность наращивания и модернизации.

К объекту автоматизации приводятся следующие технические требования:

- 1) подключение системы осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В;
- 2) температура светодиодов не должна превышать 90 °С;
- 3) отклонение температуры светодиодов не должно превышать $\pm 2^\circ\text{C}$.

5 Разработка функциональной схемы АСУ

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, регулирования и управления технологическим процессом и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов решаются следующие задачи:

- 1) получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- 2) контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования;
- 3) воздействие на технологический процесс для управления им [27].

На основании выбранной структурной схемы АСУ составляется перечень регулируемых параметров технологического процесса. Основным контролируемым параметром является температура светодиодных излучателей.

Процесс проектирования функциональной схемы системы завершается составлением чертежа, который включает в себя:

- 1) технологическую схему объекта автоматизации;
- 2) первичные и другие средства автоматизации;
- 3) линии связи между техническими средствами автоматизации;
- 4) щит автоматизации;
- 5) основную надпись [28].

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403-80 в виде упрощенных контуров, которые позволяют показать взаимосвязь отдельных частей технологической цепи и принцип её действия, а также взаимодействие с датчиками и другими техническими средствами системы автоматизации.

Функциональная схема АСУ экспериментального стенда представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.002 С2.

Техническим средствам автоматизации, изображенным на функциональной схеме, присвоены позиционные обозначения.

В нижней части чертежа функциональной схемы автоматизации условно изображены контроллер, расположенный на щите автоматизации и АРМ, расположенный в диспетчерской.

Импульсы от датчиков температуры 1а, которые расположены на светодиодном модуле и измеряют температуру светодиодов, поступают на нормирующий преобразователь 1б, имеющий выходной сигнал 4...20 мА. Этот сигнал поступает на ПЛК, где происходит его сравнение с уставкой и выработка управляющего сигнала, который идет на электромагнитное реле 2а, которое в свою очередь воздействует на подсистему электропитания вентилятора, за счет которого происходит движение лопастей и нагнетание холодного воздуха вентилятора.

6 Выбор технических средств АСУ. Оформление заказной спецификации

6.1 Выбор программируемого логического контроллера

Программируемый логический контроллер предназначен для получения информации в реальном времени с датчиков, преобразования ее и обмена с компьютером оператора, а также для управления исполнительными механизмами [29]. Для реализации таких функций может подойти программируемый логический контроллер ОВЕН-150-220 фирмы «ОВЕН». Внешний вид данного программируемого логического контроллера представлен на рисунке 6.1.1 [30].



Рисунок 6.1.1 – Внешний вид ПЛК Овен 150-220

Выбор контроллера ОВЕН-150-220 обусловлен его компактностью, простотой монтажа, предназначен для малых систем автоматизации. У программируемого логического контроллера есть возможность архивирования данных, обрабатывает как дискретные, так и аналоговые сигналы. Сравнительная характеристика программируемых логических контроллеров приведена в таблице 6.1.1 [30, 31, 32].

Таблица 6.1.1 – Сравнительная характеристика контроллеров

Наименование	ОВЕН-150-220	Omron CJ1M	Simatic S7-200
Температурный диапазон, °С	-20..70	0..55	0..55
Количество входов / выходов	10 / 6	10 / 6	8 / 6
Скорость выполнения команд, мкс	0,25	0,1	0,22
Встроенные порты	Ethernet 100 Base-T RS-232 RS-485	RS 232 C	RS 485
Среда программирования	CODESYS 2.3.8.1	CX-One	Step 7
Цена, рублей	17346	19 500	14 000

6.2 Выбор датчика температуры

Датчики температуры расположены по периметру светодиодного модуля для измерения температуры светодиодов. В качестве датчиков температуры используются термопары ТП 301 (рисунок 6.2.1) [33].



Рисунок 6.2.1 – Внешний вид термопары ТП301-0,5/1000-ТХА (К)

Сравнительная характеристика термопар приведена в таблице 6.2.1 [33, 34].

Таблица 6.2.1 – Сравнительная характеристика термопар

Наименование	Термопара ТП301-0,5/1000-ТХА (К)	Термопара Тип К (NiCr-Ni)
Диаметр термоэлектродов, мм	0,5	1
Длина, м	1 м	2м
Тип термопары	ХА (К)	NiCr-Ni (К)
Показатель тепловой инерции, с	20	80
Диапазон рабочих температур, °С	-40..+1200	-220..+1150
Цена, рублей	627	3 009

Выбор термопары ТП301-0,5/1000-ТХА (К) обусловлен небольшим диаметром термоэлектродов, что позволяет измерять температуру в труднодоступных местах, термопара имеет экранированный термокомпенсационный провод ПТФФЭ-200 2*0,5 мм² (диапазон рабочих температур кабеля -40..+200°С), степень защиты IP54. Также данная термопара имеет более низкий показатель тепловой инерции и низкую стоимость по сравнению с термопарой тип К (NiCr-Ni).

6.3 Выбор нормирующего преобразователя

В качестве нормирующего преобразователя используется преобразователь НПТ-1 фирмы Овен (рисунок 6.3.1). Такие преобразователи применяются для преобразования входных сигналов с датчиков в выходной

унифицированный токовый сигнал. Данный преобразователь имеет выходной сигнал 0...20 мА и 4...20 мА [35].



Рисунок 6.3.1 – Внешний вид нормирующего преобразователя НПТ-1

Сравнительная характеристика нормирующих преобразователей приведена в таблице 6.3.1 [35, 36].

Таблица 6.3.1 – Сравнительная характеристика нормирующих преобразователей

Модель нормирующего преобразователя	НПТ-1 фирмы "Овен"	НПСИ-ТП фирмы "КонтрАвт"
Напряжение питания, В	24 В (DC)	85...265 В (AC), 10...36 В (DC)
Выходной ток, мА	0...20 мА, 4...20 мА	0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА
Интерфейс связи с ПК	USB2.0 Full Speed	-
Работа с термодатчиками	ТС 50 (100) М, 100 П, Pt 100, ТП ХА (К), ХК (L)	U, ХА(К), ХК(L), НН(N), ЖК(J), ПП(S), ПП(R), ПР(B), МК(T), ХКн(E), ВР(A-1), ВР(A-2), ВР(A-3), РС-20
Предел основной допускаемой погрешности	0,1 %	0,1 %
Цена, рублей	3 363	5 723

Выбор нормирующего преобразователя фирмы Овен обусловлен приемлемой ценой, наличием интерфейса для связи с ПК.

Данный нормирующий преобразователь используется в комплекте с блоком питания БП02Б-Д1-24 фирмы Овен (рисунок 6.3.2) [37].



Рисунок 6.3.2 – Внешний вид блока питания БП02Б-Д1-24

Характеристика блока питания приведена в таблице 5.3.2 [37].

Таблица 6.3.2 – Характеристика блока питания

Модель блока питания	БП02Б-Д1-24 фирмы "Овен"
Входное напряжение, В	90...264 В
Номинальное выходное напряжение, В	24 В
Максимальная погрешность выходного напряжения, %	$\pm 3 \%$
Степень защиты корпуса	IP20
Цена, рублей	1121

6.4 Выбор регулирующего органа

Для охлаждения светодиодов использовался нагнетатель воздуха осевой вентилятор корпусной фирмы "Gostime" (рисунок 6.4.1). Размеры вентилятора – 60х60 мм, а толщина – 25 мм. В конструкции вентилятора имеется 5 лопастей, которые вращаются с максимальной скоростью 2400 оборотов в минуту. Работает этот вентилятор практически бесшумно, звук соответствует 27 дБ. Разгоняет воздушный поток, максимальная скорость которого приравнивается к 19,6...25 CFM. Устройство подключается с помощью разъема 3 pin и комплектуется крепежной фурнитурой [38].



Рисунок 6.4.1 – Внешний вид вентилятора

Характеристика вентиляторов представлена в таблице 6.4.1 [38, 39].

Таблица 6.4.1 – Сравнительная характеристика вентиляторов

Наименование	Осевой вентилятор "Gostime"	VENT-6025.220VAC.7PSHB
Размеры, мм	60x60	60 x 60
Количество лопастей	5	7
Скорость вращения, об/мин	2400	2300
Уровень шума, дБ	27	30
Тип разъема питания, pin	3	2
Рабочее напряжение, В	220	220
Цена, руб.	600	649

Выбор вентилятора "Gostime" обусловлен большей скоростью вращения, меньшим уровнем шума и более приемлемой ценой по сравнению с вентилятором фирмы Овен.

6.5 Выбор реле

Электромагнитное реле – это устройство предназначенное для замыкания и размыкания различных участков электрических цепей при заданных изменениях входных величин [40]. В данной работе электромагнитное реле необходимо для замыкания или размыкания цепи питания исполнительного механизма в зависимости от наличия или

отсутствия управляющего сигнала от программируемого логического контроллера.

При выборе электромагнитного реле необходимо учесть основные характеристики: величину управляющего и коммутируемого тока.

Для реализации поставленных задач подходит электромагнитное реле РЭК 77/3 (таблица 6.5.1) [41].

Таблица 6.5.1 – Характеристика реле РЭК 77/3

Наименование	РЭК 77/3
Напряжение управляющих контактов	24 В (VDC постоянное напряжение)
Напряжение коммутируемых контактов	230 В (VAC переменное напряжение)
Номинальный ток контактов	10 А
Сопротивление контактов	50 мОм
Тип присоединяемого разъема	PPM 77/3

Данное реле имеет в комплекте присоединяемый разъем PPM 77/3 для возможности крепления на DIN рейку (рисунок 6.5.1) [41].



Рисунок 6.5.1 – Внешний вид реле РЭК 77/3 с разъемом для крепления

В таблице 6.5.2 представлена сравнительная характеристика реле [41, 42].

Таблица 6.5.2 – Сравнительная характеристика реле

Позиция	Реле РЭК 77/3	Реле Т78
Напряжение управляющих контактов	24 VDC	24 VDC
Напряжение коммутируемых контактов	230 VAC	220 VAC
Диапазон температур	-40..50 °С	-40..70 °С
Возможность крепления на DIN рейку	есть	нет
Цена, руб	301	36

По данным таблицы видно, что выгоднее использовать реле Т78, так как оно вполне удовлетворяет необходимым характеристикам и ниже по цене, но это реле необходимо самостоятельно крепить на печатную плату, пять дорожки на плате, такое реле не безопасно, поэтому выбрано реле РЭК 77/3.

6.6 Выбор звукового сигнального устройства

Для оповещения оператора о превышении допустимой температуры светодиодных излучателей используется звуковое сигнальное устройство Маяк-220-3М1 (рисунок 6.6.1) [43].



Рисунок 6.6.1 – Внешний вид звукового сигнального устройства
Маяк-220-3М1

Сравнительная характеристика звуковой сигнализации представлена в таблице 6.6.1 [43, 44].

Таблица 6.6.1– Сравнительная характеристика звуковой сигнализации

Позиция	Маяк-220-3М1	ЗС-47 ИЕК MZD10-230
Номинальное рабочее напряжение	220 V AC	230 V AC
Громкость звука	105 дБ	60 дБ
Цена, руб	154	237

Выбор сигнализации Маяк-220-3М1 обусловлен более высокой громкостью звука и сравнительно низкой стоимостью.

6.7 Выбор автоматизированного рабочего места

Автоматизированное рабочее место – это совокупность программно-технических средств, обеспечивающих обработку данных и автоматизацию

функций управления. При этом предполагается, что операции по хранению и обработке информации возлагаются на вычислительную технику, а специалист выполняет часть ручных операций [45].

Верхний уровень АСУ ТП обеспечивает широкие возможности визуализации и взаимодействия системы с человеком (диспетчером или оператором). На персональном компьютере отображается мнемосхема объекта, со всеми текущими, измеренными параметрами и оператор ведёт технологический процесс, имея всю нужную информацию на экране монитора.

Для обмена информацией между контроллером и автоматизированным рабочим местом используется промышленный сетевой стандарт Ethernet. Данный стандарт использует блок протоколов TCP/IP (протокол контроля передачи / протокол Internet) [46].

Для организации передачи данных по этой сети необходимо использовать линии связи, которые осуществляют коммуникацию на физическом уровне при помощи интерфейса RS-235 или RS-485.

В таблице 6.7.1 приведены характеристики персональных компьютеров, между которыми производится выбор [47, 48, 49].

Таблица 6.7.1 – Характеристики персональных компьютеров

Наименование	HP 15-rb020ur	Lenovo IdeaPad 120S-14IAP	Acer Extensa EX2519-C33F
Производитель процессора	AMD	Intel	Intel
Количество ядер процессора	2	2	2
Частота процессора	1,5 ГГц	1,1 ГГц	1,6 ГГц
Объем жесткого диска	500 ГБ	500 ГБ	500 ГБ
Цена	15 999	16 499	18 499

Выбор персонального компьютера HP обусловлен более низкой ценой, хотя этот ноутбук не имеет лучшие характеристики, для реализации поставленных задач этого и не требуется.

Внешний вид персонального компьютера представлен на рисунке 6.7.1 [47].



Рисунок 6.7.1 – Внешний вид персонального компьютера HP 15-rb020ur

На основании выбранных технических средств автоматизации составлена заказная спецификация приборов и средств автоматизации, представленная на листе ФЮРА.421000.002 С01.

7 Составления перечня входных и выходных сигналов

7.1 Составление перечня входных сигналов

В состав информационного обеспечения АСУ ТП входит описание входных сигналов. В состав описания входных сигналов входит [50]:

1) перечень входных аналоговых сигналов, включающих: наименование измеряемой величины, тип датчика/прибора, диапазон измерений, вид сигнала;

2) перечень входных дискретных сигналов, включающих: наименование;

3) перечень сигналов типа «да-нет» о наличии или отсутствии некоторого события с указанием источника формирования.

В таблице 7.1 представлен перечень входных сигналов.

Таблица 7.1 – Перечень входных сигналов

Наименование технологического параметра	№ позиции	Тип датчика, прибора	Диапазон измерений	Значения сигналов	Вид сигнала
Вентилятор включен	A2	Реле РЭК 77/3	-	230 В	DI
Вентилятор выключен	A2	Реле РЭК77/3	-	230 В	DI

7.2 Составление перечня выходных сигналов

В состав информационного обеспечения АСУ ТП входит описание выходных сигналов.

В состав выходных сигналов входит: перечень выходных сигналов с указанием их наименований и описание.

В таблице 7.2 представлен перечень выходных сигналов.

Таблица 7.2 – Перечень выходных сигналов

Наименование оборудования	№ позиции	Вид сигнала
На вентилятор	A2	220 В
На звуковое сигнальное устройство	A1	220 В
На блок питания БП02Б-Д1-24	A5	24 В
Температура	B1	естественный

8 Разработка принципиальной электрической схемы АСУ

На принципиальной электрической схеме указывают полный состав аппаратов, приборов, устройств (также связей между ними), взаимодействие которых, обеспечивает решение задач по регулированию, управлению, защите, измерению и сигнализации [51]. Принципиальные электрические схемы являются основными чертежами для разработки монтажных чертежей и проведения пусконаладочных работ. Названия принципиальным электрическим схемам присваиваются в соответствии с функциональными принципами действия проектируемой системы [52]. Эти схемы служат для изучения принципа действия системы, они необходимы также при проведении наладочных работ и в эксплуатации.

Принципиальная электрическая схема АСУ экспериментальным стендом по определению теплофизических свойств светодиодных излучателей приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.002 ЭЗ.

При выполнении схемы используются развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа. Принципиальная электрическая схема выполняется с применением условных графических изображений.

Получение информации о значении регулируемого параметра технологического процесса осуществляется с помощью измерительных датчиков температуры В1.

С выходов датчиков В1 (клеммы 1, 2) сигнал поступает на нормирующий преобразователь А5 (ХТ 1, клеммы 7, 8, 12). Нормирующий преобразователь А5 (ХТ 2, клеммы 4, 6) получает питание 24 В от блока питания А6 (ХТ 1, клеммы "+", "-"), который, в свою очередь, питается от напряжения 220 В источника питания А7 (ХТ 1, клеммы 3, 4). Далее, преобразованный сигнал от нормирующего преобразователя А5(ХТ 2, клемма 4) и блока питания А6 (ХТ 1, клемма "-") поступает на ПЛК А1(ХТ 1, клеммы 25, 26).

Контроллер А1 (ХТ 1, клеммы 13, 14) получает питание от сети переменного напряжения 220 В от источника питания А7 (ХТ 1, клеммы 1, 2).

Контроллер, обрабатывающий данные о протекании технологического процесса и вырабатывающий управляющие воздействия в соответствии с запрограммированным алгоритмом управления, передаёт управляющий сигнал (ХТ 2, клеммы 15, 16) на звуковую сигнализацию А4(клеммы 1, 2) и на электромагнитное реле А2 (ХТ 1, клеммы 1, 2), которое, в свою очередь, замыкает цепь питания (ХТ 2, клеммы 1, 2) вентилятора А3 (клеммы 1, 3). Вентилятор (клеммы 1, 3) получает питание от сети переменного напряжения 220 В от источника питания А7 (ХТ 1, клеммы 5, 6).

9 Проектирование монтажной схемы АСУ

Монтажные схемы проектируют для реализации принципиальной электрической и других видов коммутации технических средств, при монтаже систем автоматизации [53].

На чертеже монтажной схемы изображаются очертания развернутых схем в одной плоскости внутренних стенок щита с упрощенными изображениями элементов системы автоматизации [54].

Монтажная схема проектируется с целью создания монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электрических проводов, коммутаций токоведущих жил и труб к техническим средствам автоматизации.

Монтажная схема приведена на листе формата А3 с шифром ФЮРА.421000.002 С4 и содержит изображения следующих технических элементов:

- 1) первичные преобразователи, расположенные вне щита;
- 2) нормирующие преобразователи, расположенные на щите преобразователей;
- 3) внешние электрические провода;
- 4) щит приборов и преобразователей;
- 5) таблица с поясняющими надписями;
- 6) блок питания, расположенный на щите преобразователей;
- 7) ПЛК расположенный на щите приборов.

На верхней левой части чертежа размещена таблица с поясняющими надписями.

Средства автоматизации (ПЛК, преобразователи, и т.д.) с электрическими входами и выходами изображены монтажными символами. Внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним жил проводов или кабелей, причем изображены только использующиеся клеммы. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа вблизи клемм.

Односекционный щит преобразователей и щит приборов изображены в виде прямоугольников в нижнем левом углу и в верхнем правом углу чертежа соответственно. На свободном поле прямоугольников нанесены наименования щитов.

Первичные преобразователи, щит приборов и щит преобразователей соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с помощью электрических проводов.

Выбраны провода типа ПВС 3×1,5, по которым осуществляется питание от сети 220 В, провод термоэлектродный с изоляцией и оболочкой из фторопласта экранированный ПТФФЭ-200-2*0,5 мм², данный провод имеют термопары, остальные провода имеют маркировку ПВС 1×1,0. Провод ПВС используется для присоединения электрических приборов, он является самым распространенным типом провода на производстве [55]. Технические характеристики проводов представлены в таблице 8.1 [55, 56, 57].

Таблица 8.1 – Технические характеристики проводов

Марка	Количество жил	Сечение жил, мм ²	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм
ПВС	3	1,5	0,7	0,9
ПВС	1	1	0,6	0,8
ПТФФЭ	2	0,5	0,3	0,3

10 Разработка чертежа щитовой конструкции

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств управления и контроля технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, аппаратуры управления, сигнальных устройств, автоматического регулирования и защиты, блокировки, линии связи между ними (электрическая коммутация) [58].

Щиты устанавливаются в производственных и специальных щитовых помещениях: диспетчерских, операторских, аппаратных и т.д.

Целью данного этапа является составление чертежа общего вида щитовой конструкции АСУ.

Для защиты от прикосновения к токоведущим частям и монтажа средств автоматизации в операторском помещении используется щит с монтажной панелью типа ЩМП. Технические характеристики щита представлены в таблице 9.1 [59].

Таблица 9.1 – Технические характеристики щита ЩМП

Серия	Высота, мм	Ширина, мм	Глубина, мм	Способ монтажа	Степень защиты
ЩМП-4-0	800	650	250	Навесной	IP31

Щит предназначен для размещения электроаппаратуры распределения, управления и сигнализации, приборов учета. Аппаратура устанавливается в щитке на монтажной панели. Конструкция щитка представляет собой металлический сварной корпус навесного исполнения. Степень защиты IP31 означает, что щит защищает от попадания частиц размером 2,5 мм и от вертикально падающих капель.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.002 ВО.

11 Разработка фрагментов математического обеспечения

Математическое обеспечение АСУ ТП – это совокупность математических моделей, методов, алгоритмов решения различных задач, используемая на этапе проектирования и в процессе эксплуатации АСУ ТП [60].

В данной работе представлен алгоритм управления вентилятором для подачи холодного воздуха на светодиодный модуль. Схема алгоритма управления включением вентилятора представлена на рисунке 11.1 [60].

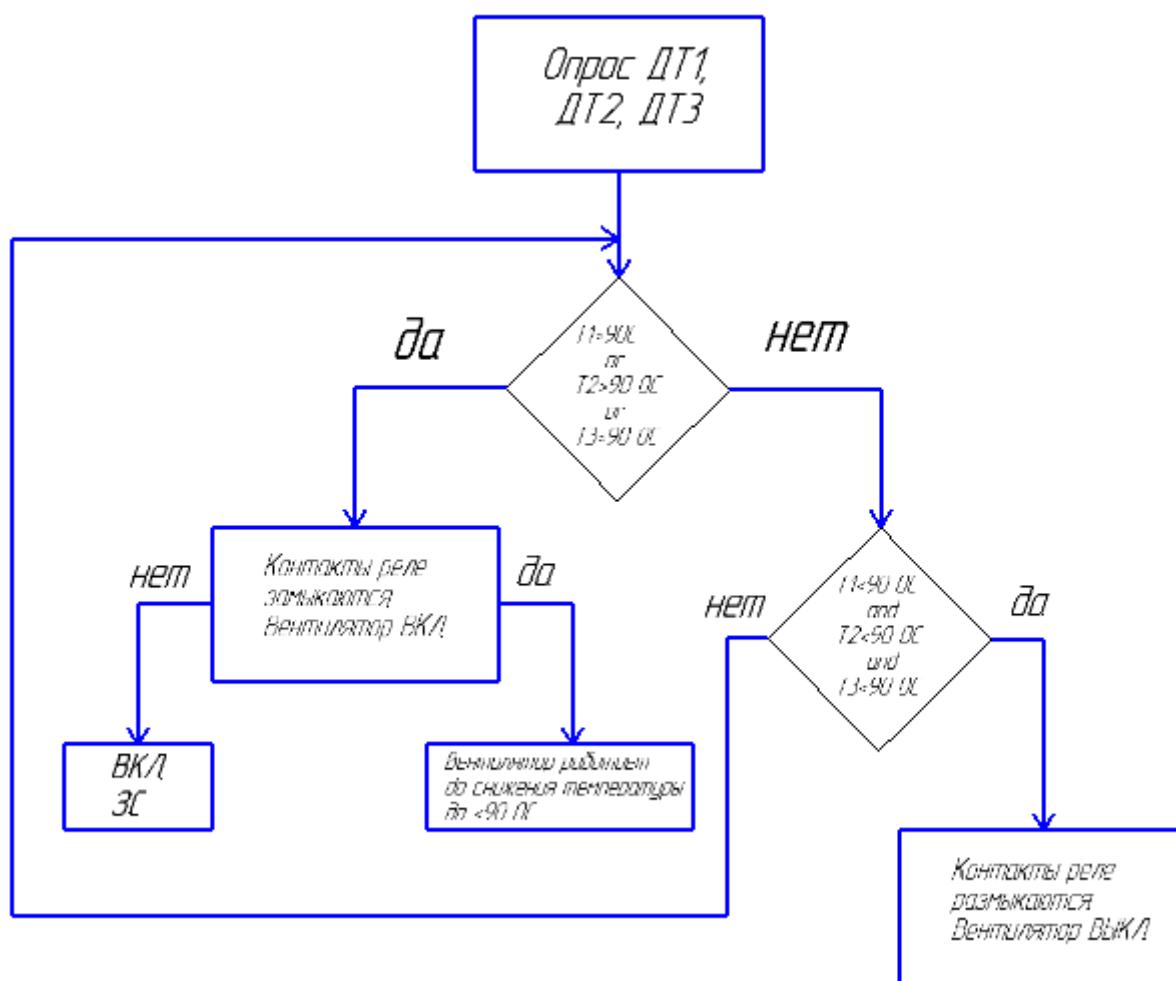


Рисунок 11.1 – Схема алгоритма управления включением вентилятора для подачи холодного воздуха на светодиодный модуль:

ДТ1, ДТ2, ДТ3 – датчики температуры; ЗС – звуковая сигнализация

Алгоритм реализуется следующим образом: сначала происходит опрос датчиков температуры контроллером. Если температура хотя бы одного датчика будет превышать значение уставки 90 °С, тогда сигнал идет на реле, контакты реле замыкаются, и включается вентилятор. Если вентилятор не включился, то срабатывает звуковая сигнализация. Если температура всех датчиков температуры ниже значения уставки, тогда контакты реле размыкаются, и вентилятор выключается. Далее цикл возвращается к опросу датчиков.

12 Разработка фрагментов SCADA-системы

В работе используется программируемый логический контроллер "Овен ПЛК-150-220". Программирование данного контроллера осуществляется в программном обеспечении CoDeSys. Данная программа имеет следующие достоинства [61]:

- 1) визуализация технического процесса;
- 2) численные и алфавитно-цифровые поля ввода / вывода;
- 3) динамическая графика;
- 4) кнопки и выключатели для обслуживания процесса;
- 5) статическое отображение текста и графики, векторная графика;
- 6) архивное хранение в файлах CSV или ODBC базах данных;
- 7) редактируемые поля для значений процесса;
- 8) управляемая по времени или буферизованная выдача сообщений;
- 9) онлайн-оценка архивов по графикам кривых;
- 10) простота использования.

Окно редактора CoDeSys показано на рисунке 12.1 [61].

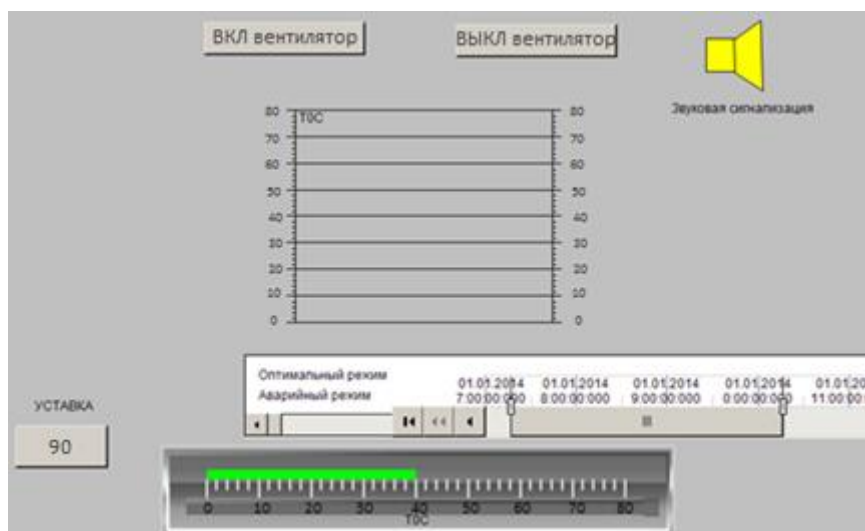


Рисунок 12.1 – Окно редактора CoDeSys

В мнемосхеме представлены следующие элементы:

- 1) кнопки включение и выключение вентилятора;
- 2) шкала для определения температуры светодиодного модуля;

- 3) тренд для фиксирования температурных показаний;
- 4) окно алармов используется в качестве сообщений о текущем состоянии процесса;
- 5) окно задания значения уставки светодиодного модуля.

Мнемосхема работает следующим образом: при включении вентилятора контакты реле замыкаются, и в SCADA – системе индикатор кнопки «ВКЛ вентилятор» становится зеленым. В окне алармов будут появляться сообщения об изменении температуры и включении / выключении вентилятора. Тренд будет отображать, как изменяется температура в течение времени. При достижении значения уставки 90 °С контакты реле размыкаются, и индикатор кнопки «ВЫКЛ вентилятор» становится красного цвета. Если значение температуры превышает значение уставки значок "Звуковая сигнализация" становится красным и срабатывает сигнализация.

13 Инструкция по эксплуатации экспериментального стенда

13.1 Включение экспериментального стенда

Включение экспериментального стенда осуществляется в определённой последовательности. Если стенд длительное время не использовался, то для подготовки к работе необходимо:

- 1) подключить программируемый логический контроллер, блок питания и вентилятор при помощи шнуров питания к сетевому фильтру;
- 2) подключить шнур питания сетевого фильтра к розетке (источнику переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В);
- 3) перевести кнопку сетевого фильтра в положение «ВКЛ».

Вышеперечисленные действия должны привести стенд в состояние, позволяющее приступить к его эксплуатации.

Проблемы включения стенда и способы их устранения приведены в таблице 13.1.1.

Таблица 13.1.1 – Проблемы включения стенда и способы их устранения

Проблемные ситуации	Способы устранения неполадки
Не загорается лампочка в сетевом фильтре	необходимо проверить, есть ли напряжение в сети и исправен ли сетевой фильтр
Не включается контроллер	необходимо проверить включен ли сетевой шнур контроллера в розетку, имеется ли напряжение в сети, проверить надёжность соединения разъёмов контроллера
Не включается вентилятор	необходимо проверить включен ли вентилятор в розетку, имеется ли напряжение в сети
Не включается датчик температуры	необходимо проверить правильность его подключения к нормирующему преобразователю и к блоку питания

13.2 Отключение экспериментального стенда

Отключение экспериментального стенда предусматривает два случая, это кратковременное выключение и выключение на длительное время. Если планируется кратковременное выключение необходимо:

- 1) закрыть все приложения и программы, работающие в Windows;
- 2) через меню «Пуск» завершить работу Windows;
- 3) перевести кнопку сетевого фильтра в положение «ВЫКЛ.

Если экспериментальный стенд не планируется эксплуатировать в течение длительного времени, то порядок отключения следующий:

- 1) закрыть все приложения и программы, работающие в Windows;
- 2) через меню «Пуск» завершить работу Windows;
- 3) перевести кнопку сетевого фильтра в положение «ВЫКЛ.»;
- 4) отсоединить шнуры блока питания, шнур программируемого логического контроллера и шнур фена от сетевого фильтра;
- 6) отсоединить от розетки шнур питания сетевого фильтра.

14 Измерение температуры светодиодных излучателей при активном и смешанном охлаждении

Для активного охлаждения светодиодов использовались два типа вентиляторов: осевой вентилятор "Gostime", технические характеристики которого приведены в таблице 6.4.1 и вентилятор "Sapphire". Технические характеристики вентилятора "Sapphire" приведены в таблице 14.1 [62].

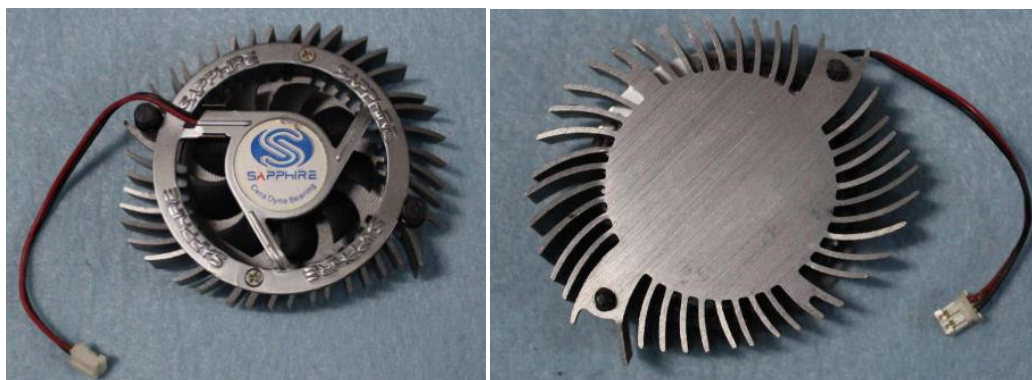


Рисунок 14.1 – Внешний вид вентилятора с радиатором "Sapphire"

Технические характеристики данного вентилятора приведены в таблице 14.1 [62].

Таблица 14.1 – Технические характеристики вентилятора "Sapphire"

Наименование	Осевой вентилятор " Sapphire "
Размеры (ДхШхВ), мм	40x40x15
Количество лопастей	9
Скорость вращения, об/мин	5000
Уровень шума, дБ	27
Тип разъема питания, pin	3
Рабочее напряжение, В	12
Корпус	Алюминий

Сначала проводились испытания с использованием вентилятора "Gostime". Полученные термограммы приведены на рисунке 14.2

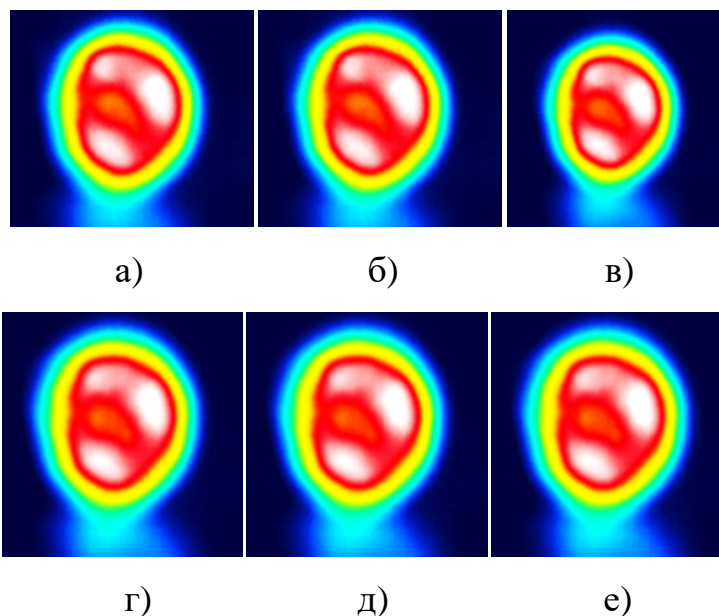


Рисунок 14.2 – Изображения термограмм распределения температуры по светодиодному модулю с вентилятором "Gostime" через каждые 10 с

На рисунке 14.3 представлено расположение точек измерения температур кристаллов светодиодов.

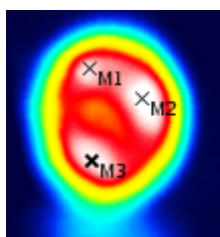


Рисунок 14.3 – Расположение точек измерения температур кристаллов светодиодов

Данные полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 14.2.

Таблица 14.2 – Распределение температур кристаллов светодиодного модуля

Время, с	Температура кристаллов светодиодного модуля в течении времени			
	T ₁ , °C	T ₂ , °C	T ₃ , °C	T _{ср} , °C
0	26	26	26	26
10	31,7	32,6	32,3	30,2
20	33,2	35,3	34,7	34,4
30	37,9	39,1	38,3	38,4
40	41,8	43	42,5	42,4
50	44,2	45,9	45,1	45,1
60	46,3	48,4	47,9	47,5

Далее при температуре 26 °С проводились испытания с вентилятором совмещенным с радиатором "Sapphire", данный вентилятор крепился на поверхность светодиодного модуля. Для улучшения теплопередачи между вентилятором и светодиодным модулем использовалась термопаста КПТ-8. Полученные термограммы приведены на рисунке 14.4

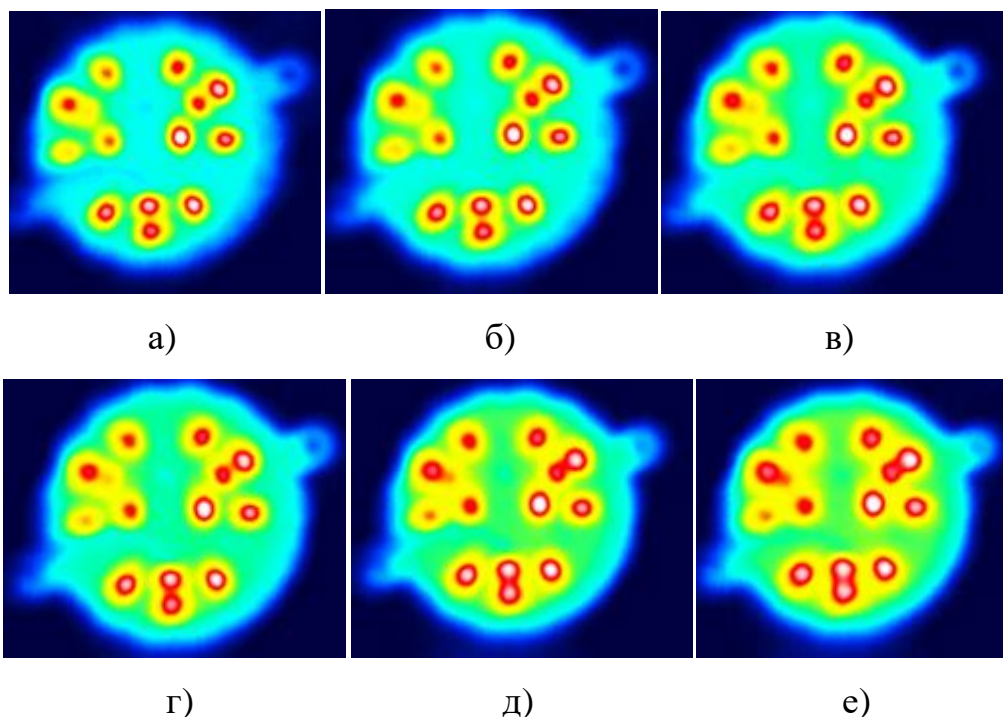


Рисунок 14.4 – Изображения термограмм распределения температуры по светодиодному модулю с вентилятором "Sapphire" через каждые 10 с

На рисунке 14.5 представлено расположение точек измерения температур кристаллов светодиодов.

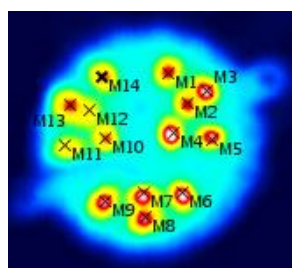


Рисунок 14.5 – Расположение точек измерения температур кристаллов светодиодов

Данные полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 14.3.

Таблица 14.3 – Распределение температур кристаллов светодиодного модуля

Время, с	Температура кристаллов светодиодного модуля в течении времени														
	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T ₁₁ °C	T ₁₂ °C	T ₁₃ °C	T ₁₄ °C	T _{ср} , °C
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
10	35,8	35,5	38,3	38,6	38,2	41,9	40,8	39,6	40,7	37,4	35,5	34,2	39,9	38,8	38,2
20	40,8	40,6	43,5	44,7	42,9	43,8	43,4	42,9	43	40,6	38,7	38,1	41,3	40,1	41,7
30	42	41,9	43,5	45,7	43,4	44,6	43,6	43,4	43,7	40,6	38,9	38,3	41,6	40,6	42,3
40	42	42	44,1	45,8	43,8	45,3	44,4	44,3	43,9	41,7	39,6	39,6	42,7	41,2	42,9
50	42,2	42,1	44,1	45,9	44,2	45,7	44,7	44,5	44,1	42,6	40,7	40,9	43	42,9	43,4
60	42,9	42,4	45,1	46,2	44,9	45,8	45,1	44,7	44,3	42,5	41,1	41,4	44,4	43,7	43,7

По таблице 14.3 видно, что при использовании вентилятора совмещенного с радиатором "Sapphire" температура кристаллов светодиодом ниже, чем при использовании вентилятора и пассивных способов теплоотвода (радиатор алюминиевый, медная пластина). На рисунке 14.6 представлена зависимость температуры кристаллов светодиодов от времени при использовании вентиляторов двух типов.

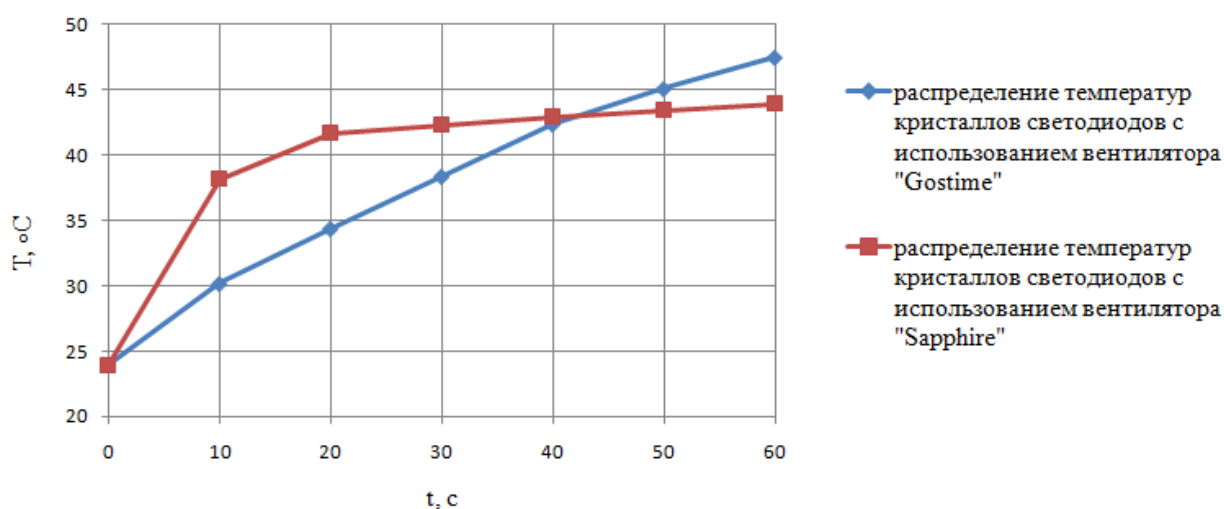


Рисунок 14.6 – Зависимость температуры кристаллов светодиодов от времени при использовании активного охлаждения

По рисунку 14.6 можно сделать вывод, что при использовании активного охлаждения температура кристаллов светодиодов не превышает предельное значение 90 °C. Наиболее эффективным теплоотводом в рассматриваемом проекте является вентилятор "Sapphire", средняя температура кристаллов за время 60 с составляет 43,7 °C, при использовании вентилятора "Gostime" температура кристаллов составляет 47,5 °C.

15 Расчет параметров настройки регулятора

15.1 Идентификация объекта управления

Задачей идентификации является представление объекта управления в виде математической модели [63].

Идентификация состоит в нахождении адекватной для объекта модели. Различают структурную и параметрическую идентификацию. Структурная идентификация определяет форму модели из некоторого заданного класса функций, а параметрическая идентификация определяет параметры модели.

Широкое распространение получил метод идентификации объектов путем определения переходной характеристики $h(t)$ по экспериментально полученной реакции объекта при ступенчатом изменении управляющего воздействия на входе.

Полученная модель основана на экспериментальных данных (таблица 15.1.1). В качестве экспериментальных данных взята температура нагревания светодиодов без использования теплоотводов.

Таблица 15.1.1 – Экспериментальные данные

Время, с	Температура, °С
0	26
10	39,7
20	52,3
30	68,9
40	79,8
50	90,1
60	98,5
70	100,1
80	100,3
90	100,3

Кривая разгона представлена на рисунке 15.1.1.

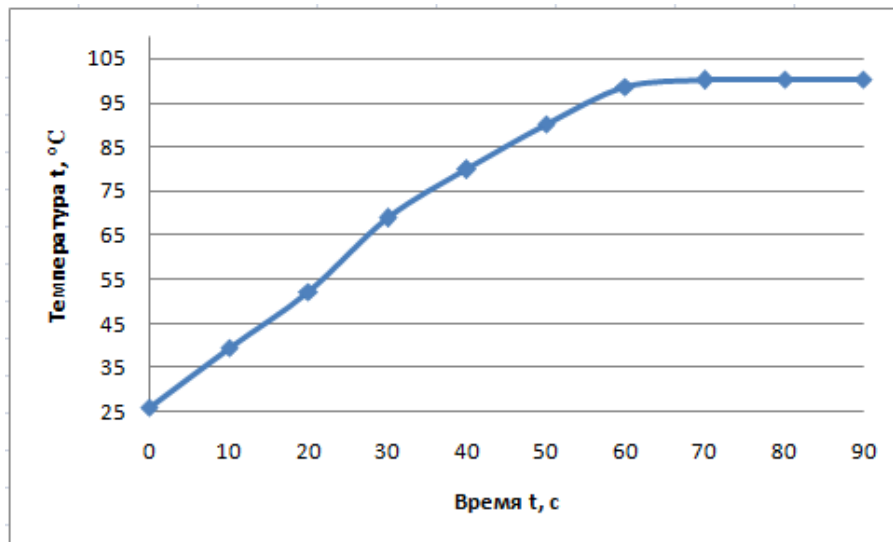


Рисунок 15.1.1 – Кривая разгона для объекта управления

Далее необходимо определить динамические параметры объекта управления: постоянная времени T ; запаздывание объекта τ , коэффициент передачи объекта K .

Для кривой разгона передаточная функция представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (15.1.1)$$

где k – коэффициент передачи объекта;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения 15.1.1 представлено формулой 15.1.2.

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (15.1.2)$$

Имеется два неизвестных значения: время запаздывания τ и постоянная времени T . На кривой разгона определяются две точки A и B . Точка A определяется как $0,33 \cdot k$, а точка B определяется как $0,7 \cdot k$ (по методу Ормана). Время запаздывания τ и постоянная времени T определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (15.1.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1-h_A) - t_A \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}, \quad (15.1.4)$$

где t_A и t_B – значения времени на оси абсцисс для точек А и Б на кривой;
 h_A и h_B – значения температуры на оси ординат для точек А и Б на кривой.

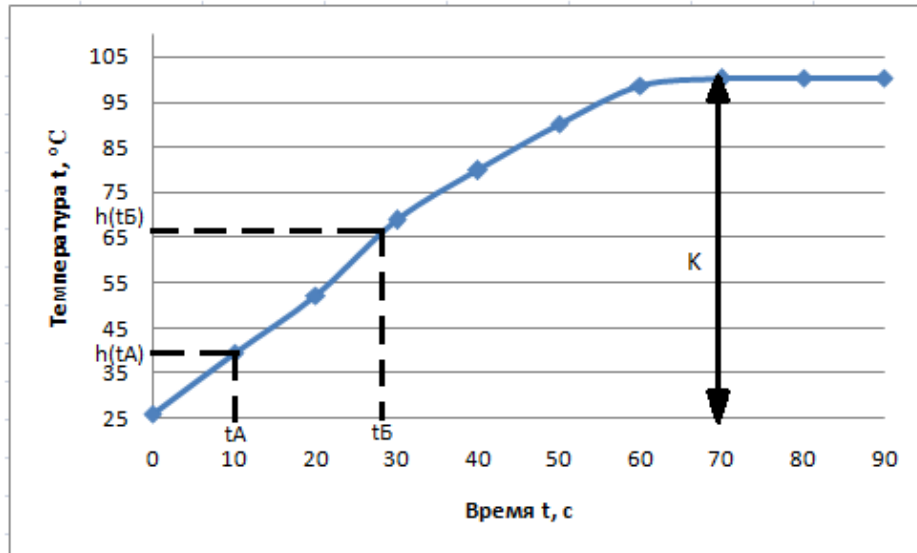


Рисунок 8.1.2 – Определение точек А и Б на кривой разгона

Постоянная времени T_n и время запаздывания τ вычисляются по формулам:

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (15.1.5)$$

$$T = 1,25(t_B - t_A). \quad (15.1.6)$$

Определяем значения t_A и t_B по кривой разгона и получаем:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 10 - 28) = 1 \text{ с},$$

$$T = 1,25(28 - 10) = 22,5 \text{ с}.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{74,3}{(22,5P+1)} e^{-P}. \quad (15.1.7)$$

15.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора

В процессе работы система управления сравнивает текущее значение измеряемого параметра со значением уставки и устраняет рассогласование. Внешние воздействия также устраняются устройством управления (регулятором).

Общая структурная схема системы управления представлена на рисунке 15.2.1.

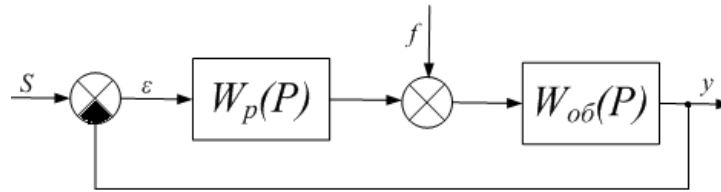


Рисунок 15.2.1– Общая структурная схема системы управления
 S – задающее воздействие; ε – рассогласование; $W_p(P)$ – регулятор;
 f – внешнее воздействие; $W_{об}(P)$ – объект управления; y – выходной сигнал

Требуемая степень затухания принята $\psi = 0,9$. Значение степени колебательности m определяется по формуле:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,9) = 0,366. \quad (15.2.1)$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{74,3}{(22,5P+1)} e^{-P}. \quad (15.2.2)$$

Следующим шагом необходимо определить расширенные частотные характеристики объекта управления (таблица 15.2.1). Расширенные частотные характеристики звена можно получить подстановкой в передаточную функцию этого звена оператора $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ или $p = -\eta + i \cdot \omega$ в выражениях для оператора Лапласа, где ω – частота, c^{-1} .

Используя программу Mathcad, предварительно задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ c}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0.0005 \text{ c}^{-1}$, рассчитываются расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 0,01 \text{ c}^{-1}$.

Таблица 15.2.1 – Расширенные частотные характеристики объекта управления

Частота $\omega, \text{ c}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0	74,3	0	74,3
0,0005	74,7	-0,882	74,7
0,001	75,1	-1,783	75,1
0,0015	75,5	-2,702	75,5
0,002	75,8	-3,639	75,9
0,0025	76,2	-4,594	76,3

Продолжение таблицы 15.2.1

Частота ω , с^{-1}	$\text{Re}_{об}(m,\omega)$	$\text{Im}_{об}(m,\omega)$	$A_{об}(m,\omega)$
0,003	76,5	-5,566	76,7
0,0035	76,8	-6,554	76,7
0,004	77,1	-7,559	77,1
0,0045	77,3	-8,579	77,4
0,005	77,6	-9,613	77,8
0,0055	77,8	-10,663	78,15
0,006	77,9	-11,725	78,5
0,0065	78,1	-12,8	78,8
0,007	78,2	-14,888	79,2
0,0075	78,3	-14,986	79,5
0,008	78,4	-16,094	79,8
0,0085	78,47	-17,211	80,1
0,009	78,48	-18,336	80,3
0,0095	78,47	-19,468	80,6
0,01	78,4	-20,605	80,9

Далее рассчитываются параметры настройки ПИ-регулятора.

ПИ-регулятор обладает следующими достоинствами:

- 1) обеспечивает нулевую статическую ошибку регулирования;
- 2) прост в настройке, настраиваются только два параметра, а именно коэффициент усиления K_p и постоянная интегрирования T_i ;
- 3) обеспечивает управление с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования;
- 4) малая чувствительность к шумам в канале измерения (в отличие от ПИД-регулятора).

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются по формулам:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (15.2.3)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (15.2.4)$$

где T_u – постоянная времени интегрирования регулятора, K_p – коэффициент передачи регулятора.

Задав диапазон изменения частоты $\omega = 0 \div 1,2 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,04 \text{ с}^{-1}$, необходимо определить настройки регулятора $\frac{K_p}{T_u}$ и K_p в заданном диапазоне частот. Результаты расчётов сведём в таблицу 15.2.2.

Таблица 15.2.2 – Результаты расчёта настройки ПИ - регулятора

Частота ω , c^{-1}	$\frac{K_p}{T_u}$	K_p
0	0	-0,013
0,04	0,0006	$-1,247 \cdot 10^{-3}$
0,08	0,023	0,011
0,12	0,005	0,024
0,16	0,008	0,036
0,2	0,013	0,049
0,24	0,017	0,062
0,28	0,022	0,074
0,32	0,028	0,086
0,36	0,033	0,098
0,4	0,038	0,11
0,44	0,043	0,121
0,48	0,048	0,132
0,52	0,053	0,142
0,56	0,057	0,152
0,6	0,06	0,161
0,64	0,063	0,17
0,68	0,064	0,178
0,72	0,065	0,186
0,76	0,064	0,192
0,8	0,062	0,198
0,84	0,058	0,204
0,88	0,054	0,208
0,92	0,048	0,212
0,96	0,041	0,215
1	0,032	0,218
1,04	0,023	0,22
1,08	0,011	0,221
1,12	-0,0008	0,221
1,16	-0,009	0,22
1,2	-0,014	0,219

На рисунке 15.2.2 приведен график оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора.

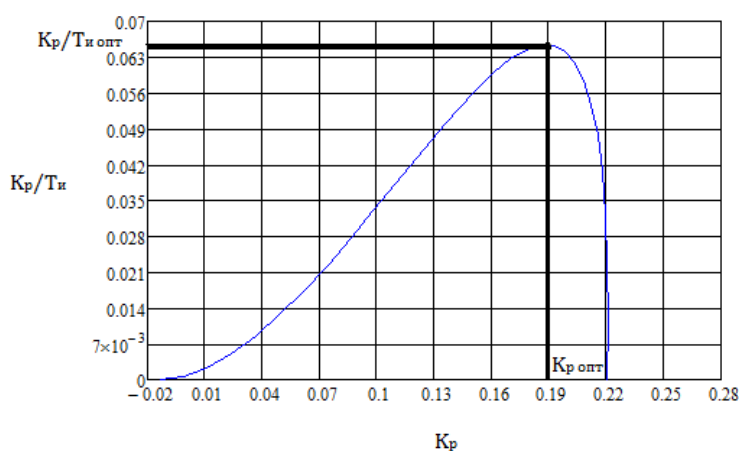


Рисунок 15.2.2 – График оптимальных параметров настройки ПИ – регулятора

Полученная кривая является линией заданной степени затухания $\Psi_{\text{зад}}=0,9$ процесса управления, что соответствует степени колебательности $m=0,366$. Поиск оптимальных параметров настройки регулятора осуществляется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования, представленной на рисунке 15.2.2. Для апериодических и колебательных переходных процессов применяется интегральная оценка типа $I_1 = \int_0^{\infty} x(t)dt$. Минимуму данной интегральной оценки соответствует точка $\max(K_p/T_u)$ на линии заданного запаса устойчивости.

Используя данные таблицы 15.2.2 и рисунка 15.2.2, необходимо определить значение $\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right)$, тогда будут получены оптимальные параметры настройки ПИ – регулятора:

$$\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,066. \quad (15.2.5)$$

Из рисунка 15.2.2 определяются соответствующие параметры настройки:

$$K_p = 0,19, \quad (15.2.6)$$

$$\frac{K_p}{T_u} = 0,066, \quad (15.2.7)$$

$$\omega_{\text{рез}} = 0,72. \quad (15.2.8)$$

Далее можно определить постоянную времени интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{0,19}{0,066} = 2,88 \text{ с}. \quad (15.2.9)$$

15.3 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в АСУ экспериментальным стендом по каналу задающего воздействия

Передаточная функция регулятора:

$$W(P) = \frac{W_{\text{об}}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{\text{об}}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (15.3.1)$$

где $W_{oo}(P)$ – передаточная функция объекта, $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора.

Используя программу Mathcad, предварительно задав диапазон изменения частоты $\omega = 0 \div 2,9 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,06 \text{ с}^{-1}$, рассчитана вещественная частотная характеристика АСУ экспериментальным стендом при регулирующем воздействии $\text{Re}_{з.с.}(\omega)$. Результаты расчёта сведены в таблицу 15.3.1.

Таблица 15.3.1 – Результаты расчета ВЧХ системы

Частота $\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{з.с.}(\omega)$
0	1
0,12	1,06
0,24	1,21
0,36	1,38
0,48	1,43
0,6	1,13
0,72	0,34
0,84	-0,59
0,96	-1,12
1,08	-1,23
1,92	-1,25
2,04	-0,96
2,16	-0,8
2,28	-0,66
2,4	-0,53
2,52	-0,43
2,64	-0,34
2,76	-0,27
2,88	-0,2
2,9	-0,18

На рисунке 15.3.1 представлен график ВЧХ замкнутой системы.

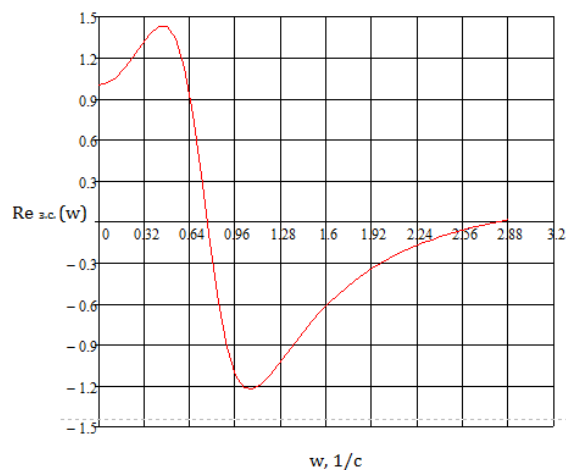


Рисунок 15.3.1 – График ВЧХ замкнутой системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{2,88} \frac{\text{Re}_{3.с.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \quad (15.3.2)$$

где 2,88 – частота, при которой график $\text{Re}(\omega)$ стремится к нулю, определяется эта частота из рисунка 15.3.2.

Задав диапазон изменения времени переходного процесса $t = 0 \div 80$ с шагом $\Delta t = 0,6$ с, рассчитан переходный процесс. Результаты расчета сведены в таблицу 15.3.2.

Таблица 15.3.2 – Результаты расчёта переходного процесса АСУ экспериментальным стендом

Время t, с	y(t)
0	0
8	0,84
16	0,991
24	1,023
32	1,013
40	1,05
48	0,993
56	1,011
64	1,09
72	0,994
80	1

На рисунке 15.3.2 представлен результат расчета переходного процесса АСУ экспериментальным стендом по каналу задающего воздействия.

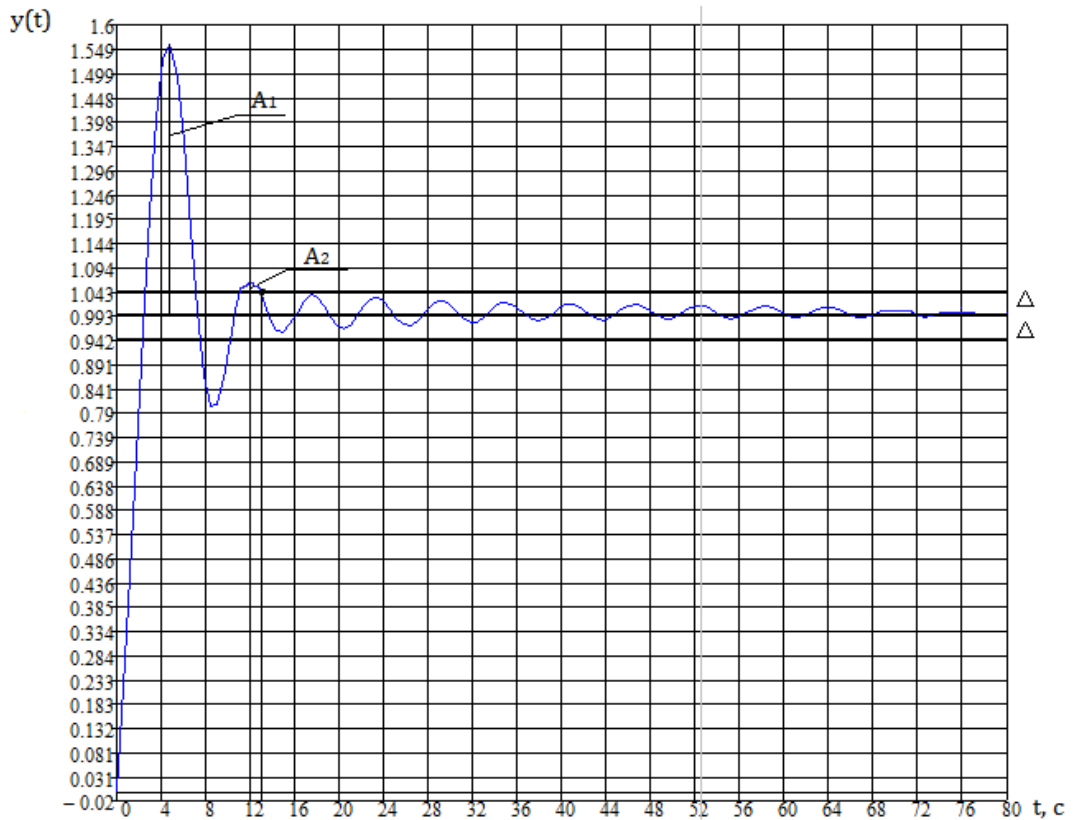


Рисунок 15.3.2 – Результат расчёта переходного процесса АСУ экспериментальным стендом по каналу задающего воздействия

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

Используя данные таблицы 15.3.2 и рисунка 15.3.2, произведена оценка качества переходного процесса АСУ экспериментальным стендом.

Прямые оценки качества:

1) максимальный показатель динамической точности $A_1=0,55$;

2) перерегулирование $\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = 0,55 \cdot 100 = 55 \%$,

где $y(\infty)$ – уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса t ;

3) степень затухания переходного процесса $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,055}{0,55} = 0,9$,

где $A_2 = 0,055$ – вторая амплитуда колебаний;

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

где S – сигнал регулирующего воздействия $1(t)$;

5) время регулирования $t_p = 13,6$ с, при величине $\delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05$.

Заключение

Результатом выполнения магистерской диссертации является разработка экспериментального стенда для исследования влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей. Данный стенд может применяться в учебных заведениях, в светодиодной промышленности в качестве лабораторного/экспериментального стенда.

В ходе выполнения работы проведен анализ объекта исследования, проведен анализ эффективности различных способов теплоотвода для светодиодного модуля. Произведен расчет теплового сопротивления радиаторов. В ходе экспериментов с использованием активного и пассивного охлаждения, можно сказать, что на эффективность охлаждения влияют форма, расположение, толщина теплоотводов. Наиболее эффективным теплоотводом при пассивном охлаждении для рассматриваемого светодиодного модуля является алюминиевый радиатор. При активном охлаждении наиболее эффективным теплоотводом является вентилятор совмещенный с радиатором "Sapphire". При использовании остальных теплоотводов температура кристаллов светодиодов также не превышала предельного значения 90 °С. Разработана математическая модель распределения температуры по светодиодному излучателю. Выбраны технические средства автоматизированной системы управления экспериментальным стендом с использованием вентилятора для охлаждения модуля.

Список использованных источников

- 1) Светодиоды: устройство, принцип действия [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://supply.in.ua/osveschenie/svetodiod.html> – Загл. с экрана.
- 2) Виды, характеристика SMD-светодиодов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://elektrik.info/main/lighting/1398-vidy-harakteristiki-markirovka-smd-svetodiodov.html> – Загл. с экрана.
- 3) Подробное сравнение светодиодных ламп и других источников света [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elektro.ru/articles/detail/podrobnoe-sravnenie-svetodiodnykh-lamp-i-drugikh-istochnikov-sveta> – Загл. с экрана.
- 4) Сравнение светодиодных ламп и других источников света [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elektro.ru/podrobnoe-sravnenie-svetodiodnykh-lamp/>свободный. – Загл. с экрана.
- 5) Безрядин Н.Н., Бутусов И.Ю., Котов Г.И., Кузубов Ю.Н., Смолко Ю.Н. Системы охлаждения мощных светодиодов [Электронный курс]. – 2014. – Режим доступа: <https://elibrary.ru>. – Загл. с экрана.
- 6) Характеристики теплопроводящих составов и материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electrosad.ru/Ohlajd/TabTP1.htm> – Загл. с экрана.
- 7) Теплопроводность материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/teploprovodnost-materiallov.html> – Загл. с экрана.
- 8) Проектирование системы охлаждения с мощными локальными источниками теплоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lab18.ipu.ru/projects/conf2010/2/22.htm> – Загл. с экрана.
- 9) Мельник Р.С., Николаенко Ю.Е., Кравец А.Я., Паламарчук А.Я., Алексеик Е.С. и др. Особенности новой конструкции светодиодного осветительного прибора с комбинированной системой охлаждения

[Электронный курс]. – 2014. – Режим доступа: <https://elibrary.ru>. – Загл. с экрана.

10) Теплоотводящие пасты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ostec-materials.ru/materials/dlya-sborki-elektron/teploprovodyashchie past.php](https://ostec-materials.ru/materials/dlya-sborki-elektron/teploprovodyashchie_past.php) – Загл. с экрана.

11) Сравнительный анализ светодиодов ведущих производителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.led-e.ru/ articles/svetodiod/2010_4_6.php](http://www.led-e.ru/articles/svetodiod/2010_4_6.php) – Загл. с экрана.

12) Промышленные светодиодные светильники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.calc.ru/Promyshlennyye-Svetodiodnyye-Svetilniki.html>– Загл. с экрана.

13) Применение светодиодов в электронных схемах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/praktika/774-primenenie-svetodiodov-v-elektronnyh-shemah.html> – Загл. с экрана.

14) Светодиодный модуль 119 LED [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ledru.ru> – Загл. с экрана.

15) Устройства и системы охлаждения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.led-e.ru/articles/led-cooling.php> – Загл. с экрана.

16) Тепловизор Testo 885-2[Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.testo.com.ru/catalog/parameter/teplovizory/1742/>– Загл. с экрана.

17) Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет Разностные методы решения задач теплопроводности [Учебное пособие]. – 2007. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/k/KUZNETSOVGV/instructional_work/MSMPR/Tab/Heat_conduction_problems.pdf– Загл. с экрана.

18) Теплофизические свойства материалов, теплопроводность и теплоемкость [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/strojmaterialy/teplofizicheskie-svoystva-i-teploprovodnost-materialov> – Загл. с экрана.

- 19) Эффективность автоматизации производственных процессов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://vunivere.ru/work13427>. – Загл. с экрана.
- 20) Развитие автоматизации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2014/763/2245>. – Загл. с экрана.
- 21) Автоматизация производства [Электронный ресурс]. / Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Википедия электронная энциклопедия. Автоматизация_производства](https://ru.wikipedia.org/wiki/Википедия_электронная_энциклопедия.Автоматизация_производства). – Загл. с экрана.
- 22) Перечень контролируемых параметров АСУ ТП [Электронный ресурс] / Режим доступа: gazprom-gmt.ru/.../Приложение_2013 – Загл. с экрана.
- 23) Разработка структурных схем АСУ ТП. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/582831/tovarovedenie/razrabotka_strukturnoy_shemусвободный. – Загл. с экрана.
- 24) ГОСТ 24.302-80. Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем. – М.: Издательство стандартов, 1980, - 5 с.
- 25) Автоматизированное рабочее место [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki> – Загл. с экрана.
- 26) РД 153-34.1-35.127.2002 Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций. – М.: Издательство стандартов, 2002, - 147 с.
- 27) Функциональные схемы автоматизации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://infopedia.su/10x8a3b.html>. – Загл. с экрана.
- 28) Назначение функциональных схем, методика и общие принципы их выполнения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ani-studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-Themes/Theme7.htm> – Загл. с экрана.

29) Программируемые логические контроллеры [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/p/PAVELSPA/Study9A_3.pdf – Загл. с экрана.

30) ПЛК 150 контроллер для малых систем автоматизации [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.owen.ru/product/programmiruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk_150 – Загл. с экрана.

31) ПЛК Omron CJ1M [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.proenergo.ru/sistemy-avtomatizacii/programmiruemye-logicheskie-kontrollery/kontroller-omron-cj1/> – Загл. с экрана.

32) ПЛК Simatic S7-200 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-200.htm> – Загл. с экрана.

33) Термопары ТРИД ТП300 модельный ряд [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://tridpm.ru/assets/upload/8207a0fff8c12abe3.pdf> – Загл. с экрана.

34) "Вектор-инжиниринг" Термопара типа К [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://fuehler-systeme.ru/tip-k-nicr-ni/termopara-tip-k-nicr-ni-s-rvx-kabelem.html> – Загл. с экрана.

35) Нормирующий преобразователь НПТ-1 на DIN-рейку [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/npt1> – Загл. с экрана.

36) НПСи-ТП [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.contravt.ru/normirujushhie-preobrazovateli-signalov-termopar-npsi-tp> – Загл. с экрана.

37) Овен БП02Б-Д1-24 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://insat.ru/prices/info.php?pid=14749> – Загл. с экрана.

38) Осевые вентиляторы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=603991821> – Загл. с экрана.

39) Вентиляторы охлаждения KIPPRIBOR серии VENT [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.kippribor.ru/ventilyatory-ohlazhdeniya-KIPPRIBOR-serii-VENT> – Загл. с экрана.

40) Принцип действия и назначение реле [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://intellect.ml/elektronnoe-elektro-magnitnoe-rele-3894>– Загл. с экрана.

41) Реле промежуточные модульной серии [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.iek.ru/products/catalog/detail.php?ID=9144>– Загл. с экрана.

42) Реле Т78 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.rekshop.ru/product/16730/6-20/15557>– Загл. с экрана.

43) Охранно-пожарные технологии. Оповещатели [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://opt-tech.ru/catalog/otech/opov/komb/6307/mauyak-220_k.html– Загл. с экрана.

44) ЗС-47 ИЕКМЗД10-230[Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie – Загл. с экрана.

45) Автоматизированное рабочее место специалиста [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://info-tehnologii.ru/vid_inf/index.html – Загл. с экрана.

46) Основные достоинства технологии Ethernet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.techshape.ru/sheoms-211-1.html> – Загл. с экрана.

47) Ноутбук HP 15-rb020ur [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/product/156-noutbuk-hp-15-rb020ur-cernyj/> – Загл. с экрана.

48) Lenovo IdeaPad 120S-14IAP [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/product/387134a620503330/14-noutbuk-lenovo-ideapad-120s-14iap-seryj/>– Загл. с экрана.

49) Acer ExtensaEX2519-C33F [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/product/8b0bf0935cac3330/156-noutbuk-acer-extensa-ex2519-c33f-cernyj/>– Загл. с экрана.

50) РД 50-34.698-90.Перечень входных и выходных сигналов – М.: Издательство стандартов, 1990, - 27 с.

- 51) Принципиальные электрические схемы систем автоматизации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.proektant.kz/content/1205.html>.– Загл. с экрана.
- 52) Описание принципиальной электрической схемы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.kazedu.kz/referat/84576/8>.– Загл. с экрана.
- 53) Проектирование монтажной схемы [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studbooks.net/proektirovanie_montazhnoy_shemy. – Загл. с экрана.
- 54) Проектирование систем автоматизации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://works.doklad.ru/view/11.html>. – Загл. с экрана.
- 55) Провод ПВС [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.elcn.ru/inf/3792>. – Загл. с экрана.
- 56) ПВХ кабель [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://profsector.com/component/702513/kabel-pvh-tip-s-2h1-5>– Загл. с экрана.
- 57) Каталог кабельной продукции 2008 [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://Public_Documents/0909266.pdf– Загл. с экрана.
- 58) Монтаж щитов, пультов систем автоматизации [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studopedia.ru/2_114281_i-upravleniya.html.– Загл. с экрана.
- 59) Щиты с монтажной панелью ЩМП [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.iek.ru/products/catalog/detail.php?ID=9219> – Загл. с экрана.
- 60) Программное, математическое, техническое обеспечение АСУ ТП [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.teh-lib.ru/atpip/sostav-asu-tp/Tehnicheskoe-matematicheskoe-i-programmnoe-obespechenie-ASU-TP.html> – Загл. с экрана.
- 61) CoDeSys - визуализация [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.owen.ru/forum/showthread.php?t=16533>– Загл. с экрана.

62) Вентилятор с радиатором для карты Sapphire HD3650 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.kompikomsk.ru/ventilyator-s-radiatorom-dlya-vkarty-sapphire/> – Загл. с экрана.

63) Идентификация объектов управления: учебное пособие/ А.Н. Дилигенская. – Самара: Изд-во СГТУ, 2009. – 136 с.

64) Целевой рынок и сегмент рынка в маркетинге [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://powerbranding.ru/segmentirovanie/target-market-definition/> – Загл. с экрана.

65) Официальная статистика "Томскстат" [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://tmsk.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/tmsk/ru/statistics/ – Загл. с экрана.

66) Социальные отчисления [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://1fin.ru/?id=281&t=1374> – Загл. с экрана.

67) Накладные расходы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://1fin.ru/?id=281&t=320> – Загл. с экрана.

68) "Учтех-Профи" [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://labstand.ru/> – Загл. с экрана.

69) SWOT-анализ: правила и примеры составления [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gd.ru/articles/8078-swot-analiz> – Загл. с экрана.

70) Статья 37 Конституции РФ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://constrf.ru/razdel-1/glava-2/st-37-krf> – Загл. с экрана.

71) Статья 30 Конституции РФ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://constrf.ru/razdel-1/glava-2/st-30-krf> – Загл. с экрана.

72) "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

73) СП 2.2.2.1327-03. Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. – М.: Минздрав России, 2003. – 51 с.

74) ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов № 1980, 2009. – 9 с.

75) СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 2001. – 20 с.

76) СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 2016. – 102 с.

77) ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

78) ГОСТ 12.1.038–82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: Издательство стандартов № 2001, 2009. – 7 с.

79) НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2003. – 26 с.

80) ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2005. – 49 с.

81) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 10 с.

82) ГОСТ 12.1.019 - 2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит. – М.: Стандартинформ, 2018. – 32 с.

83) ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 4 с.

84) ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов. Основные

положения. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 42 с.

85) Чрезвычайные ситуации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://dendrit.ru/page/show/mnemonic/chrezvychaynye-situacii> – Загл. с экрана.

86) Причины возникновения пожаров на предприятиях [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.refbzd.ru/viewreferat-183-2.html> – Загл. с экрана.

87) ГОСТ Р 12.2.143-2009. Система стандартов безопасности труда. Системы фотолуминесцентные эвакуационные. Элементы систем. Классификация. Общие технические требования. Методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2010. – 50 с.

88) Huan-Chu Hsu and Yi-Cheng Huang Numerical Simulation and Experimental Validation for the Thermal Analysis of a Compact LED Recessed Downlight with Heat Sink Design. Department of Mechatronics Engineering, National Changhua University of Education (2017). DOI.10.3390/app7010004.

89) J.H. Xiang, C. L. Zhang, Z. J. Gan, C. Zhou Numerical simulation and experimental research of the integrated high-power LED radiator. 5th Global Conference on Materials Science and Engineering (2017).DOI. 10.1088/1757-899X/164/1/012001.

90) Vladimir Ramos-Alvarado, Bo Feng, G. P. Peterson Comparison and optimization of single-phase liquid cooling devices for the heat dissipation of high-power LED arrays. Applied Thermal Engineering (2013). DOI.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.06.036.

91) Lan Kim, Jong Hwa Choi, Sun Ho Jang, Moo Whan Shin Thermal analysis of LED array system with heat pipe. Thermochemica Acta (2007). DOI.org/10.1016/j.tca.2006.11.031.

92) Mehmet Kaya Experimental Study on Active Cooling Systems Used for Thermal Management of High-Power Multichip Light-Emitting Diodes. The Scientific World Journal (2014). DOI.org/10.1155/2014/563805.

Приложение А Заказная спецификация

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол-во		
1	2	3	4		
1а, 2а, 3а	Термопара. Диапазон измерения: -40...+1200 °С. Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности: ± 1,5 °С. НСХ: ТП ХА (К). ООО «ТРИД» г. Пермь	ТП 301-0,5/1000-ТХА(К)	3		
1б, 2б, 3б	Нормирующий преобразователь. Выходной сигнал: 0...20 мА, 4...20 мА. НСХ: ТП ХА (К), ХК (L). Диапазон преобразования: -40...+85 °С. Пределы допускаемой основной приведенной погрешности: ± 0,5 %. ООО «Овен» г. Москва	НПТ-1	3		
2а	Реле РЭК 77/3. Максимальное коммутируемое напряжение 230 В. Управляющий сигнал 24 В. Максимальное значение токов контактов 10 А. ООО «Интерэлектрокомплект» г. Москва	IEK РЭК 77/3 10А 230V	1		
	Программируемый логический контроллер Овен 150-220. Имеет 6 дискретных входов и 4 дискретных выхода, 4 аналоговых входа и 2 аналоговых выхода. Питание 220 В. ООО «Овен» г. Москва	ПЛК 150-220	1		
	Блок питания БП02Б-Д1-24. Входное напряжение 24 В (постоянное). Выходное напряжение 220 В (переменное). ООО «Овен» г. Москва	БП02Б-Д1-24	1		
	Звуковая сигнализация МАЯК-220-3М1. Питание 220 В. Диапазон рабочих температур -50...+55 °С. Звуковое давление 105 дБ. ООО «Электротехника и автоматика» г. Омск	МАЯК-220-3М1	1		
	Осевой вентилятор Gostime. Питание 220 В. Скорость вращения лопастей 2400 об/мин. Уровень шума 27 дБ. «Bravium Universal» г. Ташкент	GOT20060VHL			
		ФЮРА.421000.002 С01			
Исполн	Афанасьева	Спецификация приборов и средств автоматизации	Стад	Лис	Листо
Провед	Медведев В.		ТПР	1	1
			ТПУ	НОЦ ИШЭ	
			Группа	5БМ74	

Приложение Б Моделирование процесса распределения температурного поля по светодиодному излучателю

```
clc; clearall;
% Количество пространственных узлов
Nx1=30;
Nx2=220;
Nx3=250;
Nx4=260;
Nx5=270;

Ny1=50;
Ny2=90;
Ny3=120;
Ny4=140;
Ny5=150;
Ny6=170;
Ny7=200;
Ny8=230;
Ny9=270;

% Окончание по времени, с
t_end=60;

% Размеры объекта, м
L=0.06;
H=0.01;

% ТФХ воздуха
lamda1=0.0262;
ro1=1.185;
c1=1005;

% Коэффициент теплопроводности материала пластин, Вт/(м*С)
lamda2=237;
lamda3=0.37;
lamda4=0.6;
lamda5=84;

% Плотность материала пластин, кг/м3
ro2=2733;
ro3=1700;
ro4=1400;
ro5=2330;

% Теплоемкость материала пластин, Дж/(кг*С)
c2=904;
c3=960;
c4=1100;
c5=800;

% Начальная температура окружающей среды, С
T01=299;
% Начальная температура пластины 2, С
T02=311;
% Начальная температура пластины 3, С
T03=317;
% Начальная температура пластины 4, С
T04=319;
% Начальная температура пластины 5, С
T05=322;
```



```

% Температура на границе X=0, C
Tl=299;
% Температура на границе X=L, C
Tr=322;

% Допустимая погрешность
deltaT=0.5;

% Решение
% Определение расчетного шага сетки по пространственной координате
Nx=Nx5+1;
Ny=Ny9+1;

hx=L/(Nx-1);
hy=H/(Ny-1);

% Определение расчетного шага сетки по времени
tau=0.001;

% Определение коэффициента температуропроводности
a1=lamda1/(ro1*c1);
a2=lamda2/(ro2*c2);
a3=lamda3/(ro3*c3);
a4=lamda4/(ro4*c4);
a5=lamda5/(ro5*c5);

% Определение поля температуры в начальный момент времени
for i=1:1:Nx
for j=1:1:Ny
T(i,j)=T01;
end;
end;

for i=Nx1:1:Nx2
for j=Ny1:1:Ny8
T(i,j)=T02;
end;
end;

for i=Nx2:1:Nx3
for j=Ny2:1:Ny7
T(i,j)=T03;
end;
end;

for i=Nx3:1:Nx4
for j=Ny3:1:Ny6
T(i,j)=T04;
end;
end;

for i=Nx4:1:Nx
for j=Ny4:1:Ny5
T(i,j)=T05;
end;
end;

% Интегрирование нестационарного уравнения теплопроводности
time=0;
maxt=0;
txt1=0;

while ((time<t_end) && (maxt==0))

```

```

time=time+tau;

% Вдольосиох
forj=1:Ny1
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
alfa(1,j)=0;
beta(1,j)=T1;
fori=2:Nx-1
    Ai=lamda1/(hx^2);
    Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T(Nx,j)=T01;

% Определение неизвестного поля температуры
fori=(Nx-1):(-1):1
T(i,j)=alfa(i,j)*T(i+1,j)+beta(i,j);
end;
end;

for j=Ny1+1:Ny2
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
alfa(1,j)=0;
beta(1,j)=T1;
fori=2:Nx1-1
    Ai=lamda1/(hx^2);
    Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
alfa(Nx1,j)=2*a1*a2*tau*lamda2/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j))
+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

beta(Nx1,j)=(2*a1*a2*tau*lamda1*beta(Nx1-1,j)+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1)
*T(Nx1,j))/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))+(hx^2)
*(a1*lamda2+a2*lamda1));

fori=Nx1+1:Nx2-1
    Ai=lamda2/(hx^2);
    Bi=2*lamda2/(hx^2)+ro2*c2/tau;
    Ci=lamda2/(hx^2);
    Fi=-ro2*c2*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx2,j)=2*a2*a1*tau*lamda1/(2*a2*a1*tau*(lamda1+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j))
+(hx^2)*(a2*lamda1+a1*lamda2));

beta(Nx2,j)=(2*a2*a1*tau*lamda2*beta(Nx2-1,j)+(hx^2)*(a2*lamda1+a1*lamda2)

```

```

*T(Nx2,j))/(2*a2*a1*tau*(lamda1+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))+(hx^2)
*(a2*lamda1+a1*lamda2));

for i=Nx2+1:Nx-1
    Ai=lamda1/(hx^2);
    Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T(Nx,j)=T01;
% Определение неизвестного поля температуры
for i=(Nx-1):(-1):1
    T(i,j)=alfa(i,j)*T(i+1,j)+beta(i,j);
end;
end;

for j=Ny2+1:Ny3
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
alfa(1,j)=0;
beta(1,j)=T1;
for i=2:Nx1-1
    Ai=lamda1/(hx^2);
    Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
alfa(Nx1,j)=2*a1*a2*tau*lamda2/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

beta(Nx1,j)=(2*a1*a2*tau*lamda1*beta(Nx1-1,j)+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1)
*T(Nx1,j))/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))+(hx^2)
*(a1*lamda2+a2*lamda1));

for i=Nx1+1:Nx2-1
    Ai=lamda2/(hx^2);
    Bi=2*lamda2/(hx^2)+ro2*c2/tau;
    Ci=lamda2/(hx^2);
    Fi=-ro2*c2*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx2,j)=2*a2*a3*tau*lamda3/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2));

beta(Nx2,j)=(2*a2*a3*tau*lamda2*beta(Nx2-1,j)+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2)
*T(Nx2,j))/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))+(hx^2)
*(a2*lamda3+a3*lamda2));

for i=Nx2+1:Nx3-1
    Ai=lamda3/(hx^2);
    Bi=2*lamda3/(hx^2)+ro3*c3/tau;
    Ci=lamda3/(hx^2);
    Fi=-ro3*c3*T(i,j)/tau;

```

```

alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx3,j)=2*a3*a1*tau*lamda1/(2*a3*a1*tau*(lamda1+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))
+(hx^2)*(a3*lamda1+a1*lamda3));

beta(Nx3,j)=(2*a3*a1*tau*lamda3*beta(Nx3-1,j)+(hx^2)*(a3*lamda1+a1*lamda3)
*T(Nx3,j))/(2*a3*a1*tau*(lamda1+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))+(hx^2)
*(a3*lamda1+a1*lamda3));

fori=Nx3+1:Nx-1
Ai=lamda1/(hx^2);
Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
Ci=lamda1/(hx^2);
Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T(Nx,j)=T01;
% Определение неизвестного поля температуры
fori=(Nx-1):(-1):1
T(i,j)=alfa(i,j)*T(i+1,j)+beta(i,j);
end;
end;

for j=Ny3+1:Ny4
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
alfa(1,j)=0;
beta(1,j)=T1;
fori=2:Nx1-1
Ai=lamda1/(hx^2);
Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
Ci=lamda1/(hx^2);
Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
alfa(Nx1,j)=2*a1*a2*tau*lamda2/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))
+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

beta(Nx1,j)=(2*a1*a2*tau*lamda1*beta(Nx1-1,j)+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1)
*T(Nx1,j))/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))+(hx^2)
*(a1*lamda2+a2*lamda1));

fori=Nx1+1:Nx2-1
Ai=lamda2/(hx^2);
Bi=2*lamda2/(hx^2)+ro2*c2/tau;
Ci=lamda2/(hx^2);
Fi=-ro2*c2*T(i,j)/tau;
alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx2,j)=2*a2*a3*tau*lamda3/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))
+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2));

beta(Nx2,j)=(2*a2*a3*tau*lamda2*beta(Nx2-1,j)+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2)

```

```

*T(Nx2,j))/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))+(hx^2)
*(a2*lamda3+a3*lamda2));

for i=Nx2+1:Nx3-1
    Ai=lamda3/(hx^2);
    Bi=2*lamda3/(hx^2)+ro3*c3/tau;
    Ci=lamda3/(hx^2);
    Fi=-ro3*c3*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx3,j)=2*a3*a4*tau*lamda4/(2*a3*a4*tau*(lamda4+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))+(hx^2)*(a3*lamda4+a4*lamda3));

beta(Nx3,j)=(2*a3*a4*tau*lamda3*beta(Nx3-1,j)+(hx^2)*(a3*lamda4+a4*lamda3)*T(Nx3,j))/(2*a3*a4*tau*(lamda4+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))+(hx^2)*(a3*lamda4+a4*lamda3));

for i=Nx3+1:Nx4-1
    Ai=lamda4/(hx^2);
    Bi=2*lamda4/(hx^2)+ro4*c4/tau;
    Ci=lamda4/(hx^2);
    Fi=-ro4*c4*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx4,j)=2*a4*a1*tau*lamda1/(2*a4*a1*tau*(lamda1+lamda4*(1-alfa(Nx4-1,j)))+(hx^2)*(a4*lamda1+a1*lamda4));

beta(Nx4,j)=(2*a4*a1*tau*lamda4*beta(Nx4-1,j)+(hx^2)*(a4*lamda1+a1*lamda4)*T(Nx4,j))/(2*a4*a1*tau*(lamda1+lamda4*(1-alfa(Nx4-1,j)))+(hx^2)*(a4*lamda1+a1*lamda4));

for i=Nx4+1:Nx-1
    Ai=lamda1/(hx^2);
    Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T(Nx,j)=T01;
% Определение неизвестного поля температуры
for i=(Nx-1):(-1):1
    T(i,j)=alfa(i,j)*T(i+1,j)+beta(i,j);
end;
end;

for j=Ny4+1:Ny5
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного условия
alfa(1,j)=0;
beta(1,j)=T1;
for i=2:Nx1-1
    Ai=lamda1/(hx^2);
    Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));

```

```

        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
alfa(Nx1,j)=2*a1*a2*tau*lamda2/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

beta(Nx1,j)=(2*a1*a2*tau*lamda1*beta(Nx1-1,j)+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1)*T(Nx1,j))/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

for i=Nx1+1:Nx2-1
    Ai=lamda2/(hx^2);
    Bi=2*lamda2/(hx^2)+ro2*c2/tau;
    Ci=lamda2/(hx^2);
    Fi=-ro2*c2*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx2,j)=2*a2*a3*tau*lamda3/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2));

beta(Nx2,j)=(2*a2*a3*tau*lamda2*beta(Nx2-1,j)+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2)*T(Nx2,j))/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2));

for i=Nx2+1:Nx3-1
    Ai=lamda3/(hx^2);
    Bi=2*lamda3/(hx^2)+ro3*c3/tau;
    Ci=lamda3/(hx^2);
    Fi=-ro3*c3*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx3,j)=2*a3*a4*tau*lamda4/(2*a3*a4*tau*(lamda4+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))+(hx^2)*(a3*lamda4+a4*lamda3));

beta(Nx3,j)=(2*a3*a4*tau*lamda3*beta(Nx3-1,j)+(hx^2)*(a3*lamda4+a4*lamda3)*T(Nx3,j))/(2*a3*a4*tau*(lamda4+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))+(hx^2)*(a3*lamda4+a4*lamda3));

for i=Nx3+1:Nx4-1
    Ai=lamda4/(hx^2);
    Bi=2*lamda4/(hx^2)+ro4*c4/tau;
    Ci=lamda4/(hx^2);
    Fi=-ro4*c4*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx4,j)=2*a4*a5*tau*lamda5/(2*a4*a5*tau*(lamda5+lamda4*(1-alfa(Nx4-1,j)))+(hx^2)*(a4*lamda5+a5*lamda4));

beta(Nx4,j)=(2*a4*a5*tau*lamda4*beta(Nx4-1,j)+(hx^2)*(a4*lamda5+a5*lamda4)*T(Nx4,j))/(2*a4*a5*tau*(lamda5+lamda4*(1-alfa(Nx4-1,j)))+(hx^2)*(a4*lamda5+a5*lamda4));

for i=Nx4+1:Nx-1
    Ai=lamda5/(hx^2);
    Bi=2*lamda5/(hx^2)+ro5*c5/tau;

```

```

        Ci=lamda5/(hx^2);
        Fi=-ro5*c5*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T(Nx,j)=Tr;
% Определение неизвестного поля температуры
for i=(Nx-1):(-1):1
    T(i,j)=alfa(i,j)*T(i+1,j)+beta(i,j);
end;
end;

for j=Ny5+1:Ny6
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
    alfa(1,j)=0;
    beta(1,j)=T1;
    for i=2:Nx1-1
        Ai=lamda1/(hx^2);
        Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
        Ci=lamda1/(hx^2);
        Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
        alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
    alfa(Nx1,j)=2*a1*a2*tau*lamda2/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))
    +(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

    beta(Nx1,j)=(2*a1*a2*tau*lamda1*beta(Nx1-1,j)+(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1)
    *T(Nx1,j))/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-1,j)))
    +(hx^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

    for i=Nx1+1:Nx2-1
        Ai=lamda2/(hx^2);
        Bi=2*lamda2/(hx^2)+ro2*c2/tau;
        Ci=lamda2/(hx^2);
        Fi=-ro2*c2*T(i,j)/tau;
        alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    end;

    alfa(Nx2,j)=2*a2*a3*tau*lamda3/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))
    +(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2));

    beta(Nx2,j)=(2*a2*a3*tau*lamda2*beta(Nx2-1,j)+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2)
    *T(Nx2,j))/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))
    +(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2));

    for i=Nx2+1:Nx3-1
        Ai=lamda3/(hx^2);
        Bi=2*lamda3/(hx^2)+ro3*c3/tau;
        Ci=lamda3/(hx^2);
        Fi=-ro3*c3*T(i,j)/tau;
        alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
    end;

    alfa(Nx3,j)=2*a3*a4*tau*lamda4/(2*a3*a4*tau*(lamda4+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))
    +(hx^2)*(a3*lamda4+a4*lamda3));

```

```

beta (Nx3, j) = (2*a3*a4*tau*lamda3*beta (Nx3-1, j) + (hx^2) * (a3*lamda4+a4*lamda3)
*T (Nx3, j)) / (2*a3*a4*tau* (lamda4+lamda3* (1-alfa (Nx3-1, j))) + (hx^2)
* (a3*lamda4+a4*lamda3));

for i=Nx3+1:Nx4-1
    Ai=lamda4/ (hx^2);
    Bi=2*lamda4/ (hx^2)+ro4*c4/tau;
    Ci=lamda4/ (hx^2);
    Fi=-ro4*c4*T (i, j)/tau;
    alfa (i, j) = Ai / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
    beta (i, j) = (Ci*beta (i-1, j) - Fi) / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
end;

alfa (Nx4, j) = 2*a4*a1*tau*lamda1/ (2*a4*a1*tau* (lamda1+lamda4* (1-alfa (Nx4-1, j)))
+ (hx^2) * (a4*lamda1+a1*lamda4));

beta (Nx4, j) = (2*a4*a1*tau*lamda4*beta (Nx4-1, j) + (hx^2) * (a4*lamda1+a1*lamda4)
*T (Nx4, j)) / (2*a4*a1*tau* (lamda1+lamda4* (1-alfa (Nx4-1, j))) + (hx^2)
* (a4*lamda1+a1*lamda4));

for i=Nx4+1:Nx-1
    Ai=lamda1/ (hx^2);
    Bi=2*lamda1/ (hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/ (hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T (i, j)/tau;
    alfa (i, j) = Ai / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
    beta (i, j) = (Ci*beta (i-1, j) - Fi) / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T (Nx, j) = T01;
% Определение неизвестного поля температуры
for i = (Nx-1) : (-1) : 1
    T (i, j) = alfa (i, j) * T (i+1, j) + beta (i, j);
end;
end;

for j = Ny6+1:Ny7
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
    alfa (1, j) = 0;
    beta (1, j) = T1;
    for i = 2:Nx1-1
        Ai=lamda1/ (hx^2);
        Bi=2*lamda1/ (hx^2)+ro1*c1/tau;
        Ci=lamda1/ (hx^2);
        Fi=-ro1*c1*T (i, j)/tau;
        alfa (i, j) = Ai / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
        beta (i, j) = (Ci*beta (i-1, j) - Fi) / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
    end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
    alfa (Nx1, j) = 2*a1*a2*tau*lamda2/ (2*a1*a2*tau* (lamda2+lamda1* (1-alfa (Nx1-1, j)))
+ (hx^2) * (a1*lamda2+a2*lamda1));

    beta (Nx1, j) = (2*a1*a2*tau*lamda1*beta (Nx1-1, j) + (hx^2) * (a1*lamda2+a2*lamda1)
*T (Nx1, j)) / (2*a1*a2*tau* (lamda2+lamda1* (1-alfa (Nx1-1, j))) + (hx^2)
* (a1*lamda2+a2*lamda1));

    for i = Nx1+1:Nx2-1
        Ai=lamda2/ (hx^2);
        Bi=2*lamda2/ (hx^2)+ro2*c2/tau;

```



```

        Ci=lamda2/(hx^2);
        Fi=-ro2*c2*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx2,j)=2*a2*a3*tau*lamda3/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))
+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2));

beta(Nx2,j)=(2*a2*a3*tau*lamda2*beta(Nx2-1,j)+(hx^2)*(a2*lamda3+a3*lamda2)
*T(Nx2,j))/(2*a2*a3*tau*(lamda3+lamda2*(1-alfa(Nx2-1,j)))+(hx^2)
*(a2*lamda3+a3*lamda2));

fori=Nx2+1:Nx3-1
    Ai=lamda3/(hx^2);
    Bi=2*lamda3/(hx^2)+ro3*c3/tau;
    Ci=lamda3/(hx^2);
    Fi=-ro3*c3*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

alfa(Nx3,j)=2*a3*a1*tau*lamda1/(2*a3*a1*tau*(lamda1+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))
+(hx^2)*(a3*lamda1+a1*lamda3));

beta(Nx3,j)=(2*a3*a1*tau*lamda3*beta(Nx3-1,j)+(hx^2)*(a3*lamda1+a1*lamda3)
*T(Nx3,j))/(2*a3*a1*tau*(lamda1+lamda3*(1-alfa(Nx3-1,j)))
+(hx^2)*(a3*lamda1+a1*lamda3));

fori=Nx3+1:Nx-1
    Ai=lamda1/(hx^2);
    Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T(Nx,j)=T01;
% Определение неизвестного поля температуры
fori=(Nx-1):(-1):1
    T(i,j)=alfa(i,j)*T(i+1,j)+beta(i,j);
end;
end;

for j=Ny7+1:Ny8
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
    alfa(1,j)=0;
    beta(1,j)=T1;
    fori=2:Nx1-1
        Ai=lamda1/(hx^2);
        Bi=2*lamda1/(hx^2)+ro1*c1/tau;
        Ci=lamda1/(hx^2);
        Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
        alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
            beta(i,j)=(Ci*beta(i-1,j)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i-1,j));
        end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
    alfa(Nx1,j)=2*a1*a2*tau*lamda2/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(Nx1-
1,j)))+(hx^2)

```

```

* (a1*lamda2+a2*lamda1));

beta (Nx1, j) = (2*a1*a2*tau*lamda1*beta (Nx1-1, j) + (hx^2) * (a1*lamda2+a2*lamda1)
*T (Nx1, j)) / (2*a1*a2*tau* (lamda2+lamda1* (1-alfa (Nx1-1, j))) + (hx^2)
* (a1*lamda2+a2*lamda1));

fori=Nx1+1:Nx2-1
    Ai=lamda2/ (hx^2);
    Bi=2*lamda2/ (hx^2)+ro2*c2/tau;
    Ci=lamda2/ (hx^2);
    Fi=-ro2*c2*T (i, j)/tau;
alfa (i, j) = Ai/ (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
    beta (i, j) = (Ci*beta (i-1, j) - Fi) / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
end;

alfa (Nx2, j) = 2*a2*a1*tau*lamda1/ (2*a2*a1*tau* (lamda1+lamda2* (1-alfa (Nx2-1, j)))
+ (hx^2) * (a2*lamda1+a1*lamda2));

beta (Nx2, j) = (2*a2*a1*tau*lamda2*beta (Nx2-1, j) + (hx^2) * (a2*lamda1+a1*lamda2)
*T (Nx2, j)) / (2*a2*a1*tau* (lamda1+lamda2* (1-alfa (Nx2-1, j)))
+ (hx^2) * (a2*lamda1+a1*lamda2));

fori=Nx2+1:Nx-1
    Ai=lamda1/ (hx^2);
    Bi=2*lamda1/ (hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/ (hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T (i, j)/tau;
alfa (i, j) = Ai/ (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
    beta (i, j) = (Ci*beta (i-1, j) - Fi) / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T (Nx, j) = T01;
% Определение неизвестного поля температуры
fori=(Nx-1) : (-1) : 1
T (i, j) = alfa (i, j) * T (i+1, j) + beta (i, j);
end;
end;

for j=Ny8+1:Ny
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
alfa (1, j) = 0;
beta (1, j) = T1;
fori=2:Nx-1
    Ai=lamda1/ (hx^2);
    Bi=2*lamda1/ (hx^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/ (hx^2);
    Fi=-ro1*c1*T (i, j)/tau;
alfa (i, j) = Ai/ (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
    beta (i, j) = (Ci*beta (i-1, j) - Fi) / (Bi-Ci*alfa (i-1, j));
end;

% Значение температуры на правой границе
T (Nx, j) = T01;

% Определение неизвестного поля температуры
fori=(Nx-1) : (-1) : 1
T (i, j) = alfa (i, j) * T (i+1, j) + beta (i, j);
end;
end;

```

```

% Вдольосиоу
for i=1:Nx1
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основенижнего граничного
условия
alfa(i,1)=2*a1*tau/(2*a1*tau+(hy^2));
beta(i,1)=(hy^2)*T(i,1)/(2*a1*tau+(hy^2));

for j=2:Ny-1
    Ai=lamda1/(hy^2);
    Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hy^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

% Значение температуры на верхней границе
T(i,Ny)=(2*a1*tau*beta(i,Ny-1)+(hy^2)*T(i,Ny))/(2*a1*tau*(1-alfa(i,Ny-1))+(hy^2));

% Определение неизвестного поля температуры
for j=(Ny-1):(-1):1
T(i,j)=alfa(i,j)*T(i,j+1)+beta(i,j);
end;
end;

for i=Nx1+1:Nx2
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основенижнего граничного
условия
alfa(i,1)=2*a1*tau/(2*a1*tau+(hy^2));beta(i,1)=(hy^2)*T(i,1)/(2*a1*tau+(hy^2)
);

for j=2:Ny1-1
    Ai=lamda1/(hy^2);
    Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hy^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
alfa(Ny1,j)=2*a1*a2*tau*lamda2/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(i,Ny1-1)))+(hy^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

beta(Ny1,j)=(2*a1*a2*tau*lamda1*beta(i,Ny1-1)+(hy^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1)*T(i,Ny1))/(2*a1*a2*tau*(lamda2+lamda1*(1-alfa(i,Ny1-1)))+(hy^2)*(a1*lamda2+a2*lamda1));

for j=Ny1+1:Ny8-1
    Ai=lamda2/(hy^2);
    Bi=2*lamda2/(hy^2)+ro2*c2/tau;
    Ci=lamda2/(hy^2);
    Fi=-ro2*c2*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;
alfa(Ny8,j)=2*a2*a1*tau*lamda1/(2*a2*a1*tau*(lamda1+lamda2*(1-alfa(i,Ny8-1)))+(hy^2)*(a2*lamda1+a1*lamda2));

beta(Ny8,j)=(2*a2*a1*tau*lamda2*beta(i,Ny8-1)+(hy^2)*(a2*lamda1+a1*lamda2)*T(i,Ny8))/(2*a2*a1*tau*(lamda1+lamda2*(1-alfa(i,Ny8-1)))+(hy^2)

```

```

*(a2*lamda1+a1*lamda2));

for j=Ny8+1:Ny
    Ai=lamda1/(hy^2);
    Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hy^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

% Значение температуры на верхней границе
T(i,Ny)=(2*a1*tau*beta(i,Ny-1)+(hy^2)*T(i,Ny))/(2*a1*tau*(1-alfa(i,Ny-1))
+(hy^2));

% Определение неизвестного поля температуры
for j=(Ny-1):(-1):1
    T(i,j)=alfa(i,j)*T(i,j+1)+beta(i,j);
end;
end;

for i=Nx2+1:Nx3
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
    alfa(i,1)=2*a1*tau/(2*a1*tau+(hy^2));
    beta(i,1)=(hy^2)*T(i,1)/(2*a1*tau+(hy^2));

    for j=2:Ny2-1
        Ai=lamda1/(hy^2);
        Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
        Ci=lamda1/(hy^2);
        Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
        alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
    alfa(Ny2,j)=2*a1*a3*tau*lamda3/(2*a1*a3*tau*(lamda3+lamda1*(1-alfa(i,Ny2-1)))
+(hy^2)*(a1*lamda3+a3*lamda1));

    beta(Ny2,j)=(2*a1*a3*tau*lamda1*beta(i,Ny2-1)+(hy^2)*(a1*lamda3+a3*lamda1)
*T(i,Ny2))/(2*a1*a3*tau*(lamda3+lamda1*(1-alfa(i,Ny2-1)))+(hy^2)
*(a1*lamda3+a3*lamda1));

    for j=Ny2+1:Ny7-1
        Ai=lamda3/(hy^2);
        Bi=2*lamda3/(hy^2)+ro3*c3/tau;
        Ci=lamda3/(hy^2);
        Fi=-ro3*c3*T(i,j)/tau;
        alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    end;

    alfa(Ny7,j)=2*a3*a1*tau*lamda1/(2*a3*a1*tau*(lamda1+lamda3*(1-alfa(i,Ny7-1)))
+(hy^2)*(a3*lamda1+a1*lamda3));

    beta(Ny7,j)=(2*a3*a1*tau*lamda3*beta(i,Ny7-1)+(hy^2)*(a3*lamda1+a1*lamda3)
*T(i,Ny7))/(2*a3*a1*tau*(lamda1+lamda3*(1-alfa(i,Ny7-1)))+(hy^2)
*(a3*lamda1+a1*lamda3));

    for j=Ny7+1:Ny
        Ai=lamda1/(hy^2);
        Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;

```

```

        Ci=lamda1/(hy^2);
        Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

% Значение температуры на верхней границе
T(i,Ny)=(2*a1*tau*beta(i,Ny-1)+(hy^2)*T(i,Ny))/(2*a1*tau*(1-alfa(i,Ny-1))
+(hy^2));

% Определение неизвестного поля температуры
for j=(Ny-1):(-1):1
T(i,j)=alfa(i,j)*T(i,j+1)+beta(i,j);
end;
end;

for i=Nx3+1:Nx4
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
alfa(i,1)=2*a1*tau/(2*a1*tau+(hy^2));
beta(i,1)=(hy^2)*T(i,1)/(2*a1*tau+(hy^2));

for j=2:Ny3-1
        Ai=lamda1/(hy^2);
        Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
        Ci=lamda1/(hy^2);
        Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
alfa(Ny3,j)=2*a1*a4*tau*lamda4/(2*a1*a4*tau*(lamda4+lamda1*(1-alfa(i,Ny3-1))
+(hy^2)*(a1*lamda4+a4*lamda1)));

beta(Ny3,j)=(2*a1*a4*tau*lamda1*beta(i,Ny3-1)+(hy^2)*(a1*lamda4+a4*lamda1)
*T(i,Ny3))/(2*a1*a4*tau*(lamda4+lamda1*(1-alfa(i,Ny3-1)))+(hy^2)
*(a1*lamda4+a4*lamda1));

for j=Ny3+1:Ny6-1
        Ai=lamda4/(hy^2);
        Bi=2*lamda4/(hy^2)+ro4*c4/tau;
        Ci=lamda4/(hy^2);
        Fi=-ro4*c4*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

alfa(Ny6,j)=2*a4*a1*tau*lamda1/(2*a4*a1*tau*(lamda1+lamda4*(1-alfa(i,Ny6-1))
+(hy^2)*(a4*lamda1+a1*lamda4)));

beta(Ny6,j)=(2*a4*a1*tau*lamda4*beta(i,Ny6-1)+(hy^2)*(a4*lamda1+a1*lamda4)
*T(i,Ny6))/(2*a4*a1*tau*(lamda1+lamda4*(1-alfa(i,Ny6-1)))+(hy^2)
*(a4*lamda1+a1*lamda4));

for j=Ny6+1:Ny
        Ai=lamda1/(hy^2);
        Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
        Ci=lamda1/(hy^2);
        Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
        beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

```

```

% Значение температуры на верхней границе
T(i,Ny)=(2*a1*tau*beta(i,Ny-1)+(hy^2)*T(i,Ny))/(2*a1*tau*(1-alfa(i,Ny-1))
+(hy^2));

% Определение неизвестного поля температуры
forj=(Ny-1):(-1):1
T(i,j)=alfa(i,j)*T(i,j+1)+beta(i,j);
end;
end;

fori=Nx4+1:Nx
% Определение начальных прогоночных коэффициентов на основелевого граничного
условия
alfa(i,1)=2*a1*tau/(2*a1*tau+(hy^2));
beta(i,1)=(hy^2)*T(i,1)/(2*a1*tau+(hy^2));

for j=2:Ny4-1
    Ai=lamda1/(hy^2);
    Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hy^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

% Определение прогоночных коэффициентов на границе раздела двух сред
alfa(Ny4,j)=2*a1*a5*tau*lamda5/(2*a1*a5*tau*(lamda5+lamda1*(1-alfa(i,Ny4-1)))
+(hy^2)*(a1*lamda5+a5*lamda1));

beta(Ny4,j)=(2*a1*a5*tau*lamda1*beta(i,Ny4-1)+(hy^2)*(a1*lamda5+a5*lamda1)
*T(i,Ny4))/(2*a1*a5*tau*(lamda5+lamda1*(1-alfa(i,Ny4-1)))+(hy^2)
*(a1*lamda5+a5*lamda1));

for j=Ny4+1:Ny5-1
    Ai=lamda5/(hy^2);
    Bi=2*lamda5/(hy^2)+ro5*c5/tau;
    Ci=lamda5/(hy^2);
    Fi=-ro5*c5*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

alfa(Ny5,j)=2*a5*a1*tau*lamda1/(2*a5*a1*tau*(lamda1+lamda5*(1-alfa(i,Ny5-1)))
+(hy^2)*(a5*lamda1+a1*lamda5));

beta(Ny5,j)=(2*a5*a1*tau*lamda5*beta(i,Ny5-1)+(hy^2)*(a5*lamda1+a1*lamda5)
*T(i,Ny5))/(2*a5*a1*tau*(lamda1+lamda5*(1-alfa(i,Ny5-1)))+(hy^2)
*(a5*lamda1+a1*lamda5));

for j=Ny5+1:Ny
    Ai=lamda1/(hy^2);
    Bi=2*lamda1/(hy^2)+ro1*c1/tau;
    Ci=lamda1/(hy^2);
    Fi=-ro1*c1*T(i,j)/tau;
    alfa(i,j)=Ai/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
    beta(i,j)=(Ci*beta(i,j-1)-Fi)/(Bi-Ci*alfa(i,j-1));
end;

% Значение температуры на верхней границе
T(i,Ny)=(2*a1*tau*beta(i,Ny-1)+(hy^2)*T(i,Ny))/(2*a1*tau*(1-alfa(i,Ny-1))
+(hy^2));

```

```

% Определение неизвестного поля температуры
for j=(Ny-1):(-1):1
T(i,j)=alfa(i,j)*T(i,j+1)+beta(i,j);
end;
end;

% Условиеостановацикла
fori=1:Nx
for j=1:Ny
if abs(T(Nx4,Ny4)-T04)<deltaT
maxt=1;
                txt1=1;
end;
end;
end;

% Вывод температуры в точке с заданными координатами
T(Nx4,Ny4)

% Вывод результата и построение графика
figure(1);
i=(1:1:Nx);
        j=(1:1:Ny);
T(i,j);
        surf(1:Nx,1:Ny,T(1:Nx,1:Ny))
end;

```

Приложение В Концепция стартап-проекта

Концепция стартап-проекта

Исследование влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Афанасьева Виктория Валериевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кравченко Евгений Владимирович	К.Т.Н.		

Со-руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Андриенко Олег Владимирович	К.Э.Н.		

В рамках магистерской диссертации разрабатывается экспериментальный стенд для исследования влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей.

Целью раздела является определение перспективности и экономической эффективности экспериментального стенда.

Достижение цели целесообразно решить следующими задачами:

- 1) описать продукт;
- 2) сегментировать рынок потребителей;
- 3) посчитать объем и емкость рынка;
- 4) проанализировать современное состояние и перспективы развития отрасли;
- 5) посчитать планируемую стоимость продукта;
- 6) оценить конкурентоспособность продукта;
- 7) построить бизнес-модель проекта;
- 8) ознакомиться со способами защиты интеллектуальной собственности;
- 9) составить стратегию продвижения продукта на рынок.

1 Описание продукта как результата НИР

Разработан экспериментальный стенд для исследования влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей.

Разработанный экспериментальный стенд позволит отслеживать процесс нагрева светодиодных излучателей в течении времени и предупредить их выход из строя при использовании различных теплоотводов.

Основными преимуществами данного экспериментального стенда являются простота эксплуатации, возможность расширения системы, возможность проведения экспериментов с использованием различных типов радиаторов и светодиодов, автоматизированная система управления экспериментальным стендом имеет удобную для пользователя SCADA

систему. Благодаря наглядности SCADA, можно отслеживать процесс нагревания светодиода и быстро отреагировать на какие-либо изменения системы.

2 Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта

Для составления карты сегментирования были выбраны следующие критерии: социально-демографические и географические [64]. Карта сегментирования представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Карта сегментирования по покупке разработанного экспериментального стенда

Критерий сегментирования	Сегмент	Лояльные покупатели	Непостоянные покупатели	Никогда не купят
Социально-демографический критерий				
Возраст, лет	18-24			+
	25-40	+	+	
	40-55	+	+	
	55+			+
Род занятий	Научный работник		+	
	Руководитель в сфере образования	+	+	
Географический критерий				
Города по численности населения, тысяч человек	Малые (меньше 50)	+		
	Средние (50-100)	+		
	Большие (100-250)	+	+	
	Крупные (250-1000)	+	+	
	Крупнейшие (свыше 1000)	+	+	

Данные, представленные в таблице 2.1, свидетельствуют о том, что целевой аудиторией являются научные работники и руководители в сфере образования возрастом от 25 до 55 лет. Если рассматривать географический критерий, то покупателями стендов могут быть как малые города, так и

крупнейшие, но в крупных городах можно столкнуться с конкуренцией данного товара.

3 Объем и емкость рынка

Разработанный стенд можно применить в различных сферах, например, в учебных заведениях, в различных научно-исследовательских институтах (НИИ) в качестве лабораторного стенда, в световой промышленности, оборонной и космической промышленности для тестирования светодиодных излучателей.

На сегодняшний день в России 558 вузов, а технических и технологических колледжей и техникумов в России 962. Количество отделений в Российской академии наук (РАН), в которых можно использовать разработанный экспериментальный стенд 69 отделений (отделения в сфере энергетики, машиностроения, механики и процессов управления и т.д.).

Количество научно-исследовательских институтов в России в сферах промышленного производства и образования составляет 1050 организаций.

Производством светотехники в России занимаются около 30 компаний, лидирующие позиции занимают такие компании, как ЗАО «Оптоган» (г. Санкт-Петербург), ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» (г. Санкт-Петербург), ООО «Фокус» (Московская обл.), ООО «Планар-Светотехника» (г. Санкт-Петербург), ООО «Завод «Световые Технологии»(г. Рязань), ЗАО «Производственное объединение «Электроточприбор» (г. Омск), ЗАО «Связь Инжиниринг» (г. Москва), ООО «ИНТЕССО» (Ростовская обл.) и т.д. Также в разработке новых решений и спонсировании светодиодной техники задействована компания ОАО «Роснано». АО «Росэлектроника» обеспечивает огромный сектор электронно-компонентной базы Российской Федерации, что касается и светодиодной продукции, объединяет около 130 компаний.

Светотехническое оборудование широко применяется в обороной и космической промышленности для панелей управления ракетными комплексами, пилотируемыми летательными аппаратами, систем слежения и т.д. Так, например, компания ОАО «Дальприбор» - предприятие оборонно-промышленного комплекса Приморского края занимается производством светодиодных излучателей. АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» разрабатывает зенитные ракетные комплексы, радиолокационные комплексы, автоматизированные системы управления, занимается производством оптоэлектронных компонентов, концерн объединяет более 60 предприятий по всей России. Компаний задействованных в оборонной промышленности насчитывается 19 организаций. В космической индустрии задействовано около 50 предприятий России. АО «Информационные спутниковые системы» занимается разработкой конструкций космических аппаратов, комплексов наземного оборудования и объединяет около 120 предприятий.

В таблице 3.1 представлены факторы для расчета емкости рынка.

Таблица 3.1 – Факторы для расчета емкости рынка

Факторы	Описание
Период	1 год
Границы рынка	Россия
Критерий для расчета потенциала	Возможный уровень потребления
Аудитория	Образовательные учреждения (вузы, колледжи, техникумы); НИИ, РАН, производители светотехники; оборонная промышленность; космическая промышленность.
Товарная группа	Экспериментальный стенд
Единица измерения	Единица продукции

Емкость рынка составляет 3050 стендов в год. Так как срок службы экспериментального стенда составляет три года, то спрос будет регулярным. Экспериментальные стенды будут не только продаваться, но и обслуживаться. Помимо бесплатного гарантийного обслуживания, будет обеспечиваться и расширенное обслуживание.

4 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли

В настоящее время в России и в мире происходит рост использования инновационных энергоэффективных технологий. Светодиодные технологии выступают в числе наиболее перспективных источников освещения.

Светодиоды широко используются в различных сферах:

- 1) в уличном, промышленном, бытовом освещении;
- 2) в качестве индикаторов;
- 3) в светофорах и других дорожных знаках и указателях;
- 4) в подсветке жидкокристаллических экранов (мобильные телефоны, мониторы, телевизоры и т. д.);
- 5) в электронных схемах.

В таблице 4.1 приведены тенденции развития рынка светодиодов в зависимости от года.

Таблица 4.1 – Развитие рынка светодиодов

		Год		
		2008	2015	2019
Сфера применения	Мобильные/портативные устройства	40%	30%	20%
	Электронные бытовые и промышленные устройства	28%	28%	30%
	Сигнальные приборы	2%	3%	5%
	Транспортные средства	10%	11%	10%
	Общее освещение	12%	18%	20%
	Декоративная подсветка	8%	10%	15%

Объем потребления светодиодов увеличивается в сегменте электронных бытовых и промышленных устройств, сигнальных приборов, в сегменте общего освещения (бытовое, промышленное, уличное освещение) и в сегменте декоративной подсветки.

Так как световая отрасль развивается, необходимо обеспечить качество светодиодных источников. Поэтому для подбора эффективного теплоотвода для светодиодных излучателей необходимо использовать экспериментальный стенд.

5 Планируемая стоимость продукта

В стоимость продукта входят: материальные затраты, затраты на заработную плату, затраты на социальные отчисления, накладные расходы, коммерческие расходы.

Для начала производственной деятельности необходимо осуществить закупку основных средств и оформление объектов интеллектуальной собственности. Данные о затратах на приобретение основных средств и нематериальных активов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные средства и нематериальные активы

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб.
Паяльник	1	590
Набор отверток	1	450
Мультиметр	1	850
Ноутбук HP 15-rb020ur	2	31 998
Компьютерная мышь DEXPCM-408BU	2	400
МФУ Pantum M6500	1	6 900
Телефон проводной Ritmix RT-330	1	600
Офисный стол	2	3 586
Офисный стул	4	4 036
Монтажный стол	1	10 820
Патентование экспериментального стенда	1	60 000
Итого:		120 230

Данные о затратах на материалы и комплектующие сведены в таблицу 5.2. Данные приведены для одного стенда изготовленного за 1 неделю и для 4 стендов изготовленных за 1 месяц.

Таблица 5.2 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб.
Провод ПВС 3x1,5	9 м	263
Провод ПВС 1x1	5 м	121
Светодиодный модуль	1	150
Радиатор алюминиевый	1	60
Медная подложка	1	819
Керамическая подложка	1	674
Силиконовая подложка	1	290
Термопаста	1	190
Программируемый логический контроллер ОВЕН-150-220	1	17 346
Блок питания БП02Б-Д1-24	1	1 121
Нормирующий преобразователь ОВЕН НПП-1	1	3 363
Термопара ТП301-0,5/1000-ТХА (К)	1	627
Осевой вентилятор "Gostime"	1	600
Звуковое сигнальное устройство Маяк-220-3М1	1	154
Реле РЭК 77/3	1	301
Монтажная панель	1	2 510
DIN-рейка	2	300
Итого для 1 стенда:		28 889
Итого для 4 стендов:		115 556

Затраты на заработную плату считаются для руководителя проекта, 2 монтажников и сервисного инженера. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Данные по заработной плате приводятся за 1 неделю, так как за неделю можно изготовить 1 стенд и за 1 месяц при изготовлении 4 стендов. Данные по заработной плате сведены в таблице 5.3. Средняя заработная плата рассматривалась по Томской области за январь-февраль 2019 года [65].

Таблица 5.3 – Заработная плата участников проекта

№ п/п	Исполнители по категориям	Количество человек	Заработная плата по тарифу (окладам) за 1 неделю, руб.	Заработная плата по тарифу (окладам) за 1 месяц, руб.
1	Руководитель проекта	1	12 308	49 230
2	Монтажник	2	11 908	47 632
3	Сервисный инженер	1	7 500	30 000
Итого:			31 716	126 862

Отчисления на социальные нужды – это обязательные отчисления предприятий во внебюджетные социальные фонды [66]. К ним относятся отчисления:

- 1) в пенсионный фонд;
- 2) в фонд социального страхования;
- 3) в фонд занятости;
- 4) в фонды обязательного медицинского страхования.

Социальные отчисления рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{рук.}} + Z_{\text{монт.}} + Z_{\text{серв.инж.}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, принимается в размере 30 % от заработной платы участников проекта и 0,4 % принимается страховой взнос на травматизм.

Социальные отчисления за 1 неделю:

$$C_{\text{внеб}} = 0,304 \cdot (12308 + 11908 + 7500) = 9\,642 \text{ руб.}$$

Социальные отчисления за 1 месяц:

$$C_{\text{внеб}} = 0,304 \cdot (49\,230 + 47\,632 + 30\,000) = 38\,566 \text{ руб.}$$

Накладные расходы – это косвенные издержки предприятия, возникающие дополнительно к основным затратам предприятия по производству и реализации продукции, работ, услуг [67]. Накладные расходы включают в себя:

- 1) арендную плату за офис, склад продукции;
- 2) содержание офиса, оплату коммунальных услуг;
- 3) расходы на услуги связи (телефон, интернет) и так далее.
- 4) услуги банка;
- 5) услуги клининговой компании;
- 6) канцтовары;
- 7) государственную пошлину за поддержание в силе патента на полезную модель;
- 8) амортизацию основных средств.

Накладные расходы приведены в таблице 5.4 за 1 месяц.

Таблица 5.4 – Накладные расходы

Наименование расходов	Цена, руб.
Арендная плата за помещение	13 000
Оплата коммунальных услуг	3 000
Телефонная связь	600
Интернет	549
Услуги банка (обслуживание счета)	200
Услуги клининговой компании	8 000
Канцтовары	1 000
Гос. пошлина на патент	6 200
Амортизация основных средств и нематериальных активов	3 336
Итого:	35 885

Амортизация основных средств и нематериальных активов считается для таблицы 4. Срок службы основных средств и нематериальных активов принимается 3 года. Время эксплуатации принимается 1 год. Стоимость основных средств и нематериальных активов составляет 120 230 руб. Тогда ежегодная сумма амортизации составляет 40 037 руб. Ежемесячная сумма амортизации составляет 3 336 руб.

В коммерческие расходы входит:

- 1) доставка оборудования для сборки стенда;

2) услуги рекламного агентства.

Коммерческие расходы за 1 месяц приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Коммерческие расходы

Наименование расходов	Цена, руб.
Доставка оборудования	1 040
Услуги рекламного агентства (создание сайта)	12 995
Итого:	14 035

Смета затрат за 1 месяц приведена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Смета затрат

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Стоимость комплектующих	115 556
Затраты на заработную плату	126 862
Затраты на социальные отчисления	38 566
Накладные расходы	35 885
Коммерческие расходы	14 035
Итого:	330 904
Прибыль	49 636
Итого:	380 540

Затраты на 1 стенд составляют 82 726 руб.

Размер прибыли принимается в размере 15 % от всех затрат и составляет за 1 стенд 12 409 руб., за 4 стенда составляет 49 636 руб.

Планируемая стоимость 1 экспериментального стенда составит 95 135 руб. Основными затратами являются затраты на покупку оборудования и затраты на заработную плату.

6 Конкурентные преимущества создаваемого продукта

Подбором эффективного охлаждения для светодиодов занимается множество компаний, но не так много компаний занимающихся разработкой лабораторных стендов для исследования тепловых характеристик светодиодов. Компании "Учтех-Профи" и "Денар" производят лабораторные стенды для различных учебных заведений в России. В таблице 6.1 приведена

сравнительная характеристика стендов "Системы светодиодного освещения" (компания "Учтех-Профи"), "Светотехника" (компания "Денар") с разработанным стендом.

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,2	5	5	2	1	1	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
3. Помехоустойчивость	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,12
4. Энергоэкономичность	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
5. Надежность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Безопасность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
7. Простота эксплуатации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
8. Наличие пользовательского интерфейса	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	5	1	1	0,35	0,07	0,07
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	4	5	4	0,04	0,05	0,04
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	1	5	5	0,01	0,05	0,05
3. Цена	0,09	5	1	2	0,45	0,09	0,18
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Финансирование научной разработки	0,04	1	5	5	0,04	0,2	0,2
6. Срок выхода на рынок	0,01	1	5	5	0,01	0,05	0,05
Итого	1	61	66	61	4,6	4,26	3,56

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

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

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$k_k = \frac{K_\phi}{K_{кр}} = \frac{4,6}{(4,26 + 3,56) / 2} = 1,18$$

Так как $k_k > 1$, следовательно, предприятие конкурентоспособно.

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что уязвимость разработанного стенда в отличии от конкурентных лабораторных стендов связана с повышением удобства эксплуатации стенда, с низким уровнем проникновения на рынок данного стенда и проблемой финансирования разработки.

Наиболее сильным конкурентом можно считать компанию "Учтех-Профи" [68]. Стенд данной компании обладает высоким уровнем проникновения на рынок, располагает широкой базой покупателей, но данный стенд не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе, необходимой для автоматизации процессов, а именно, нет возможности управления стендом с персонального компьютера.

Преимуществом собственной разработки является простота эксплуатации стенда, есть возможность управления частью установки с персонального компьютера, более низкая стоимость по сравнению со стендами конкурентов.

7 Бизнес-модель проекта. Производственный план и план продаж

Для составления бизнес-модели за основу была взята бизнес-модель Остервальдера, приведенная в таблице 7.1.

Таблица 7.1 –Бизнес-модель проекта

Решение	Проблема
Разработанный экспериментальный стенд прост в эксплуатации, имеет относительно не высокую стоимость, предполагает гарантийное и расширенное сервисное обслуживание.	Для клиента важно качество продукции, простота использования и приемлемая цена. Существующие стенды имеют высокую стоимость.

Продолжение таблицы 7.1

<p>Ключевые партнеры</p> <p>-отношения с поставщиками для гарантии получения качественных комплектующих и скидок.</p>	<p>Ключевые виды деятельности</p> <p>-производство экспериментальных стендов; -поддержание взаимодействия с поставщиками и покупателями; -сервисное обслуживание стендов.</p>	<p>Ценностные предложения</p> <p>- простота эксплуатации стенда; -автоматизация системы управления стендом; - приемлемая стоимость; - сервисное обслуживание стенда.</p>	<p>Взаимоотношения с клиентами</p> <p>- через сайт; -интернет-магазин; - прямые звонки потенциальным покупателям.</p>	<p>Потребительские сегменты</p> <p>Научные работники, руководители в сфере образования возрастом от 25 до 55 лет.</p>
	<p>Ключевые ресурсы</p> <p>-интеллектуальные; -человеческие.</p>		<p>Каналы сбыта</p> <p>-образовательные учреждения; -НИИ; -РАН; -светотехническая промышленность; -оборонная промышленность; -космическая промышленность.</p>	
<p>Структура издержек</p> <p>-стоимость комплектующих; - заработная плата участникам проекта; -социальные отчисления; - накладные расходы; - коммерческие расходы.</p>		<p>Потоки поступления доходов</p> <p>- прибыль от продаж экспериментальных стендов; - прибыль от расширенного сервисного обслуживания стендов (настройка параметров автоматизированной системы управления, квалифицированная поддержка по вопросам эксплуатации стенда, особенностью функционирования системы, возможностью модернизации и т.д.).</p>		

Производственный план и план продаж приведены в таблицах 7.2 и 7.3.

Таблица 7.2 – Производственный план

Время	Количество проданных стендов за время	Количество обслуживаемых стендов за время
1 месяц	4 шт.	4 шт.
1 год	48 шт.	48 шт.
2 года	96 шт.	96 шт.
3 года	144 шт.	144 шт.
4 года	192 шт.	144 шт.
5 лет	240 шт.	192 шт.

Срок службы стенда принимается 3 года.

Таблица 7.3 – План продаж

Время	Количество проданных стендов за время, шт.	Прибыль от продажи стендов, рублей	Прибыль от сервисного обслуживания, руб.	Расходы, руб.	Стоимость стендов, руб.	Общая прибыль, руб.
1 месяц	4	49 636	38 054	330 904	380 540	87 690
1 год	48	595 632	456 648	3 970 848	4 566 480	1 052 280
2 года	96	1 191 264	913 296	7 941 696	9 132 960	2 104 560
3 года	144	1 786 896	1 369 944	11 912 544	13 699 440	3 156 840
4 года	192	2 382 528	1 369 944	15 883 392	18 265 920	3 752 472
5 лет	240	2 978 160	1 826 592	18 530 624	21 310 240	4 804 752

Прибыль от сервисного обслуживания принимается в размере 10 % от стоимости товара.

8 Интеллектуальная собственность

Разработанный экспериментальный стенд для исследования влияния температуры на эксплуатационные характеристики светодиодных излучателей выступает как полезная модель.

За нарушение интеллектуальных прав законом предусмотрена уголовная, административная, гражданско-правовая и дисциплинарная ответственность.

Патент на полезную модель действует 10 лет. Отсчет начинается с даты поступления заявки в патентное ведомство. Общие требования к порядку подачи и содержанию заявки установлены статьями 1374-1377 ГК РФ. Заявленной полезной модели с даты публикации сведений о заявке до даты публикации сведений о выдаче патента предоставляется временная правовая охрана(ст. 1392 ГК РФ). Условием для патентоспособности полезной модели является ее новизна модели и промышленная применимость. Патентное право включает в себя:

- 1) Право авторства, т.е. возможность признаваться автором полезной модели. Охраняется бессрочно.

- 2) Право на получение патента, которое может перейти другим физическим или юридическим лицам в результате правопреемства.
- 3) Исключительное право использовать объекты патентных прав по усмотрению патентообладателя.

Вопросы защиты прав автором и патентообладателей регулируются положениями параграфа 8 главы 72 ГК РФ.

Защита субъективных прав в сфере патентного права осуществляется не только в судебном, но и в административном порядке.

В судебном порядке рассматриваются следующие споры:

- 1) об авторстве полезной модели;
- 2) установлении патентообладателя;
- 3) нарушении исключительного права на полезную модель;
- 4) заключении, об исполнении, об изменении и о прекращении договоров о передаче исключительного права (отчуждении патента) и лицензионных договоров на использование полезной модели;
- 5) праве преждепользования;
- 6) праве послепользования;
- 7) размере, сроке и порядке выплаты вознаграждения автору полезной модели;
- 8) размере, сроке и порядке выплаты компенсаций.

Компенсация по выбору правообладателя может быть определена:

- 1) в размере от 10 тыс. руб. до 5 млн. руб. Точный размер компенсации определяет суд в зависимости от характера нарушения;
- 2) в размере двукратной стоимости права использования полезной модели. Эта стоимость определяется исходя из цены, которая при сравнимых обстоятельствах обычно взимается за правомерное использование соответствующей полезной модели тем способом, который использовал нарушитель.

В России на данный момент существует 188 патентов на создание экспериментальных стендов для исследования светодиодов, что является хорошим показателем для развития данных разработок.

9 Стратегия продвижения продукта на рынок

Для продвижения продукта на рынок необходимо обозначить сильные и слабые стороны разработки т.е. провести SWOT-анализ [69]. Результаты проведенного анализа приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – SWOT-анализ

	Сильные стороны разработанного стенда: С1. Простота конструкции; С2. Возможность использования отечественного оборудования; С3. Удобный интерфейс и доступная инструкция пользования стендом. С4. Сервисное обслуживание стенда.	Слабые стороны разработанного стенда: Сл1. Наличие крупных конкурентов; Сл2. Небольшой начальный капитал; Сл3. Слабая реклама продукции.
Возможности: В1. Использование различных видов и способов теплоотвода; В2. Возможность создания лабораторного стенда; материалов; В3. Возможность расширения системы.	В1В3С1. Благодаря простоте конструкции можно использовать неограниченное количество различных видов теплоотводящих материалов и даже различные светодиоды. В2С1. Благодаря простоте использования стенда его можно использовать в качестве лабораторного стенда в учебных заведениях.	В2Сл1Сл2. Наличие конкурентов и малого начального капитала может повлиять на продвижение экспериментального стенда. В2Сл3. Слабая реклама может помешать продвижению на рынок экспериментального стенда.
Угрозы: У1. Проблемы с продвижением продукции из-за развитой инфраструктуры; У2. Низкий уровень выхода на рынок; У3. Появление аналогов данной продукции или технологии; У4. Ухудшение экономической ситуации; У5. Непонятная для пользователя автоматизированная система управления стендом.	У5С1С3С4. Простота конструкции, удобный интерфейс и доступная инструкция позволит избежать проблемы с запуском и работой со стендом. При неполадках можно воспользоваться предоставляемыми услугами сервисного обслуживания. У1С1С2С3С4. Простота конструкции, удобный интерфейс, сервисное обслуживание, возможность использования отечественного оборудования позволит продвинуть продукцию на рынок.	У1У2У3Сл1Сл3. Наличие крупных конкурентов и слабая реклама может повлиять на продвижение продукции. У2Сл2. Небольшой начальный капитал может повлиять на низкий уровень выхода на рынок. У2У4Сл2. Небольшой начальный капитал и ухудшение экономической ситуации могут помешать выходу продукции на рынок.

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что разработанный стенд имеет как сильные, так и слабые стороны обусловленные возможностями и внешними угрозами. Согласно этому можно обозначить основные стратегические направления по продвижению экспериментального стенда на рынок в ближайшем будущем:

1) Привлечение денежных ресурсов для продвижения стенда на рынок;

2) Организация рекламы разработанного стенда.

Денежные ресурсы можно получить участвуя в различных грантах.

Предоставляют гранты:

1) Государство в лице: Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере – выплачивают не более 1 млн. рублей новичкам (программа «Старт») и 200 000 рублей «умникам».

2) Фонд «Сколково» – выделяет от 5 до 150 млн рублей на научные разработки в области биомедицины, ядерных, космических и энергоэффективных технологий.

3) Служба занятости Томской области содействует открытию собственного дела денежными средствами в размере 100 000 рублей.

4) Министерство образования и науки Российской Федерации. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 гг. (ФЦП ИР).

5) Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ).

6) Российский научный фонд (РНФ).

7) Фонд содействия инновациям (Фонд Бортника) в рамках программы «Умник» оказывает поддержку талантливой молодежи, ориентированной на инновационную деятельность. Участники программы - молодые ученые в возрасте от 18 до 30 лет. Лучшие

проекты получают финансовую поддержку в размере 500 тысяч рублей на два года.

8) АО «РОСНАНО».

Для продвижения продукции необходима реклама. Нужно создать сайт, где будет указана вся необходимая информация, прайс, контакты. В дальнейшем можно создать сайт интернет-магазина, через который можно осуществлять покупки. Можно задействовать канал телемаркетинга т.е. прямые звонки потенциальным покупателям.

Создание сайта и интернет-магазина является перспективным способом привлечения клиентов, каждый месяц в поисковой системе Yandex появляется более 250 запросов на тему покупки экспериментальных стендов для исследования светодиодных излучателей по " wordstat.yandex.ru ".

Для продвижения разработки решено использовать 50 % собственных денежных средств и 50 % денежных средств от гранта.

В данном разделе были отражены:

- 1) Сегменты рынка (научные работники и руководители в сфере образования возрастом от 25 до 55 лет.).
- 2) Объем и емкость рынка (образовательные учреждения, научно-исследовательские институты, светотехническая промышленность, оборонная и космическая промышленность).
- 3) Перспективы развития отрасли. Объем потребления светодиодов увеличивается в электронных бытовых и промышленных устройствах, общем и декоративном освещении.
- 4) Планируемая стоимость экспериментального стенда (95 135 рублей за 1 стенд).
- 5) Конкурентоспособность экспериментального стенда. Стенд является конкурентоспособным, так как имеет возможность управления с персонального компьютера, более низкую стоимость, прост в эксплуатации.
- 6) Бизнес-модель проекта.

- 7) Способы защиты интеллектуальной собственности (разработанный стенд выступает как полезная модель).
- 8) Стратегия продвижения стенда на рынок (привлечение денежных ресурсов с помощью грантов, организация рекламы с помощью создания сайта, интернет-магазина и осуществления прямых звонков потенциальным клиентам).

Приложение Г
(справочное)

Designing an Automated Control System for LED Module

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Афанасьева Виктория Валериевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кравченко Евгений Владимирович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения материаловедения ИШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черемисина Харрер Инна Алексеевна	к.ф.н., доцент		

Abstract

Keywords: automated control system, LED, overheating, heat sink, radiator, fan.

The object of the study is the LED module.

Objective: to study the effect of temperature on the operational characteristics of the LED emitter.

The existing solutions for heat removal methods were considered, equipment for creating an experimental stand was selected, a block diagram, a functional diagram, an electrical circuit, and hookup diagram were developed. The experiments were carried out on determination of the most effective method of heat removal. A mathematical model of the temperature field distribution of the LED emitter in the Matlab program has been developed. As a result of the work, an experimental stand was created to study the effect of temperature on the operational characteristics of LED emitters, the system was launched and adjusted.

The main advantage of this experimental stand is its simplicity of operation, the possibility of expanding the system, the possibility of conducting experiments using various types of radiators and LEDs, the automated control system of the experimental stand has a user-friendly SCADA system and a Codesys programming environment for the controller. Thanks to the SCADA system, you can track the process and quickly react to any changes in the system.

Introduction

The work investigates the effect of temperature on the operational characteristics of the LED emitter.

The light emitting diode (LED) is a semiconductor device that converts electrical energy into light as a result of the radiative recombination of carriers (electron and hole) in the p-n junction polarized in the forward direction.

The cathode and the anode are fixed at the base of the LED. This device is hermetically sealed from above with a lens. A crystal is fixed on the cathode.

Heat sink is used for stable LED operation. Heat sink is needed to prevent overheating of the crystal. Construction of the LED is shown in Figure 1.

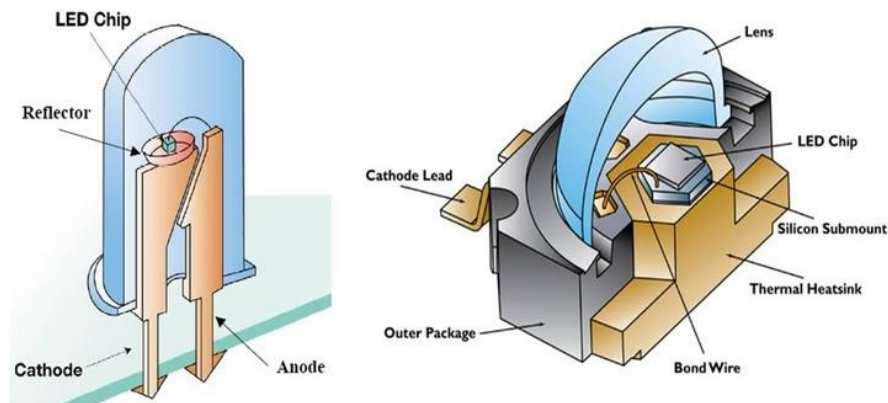


Figure 1– Construction of the LED

The object of study is the LED module, which is part of the experimental stand. The LED module is a plate with a diameter of 40 mm with 14 LEDs of 7 W each (figure 2).

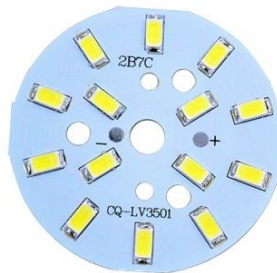


Figure 2 – LED module

Table 1 –Technical specifications of the LED Module

Diameter of plate, mm	40
Operating voltage, V	220
Power dissipation, W	7
Luminescence angle	120
Luminous flux, lm	840
LED type	SMD
Number of LEDs	14
Glow color, K	White (4500)

Lighting systems such as filament glow lamps and fluorescent tubes emit light by a heating or chemical process, whereas LEDs produce light through photons that are emitted from semiconductor junction areas. Hence, LEDs have

advantages such as longevity, higher efficiency, and smaller dimensions over other lighting systems.

Also they have many advantages, such as low energy consumption, easy installation, flexible construction, environmental compliance, higher light output with the same power consumption, rapid response, and longevity. Because of reduction in the required energy, higher efficiency LEDs will reduce the using of fossil fuel that will provide a decrease in the environmental pollution and global warming caused by carbon dioxide and other gases.

However, the minus is that the initial price of LEDs is high and their performance largely depends on the ambient temperature of the operating environment. An increase crystal temperature of the LED directly reduces its lifetime as well as its lighting power and photometric flux. The nature of LEDs is such that they are capable of converting approximately 20...30% of unused energy to light and convert the rest of the energy to heat. Therefore, the provision of normal temperature conditions for LED lighting devices is an actual problem.

Article [88] solves the problem of the heat sink of a compact recessed LED. An aluminum trapezoidal radiator and an annular radiator with copper foam were developed, which were mounted on a 10 W compact recessed LED panel. LED lamp has been tested in a small enclosed space with high ambient temperature while. The choice of radiators was carried out using numerical simulation. A climate chamber was used to simulate high ambient temperatures.

In work [89] the powerful recessed LED emitter was considered. A radiator was used to cool the LED. The tests were carried out in a climate chamber with the help of experiments and numerical simulations as well as in work [88]. The work analyzed the effects of the chamber diameter and the parameters of fin on the heat dissipation performance. The numerical simulation results were compared with the measured values by experiment. The results showed that the fin thickness, the fin number, the fin height and the chamber diameter were the factors which affected the performance of radiator. The experiments were conducted using a radiator with liquid cooling (the working fluid is acetone).

It is necessary to provide an effective heat sink system when designing a lighting system based on LEDs. The p-n junction temperature should be within 60...70 °C on a heat-removing base and about 90 °C on a crystal for low-power LEDs and 150 °C on a crystal for high-power LEDs from 10 W.

There are various ways of cooling LEDs, for example, a heat sink based on an aluminum radiator, ribbed and wire radiators, special heat-conducting materials are used, for example, adhesives, pastes, materials for filling air gaps, insulating plates.

Radiators for cooling LEDs vary in design and material. You must meet the conditions when choosing a material for the manufacture of the radiator: its thermal conductivity must be at least 5...10 watts. Materials with a smaller parameter will not be able to transfer all the heat that air can absorb. And radiators with heat conductivity higher than 10 W will not increase its efficiency, but will entail unjustified financial expenses.

The thermal conductivity of aluminum is 202...236 W/m·K and it depends on the purity of the alloy. Aluminum is easily amenable to various types of machining. To increase the heat dissipation properties of the aluminum radiator, it is anodized (coated in black).

The main disadvantage of the design of the heat sink based on the aluminum radiator is the multi-layered and massive construction. In addition to the radiator, special heat-conducting materials are used (insulating plates, adhesive substances, pastes, materials for filling air gaps, etc.).

Copper has a higher thermal conductivity than aluminum, so in some cases its use for the manufacture of radiators is justified. In general, this material is inferior to aluminum in ease of construction and price range.

A promising way of cooling LEDs is the use of ceramic radiators. These radiators have low thermal resistance, high mechanical and dielectric strength, excellent adhesion to metals.

Also, there are liquid radiators. Cooling in this case is carried out through the LED corps, or through the surface of the LED chip. When the LED heats the

bottom of radiator, the working fluid (acetone) in the boiling structure is heated and evaporated. The steam rapidly flows and fills the whole chamber. When the steam contacts the condensing end, it rapidly condenses and releases the latent heat. Then, the condensed working fluid returns to the evaporation surface under the action of gravity. With this type of cycle, the heat continuously transfers from the evaporation surface to the condensation surface, and then dissipates into the atmosphere through the cooling fins.

Article [90] reviews powerful LED arrays. The thermal and hydrodynamic performance of liquid active cooling devices was investigated for high-power LED arrays fabricated on InGaN/sapphire chips. A microjet solution and minichannel cold plates were investigated using numerical simulations. The effective thermal resistance, pressure drop and pumping power requirements were calculated for all the cold plates investigated. Overall, it was found that the minichannel cold plate design is a better thermal management option than microjets for the cooling of high-power LEDs.

The following requirements are imposed on the choice of radiator: the radiator material must be with a high thermal conductivity value, a radiator with an area of 32 ... 65 cm² is required for 1 W of dissipated heat.

In 2014, scientists of the Kiev Polytechnic Institute proposed a new construction of a powerful LED lighting device with a highly efficient cooling system based on pulsation heat pipes.

Paper [91] reports on thermal characterization of high power LED arrays. The study is conducted using a heat pipe. The junction temperatures of LED array with and without heat pipe at the same air velocity of 7 m/s were 87,6 °C, and 63,3 °C, respectively. The corresponding thermal resistances of LED array were measured to be 1,8 K/W and 2,71 K/W. It was found out that the measured temperatures and thermal resistance of LED array are increased with the input power and ambient temperature, but decreased with the air velocity. An analytical thermal model was proposed and was verified by comparison with experimental data.

The most popular technical means used to remove heat from the LEDs are plates with good thermal conductivity, in which behind the dielectric layer is a layer of aluminum or copper, which serves as a radiator.

Silicone heat-conducting pastes of the company Dow Corning are often used.

Passive cooling systems are sufficient to cool low-power LEDs but not for high-power LEDs. Thus, different cooling systems, such as the integrated multifin heat sink design with a fan, cooling systems featuring a thermoelectric cooler (TEC), and heat pipe cooling devices, are used to cool high-power LEDs.

Article [92] describes the problem of cooling high power LEDs. Cooling systems were investigated to control the heat generated by the powering of high-power multichip LEDs in two different configurations (30 and 2×15 W). The following cooling systems were used in the study: an integrated multi-fin heat sink design with a fan, a cooling system with a thermoelectric cooler (TEC), and a heat pipe cooling device. According to the results, it was found that these systems are sufficient for cooling high-power LEDs. Furthermore, it was observed that the integrated multifin heat sink design with a fan was the most efficient cooling system for a 30 W high power multichip LED. The cooling system with a TE Cand 46W input power was the most efficient cooling system for 2×15 W high-power multichip LEDs.

High-power LEDs and LED devices are manufactured using different materials and operated at different levels of power and in different configurations. Cooling is crucial to ensure LED lighting lifetime and performance.

LEDs have great potential to replace traditional illumination sources like sodium vapor lamps, incandescent light bulbs or compact fluorescents. This is because of their higher luminous efficacy ($20 \dots 150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$) than that of incandescent bulbs ($10 \dots 20 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$), small size, slow failure, shock resistance, relatively long useful lifetime of 35 000 h...50 000 h or more.

According to the analytical company IMS RESEARCH, the leading LED manufacturers are such companies as: Nichia (Japan) 24 % of the market, OSRAM

(Germany) 10,5 % of the market, Philips Lumileds Lighting (USA) 6,5 % of the market, fourth place is shared by Cree Lighting (USA) and Seoul Semiconductor (South Korea). The following companies are engaged in the production of LEDs in Russia: "Optogan" (St. Petersburg), "Inter light diode systems" (St. Petersburg), "Research Institute of Semiconductors" (Tomsk).

Today, LEDs are replacing other light sources in many fields, such as indoor-outdoor and automotive lighting, screen backlighting, signal systems, and panel screen lighting.

Developed experimental stand for studying the effect of temperature on the operational characteristics of LED emitters can be used in various fields (in education, in the light industry).

Potential buyers in education may be various educational institutions: schools, colleges, universities. Laboratory stands will be used for experiments on LED emitters, it will be possible to see how the temperature of the LEDs changes when using different types of radiators, which heat sink is most effective, etc.

In Russia, "Учтех-Профи" (Uchtech-Profi) and "Денар" (Denar) companies produce laboratory stands for various educational institutions. But the advantage of the developed stand is the ease of use of the stand, it is possible to control part of the stand from a personal computer, lower cost compared to the stands of competitors.

In industry, LED emitters are used for lighting industrial premises and equipment. In the automotive industry, LEDs are used in braking signals and flashlights. LEDs are also used in the manufacture of consumer electronics (liquid crystal displays, personal computers). In radio engineering, LEDs are used in various electronic circuits.

The formulation of technical requirements for an automated control system.

Development of the structure of the automated control system

Part of the experimental stand is made in the form of an automated control system. LED module is cooled by active cooling (fan).

Automation of technological processes is an important factor in improving the efficiency and safety of technological processes. Its main advantages are: more efficient use of resources - energy, raw materials, equipment, labor and capital investments. It also improves the quality and ensures the uniformity of the products, increases the reliability of installations and equipment.

To ensure the automation of the process, the following control functions should be realized:

- 1) automatic equipment control (fan on / off to ensure the required temperature of the LED module);
- 2) remote control of the actuator.

Automated control system must realize information functions:

- 1) collection and processing of information on the state of the technological process;
- 2) presentation on the computer screen of the process with an indication of the values of the measured parameters;
- 3) display on the computer screen temperature deviations from the set values with an alarm;
- 4) fixing in the PLC data archive signals of malfunctions and temperature values when emergency protections are triggered for analysis.

The following monitoring functions should be realized:

- 1) continuous monitoring of temperature and its deviations from the specified limit values;
- 2) automatic control of the correct operation of all channels of measurement, alarm and control of the developed automated system.

Additional functions include manual entry (changing temperature limits).

The structure of the automated control system includes: a control object, temperature sensors, a signal converter, a PLC, a signaling device, an executive mechanism (relay), a regulator (fan) and an automated workplace.

An electric current is applied to the LED module, then the temperature field of the LED module is measured using thermocouples located on the LED module,

the signal from the thermocouple is fed to the converter and then to the PLC. The dependence of temperature on time is displayed on the screen of a personal computer in the form of graphs. When the crystal temperature is above 90 °C, a relay is actuated, which acts on the power supply subsystem of the fan.

In the event of an emergency, the PLC generates and transmits a signal to a warning device.

The developed automated control system of the experimental stand has certain technical requirements such as:

1) the developed automated system should be realized as a single software and hardware complex that execute the functions of information collection, information processing, data recording, control mechanisms, alarm systems;

2) the automated system should have a hierarchical structure. The upper and middle levels should be realized on the basis of microprocessor and computer equipment operating in a single local area network. The lower level should provide communication of the system with the technological equipment, ensuring measurement of the values of the technological parameters and the issuance of control signals;

3) the system should provide for the possibility of widening and modernization.

The automation object has the following technical requirements:

1) the system is connected from AC with a frequency of 50 Hz and a voltage of 220 V;

2) the temperature of the LEDs should not exceed 90 ° C;

3) temperature deviations of the LEDs should not exceed ± 2 ° C.

Development of the functional scheme of the automated control system

Functional schemes are the main technical document defining the functional block structure of individual components of automatic control, regulation and control of the technological process and equipment of the control object with devices and automation equipment.

When developing functional schemes for automation of technological processes, the following tasks are solved:

- 1) obtaining primary information about the condition of the technological process and equipment;
- 2) control and registration of technological parameters of processes and the condition of technological equipment;
- 3) the impact on the process to manage it.

The process of projection a functional scheme of the system ends with a plan that includes:

- 1) technological scheme of the automation object;
- 2) primary and other automation devices;
- 3) communication lines between technical automation devices.

Technological equipment in the functional scheme is represented in the form of simplified contours, which allow to show communication of individual parts of the technological equipment and cooperation with sensors and other technological equipment of the automation system.

In the lower part of the drawing of the functional diagram of automation, a controller located on the automation panel and an automated workplace located in the control room are shown.

Choice of equipment for automated control system

A programmable logic controller is needed to obtain real-time information from sensors, transform it and exchange it with the operator's computer, and to control the actuators.

To implement these functions we have chosen the programmable logic controller "ОВЕН" (Oven)-150-220 company "ОВЕН" (Oven). The PLC has a unified input signal of 4...20 mA and power: 220 V. It has 6 digital inputs, 4 digital outputs, 4 analog inputs and 2 analog outputs.

Temperature sensors are selected to measure the temperature of the LEDs, these sensors are located around the perimeter of the LED module. Thermocouples

are used as temperature sensors. The choice of thermocouple caused to the small diameter of thermoelectrodes, which allows to measure the temperature of small elements.

We selected converters from the company "ОВЕН" (Oven). Such converters are used to convert the input signals from the sensors to the output unified current signal. This converter has an output signal of 0...20 mA and 4...20 mA.

We used axial fans from the company "Gostime" to cool the LEDs. Its dimensions are 60x60 mm. The fan has 5 blades that rotate at a maximum speed of 2400 revolutions per minute. Still used fan company "Sapphire". This fan combines a fan and a radiator, as it has an aluminum case and is mounted on the back side of the LED module.

Electromagnetic relay is used to operate the fan. The relay operated with or without a control signal from a programmable logic controller.

To notify the operator about the exceeding the permissible temperature of the LED emitters using an alarm device.

The next step is to choose automated workplace. Automated workplace is a set of information software and hardware tools that provide data processing and automation of management functions. Ethernet is used to exchange information between the controller and the automated workplace. A personal computer was chosen to display the current system operation.