

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

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки - 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система поддержания микроклимата в фитотронной установке

УДК 004.896:631.544.45:628.8

Студент

Группа	ФИО
3-8Т42	Шепелева Анна Дмитриевна

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Воронин А.В.	к.т.н., доцент		

Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Тутов И.А.			

#### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Мезенцева И.Л.			

По разделу «Нормоконтроль»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А.В.	к.х.н.		

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Воронин А.В.	к.т.н		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов С.В.	к.т.н		

Томск – 2019 г.

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

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки - 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Отделение школы(НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Т42	Шепелева Анна Дмитриевна

Тема работы:

Система поддержания микроклимата в фитотронной установке	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	06.05.2019 № 3479/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	4 июня 2019 г.
--	----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом автоматизирования является фитотронная установка. Данная установка предназначена для использования по месту (небольшие фермы и т.д.). Автоматизированный объект должен соответствовать требованиям функциональности, модульности и эргономичности. Установка должна быть проста и удобна в использовании.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Основными пунктами аналитического обзора по литературным источникам являются: поиск аналогов фитотрона. Изучение и поиск специальной литературы по конструкции фитотронных установок. Основная задача: автоматизация фитотронной установки для максимально удобного использования. Содержание процедуры проектирования: анализ</p>

	аналогов; подбор ресурсоэффективной формы установки; подбор датчиков с учетом эффективности и экономичности; разработка подключения датчиков к микроконтроллеру; написание программы для передачи данных в управляющее устройство (компьютер, мобильный телефон); удаленный контроль за работой установки.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Мнемосхема фитотронной установки; САР.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Основная часть	Тутов Иван Андреевич
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Нормоконтроль	Суханов Алексей Викторович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Нет

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель/консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Воронин А.В.	к.т.н.		
Ст. преп. ОАР ИШИТР	Тутов И.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т42	Шепелева Анна Дмитриевна		

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

Школа - информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки - 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Уровень образования Бакалавр  
 Отделение школы (НОЦ) - Автоматизации и робототехники  
 Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.04.2019 г.	Утверждение плана-графика, формулировка и уточнение темы, анализ аналогов	
25.04.2019 г.	Работа над ВКР-Формулировка проблемы в выбранной сфере автоматизации. Написание введения.	
29.04.2019 г.	Работа над ВКР. Написание основной части	
10.05.2019 г.	Работа над математической моделью	
20.05.2019 г.	Контроль над разделами ВКР	
27.05.2019 г.	Предзащита	
04.06.2019 г.	Защита ВКР	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ОАР ИШИТР	Тутов И.А.			

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Воронин А.В.	к.т.н.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Т42	Шепелева Анна Дмитриевна

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	<b>Система поддержания микроклимата в фитотронной установке</b>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты;</li> <li>- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p>Выявление и анализ вредных факторов при проектировании и разработке фитотронной установки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- отклонение показателей микроклимата;</li> <li>- повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>- повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>- недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> </ul> <p>Выявление и анализ вредных факторов при проектировании и разработке подключения датчиков:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи;</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Оценка «жизненного цикла» фитотронной установки.</p> <p>Анализ влияния разработки установки на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу).</p> <p>Разработка мероприятий по защите окружающей среды при разработке установки.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и</li> </ul>	<p>Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при разработке проекта:</p>

эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	- пожароопасность Разработка действий в результате пожара и мер по ликвидации его последствий
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Изучение специальных правовых норм трудового законодательства относительно разработки фитотрона.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	12.04.2019
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Мезенцева И.Л.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т42	Шепелева Анна Дмитриевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-8Т42	Шепелева Анна Дмитриевна

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Принять по действующим ценам
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение сегментации рынка, выполнение анализа конкурентных технических решений, определение альтернатив выполнения НИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности вариантов исследования, выбор оптимального варианта

### Перечень графического материала

1. Карта сегментации рынка
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-график проведения НИОКР по теме
4. Таблицы

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	12.04.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т42	Шепелева Анна Дмитриевна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 82 страницы, 24 рисунка, 24 таблицы, 40 источников литературы, 2 приложения.

Ключевые слова: автоматизация установки, фиторон, фотобиореактор, культиватор, водоросль хлорелла, суспензия, датчики, рынок потребителей, условия безопасности.

Объектом проектирования является автоматизация фитотронной установки.

Цель работы: создание автоматизированной фитотронной установки для выращивания хлореллы в искусственных условиях.

В процессе разработки проводились: обзор существующих аналогов, выбор конструктивного, функционального и эстетического решения, эскизирование формы фитотронной установки, анализ функциональности и эргономичности объекта проектирования, подбор датчиков для оптимальной работы установки, написание программы для передачи показаний с приборов на управляющий объект.

В результате исследования создана автоматизированная система фитотронной установки. Подобраны необходимые датчики для полноценной работы установки (датчики измерения температуры, освещенности, концентрации, уровня суспензии в установке, нагревательный элемент для поддержания температуры, клапана и баки для подачи и слива раствора водоросли в емкость), создана программа, передающая показания с датчиков на программируемое реле, далее на управляющее устройство (компьютер или мобильный телефон).

Область применения: отдельные фермы и производства, где необходимо применение биодобавки.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанный объект экономически выгоден для серийного производства и удобен в использовании, что повышает его конкурентоспособность на рынке.

## Содержание

Введение .....	13
1 Фитотрон .....	15
1.1 История создания. ....	15
1.2 Классификация. Виды. Области применения.....	16
2 Фитотронная установка .....	21
2.1 Хлорелла.....	21
2.2 Общие сведения об установке. Разновидности установок.....	22
2.2.1 Переработанные лабораторные ферментеры.....	22
2.2.2 Трубчатые фотобиореакторы.....	23
2.2.3 Елочный фотобиореактор.....	24
2.2.4 Пластиковый пластинчатый фотобиореактор.....	24
2.2.5 Горизонтальный фотобиореактор с зигзагообразной геометрией.....	25
2.2.6 Фольговый фотобиореактор.....	26
2.2.7 Пористый субстратный биореактор.....	26
2.3 Классификация фотобиореакторов.....	27
2.4 Моделирование наиболее ресурсоэффективной формы.....	28
3 Основные параметры работы фитотрона.....	30
3.1 Освещение.....	30
3.2 Температура.....	32
3.3 Аэрация.....	32
4 Устройство фитотронной установки.....	34
5 Выбор оборудования. Датчики контроля микроклимата.....	37
5.1 Датчик температуры.....	37
5.2 Датчик измерения кислотности среды.....	39
5.2.1 Назначение модуля аналогового ввода MB110-224.pH.....	40
5.2.2 Основные особенности модуля MB110-224.pH.....	40
5.2.3 Условия эксплуатации прибора .....	41
5.3 Датчик концентрации.....	43
5.3.1 Конструкция и принцип действия оптических датчиков.....	44

5.4 Нагревательный элемент.....	45
5.5 Датчик уровня.....	46
5.5.1 Особенности конструкции и монтажа датчиков уровня.....	47
6 Сбор данных с датчиков.....	47
6.1 Программируемое реле ОВЕН ПР200.....	48
6.1.1 Отличительные характеристики ПР200.....	48
6.1.2 Возможности символьного индикатора ПР200.....	49
6.1.3 Конструктивные особенности.....	49
6.2 Модули расширения и аксессуары для ПР200.....	49
6.2.1 Интерфейсная плата ПР-ИП485.....	49
6.2.2 ПМ210 сетевой шлюз для доступа к сервису OwenCloud RS-485 <-> GPRS.....	50
6.2.3 GSM антенна АНТ-1.....	51
7 Получение математической модели.....	52
8 Расчёт регулятора.....	56
9 Социальная ответственность.....	58
9.1 Производственная безопасность.....	58
9.1.1 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	58
9.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте.....	60
9.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	61
9.1.4 Отклонения показателей микроклимата.....	62
9.1.5 Опасность возникновения пожара.....	63
9.1.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи.....	64
9.2 Экологическая безопасность.....	64
9.2.1 Утилизация фитотрона.....	65
9.2.2 Отходы.....	65
9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях безопасности.....	65
9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения.....	66
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	68

10.1 Оценка перспективности проведения исследований и коммерческого потенциала с позиции ресурсосбережения и ресурсоэффективности.....	68
10.1.2 Потенциальные потребители по результатам исследования.....	69
10.1.3 Анализ конкурентных технических решений.....	69
10.2. Структура работ в рамках научного исследования.....	70
10.2.1 Разработка графика проведения научного исследования.....	71
10.2.1.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования...72	
10.2.1.2 Основная заработная плата исполнителей.....	72
10.2.1.3 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	73
10.3 Экономическая эффективность.....	74
Заключение.....	75
Список использованных источников.....	76
Приложение А ФСА .....	80
Приложение Б Мнемосхема .....	81

## Введение

Микроклимат - это искусственно созданные климатические условия в закрытых помещениях. Динамическое поведение парникового микроклимата представляет собой комбинацию физических процессов, включающих передачу энергии и баланс массы. Микроклимат может управляться с помощью мер контроля, таких как освещение, вентиляция, обогащение воздухом для обеспечения соответствующих условий роста и развития необходимого нам вида растений. Процесс изменения микроклимата является сложным, многопараметрическим и зависит от множества внешних и внутренних факторов. Чтобы автоматизировать процесс поддержания благоприятного для растений микроклимата необходимо осуществлять контроль и регулирование следующих параметров:

- температура;
- освещение;
- концентрация и т.д.

Стандартная система автоматического обеспечения микроклимата строится по блочному принципу, когда контроль и регулирование перечисленных параметров осуществляется независимыми электронными приборами, каждый из которых отвечает за свои параметры. В состав каждого блока входит соответствующий датчик (влажность, температура, освещенность). Стандартная система микроклимата состоит из фотореле, таймера, датчика температуры, датчика контроля освещенности и блока управления. Блок может быть напрямую подключен к компьютеру управления.

Фитотрон - это закрытая исследовательская оранжерея, используемая для изучения взаимодействия растений с окружающей средой. Это продукт дисциплин физиологии растений и ботаники.

Целью выпускной квалификационной работы является создание автоматизированной фитотронной установки для выращивания хлореллы в искусственных условиях. Чтобы обеспечить благоприятные условия для выращивания хлореллы, необходим постоянный контроль освещения,

температуры, концентрации водорослей, поддержание воздухообмена в установке.

# **1 Фитотрон**

## **1.1 История создания**

Фитотроны объединили и расширили ранее отдельные усилия, чтобы претендовать на полный контроль над всей окружающей средой. Фитотроны создавали и воспроизводили целые сложные климатические условия многих переменных как в комнатах для прохода, так и в небольших шкафах. В первых фитотронах каждая отдельная комната выдерживалась при постоянной уникальной температуре. Например, австралийский фитотрон имел помещения, в которых поддерживали температуру 9, 12, 16, 20, 23, 26, 30, 34 и 34 ° C. Поскольку некоторые из самых ранних экспериментов с контролируемой средой показали, что растения реагировали по-разному при дневных и ночных температурах, первые эксперименты по наблюдению эффекта (-ов) изменения дневной и ночной температур показали, что экспериментаторы перемещали свои растения от более высоких к более низким температурам по сравнению с течением дня, или любой другой переменной или постоянной, рутины. Это сделало переменную «температуру» экспериментально управляемой. Даже метод грубой силы, который проверял каждую последующую переменную среды и каждое разнообразие растений, помог бы определить конкретные условия окружающей среды, чтобы максимизировать рост. Ожидая, что больше знаний, несомненно, придет от более совершенных технологий, следующее поколение фитотронов расширилось с точки зрения технологического охвата, их диапазонов переменных среды, а также степени контроля над каждой переменной. Фитотрон в Стокгольме предлагал помещение с контролируемой влажностью и компьютер, изготовленный на заказ, а также помещение с низкой температурой, которое расширяло диапазон температур до -25 ° C для изучения северных лесов. После этого технология фитотрона сжала целые среды в меньшие по размеру шкафы, которые можно настроить на любую желаемую комбинацию условий окружающей среды, которые все еще используются сегодня [1].

Первый фитотрон был построен под руководством Фрица Уэрмолта Вента в Калифорнийском технологическом институте в 1949 году. Он финансировался Фондом Гарри Б. Эрхарта и был официально известен как Лаборатория исследований растений Эрхарта. Он получил свое более характерное прозвище, очевидно, из шутливой беседы между биологами Калифорнийского технологического института Джеймсом Боннером и Сэмом Вильдманом. Вспоминая о происхождении в 1980-х годах, Боннер отметил, что: «Исследовательскую лабораторию Эрхартского завода называли теплицей с контролируемой окружающей средой, но мы с моим первым докторантом Сэмом Вильдманом, сидя около 1950 года за чашечкой кофе, решили, что она заслуживает лучшего или более эйфонического имени. Мы решили назвать его фитотроном – «фитосом» от греческого слова «для растений», и «трон», как в циклотроне, «большой сложной машиной». Первоначально Вент был чрезвычайно раздражен этим словом. Но доктор Милликен понял это так: «Это здание финансировалось Мистером Эрхартом, он собирается сделать для биологии растений то, что циклотрон сделал для физики », и назвал его фитотроном».

Фитотроны распространились по всему миру с 1945 года по сегодняшний день в Австралию, Францию, Венгрию, Советский Союз, Англию и Соединенные Штаты. Кроме того, они стимулировали такие варианты, как Climatron в Ботаническом саду Миссури, Biotron в Университете Висконсин-Мэдисон, Ecotron в Имперском колледже Лондона и Brisatron в Экологической лаборатории реки Саванна [2].

## **1.2 Классификация. Виды. Области и сферы применения**

С помощью фитотронов решаются основные проблемы фитотронологии, которые лучше известны под термином «фитотроника». К ним относятся:

– воспроизведение климатических условий, соответствующих любой местности и в любое время года, для изучения растений, предназначенных для выращивания в новых сельскохозяйственных районах;

- выяснение влияния отдельных климатических факторов - экспозиции, спектрального состава излучения, температуры воздуха и почвы, относительной влажности и скорости воздуха, содержания в нем газов (прежде всего углекислого газа и кислорода) и их сочетания на рост, формирование и продуктивность растений;
- разработка методов ускорения селекционных исследований и получения ряда поколений в течение одного года в воспроизводимых условиях окружающей среды и быстрого выявления устойчивости растений к внешним неблагоприятным условиям;
- выявление и воспроизведение физиологических, биофизических и биохимических процессов в динамике и онтогенезе.;
- генетические исследования для изучения механизма наследственности;
- фитопатологическое и энтомологическое исследование и разработка мероприятий по борьбе с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур.

Таким образом, фитотроны, а также растущие шкафы и камеры представляют собой очень сложные технические структуры, подробное описание которых не является частью нашей задачи. Мы ограничимся только знакомством с источниками искусственного излучения, которые используются в этих структурах.

Первым фитотроном исследовательского типа была лаборатория Эрхарта, созданная более 20 лет назад известным физиологом растений Ф. В. Вентом в Калифорнийском технологическом институте (США). Эффективность этой структуры в решении теоретических и агротехнических задач способствовала быстрому росту числа фитотронов в разных странах мира (от Швеции до Австралии).

Наиболее совершенный фитотрон был построен недалеко от Парижа (Alive-sur-Yvette). Он состоит из 12 искусственно облученных клеток (LL, LN и KS) и 8 теплиц. Строго продуманная система коридоров, небольших прихожих

и рабочего пространства над камерами позволяет выращивать растения и проводить исследования с наименьшим вмешательством людей. Обеспечена стерилизация воздуха. Широко используются стекло, оргстекло, алюминий и другие современные материалы. Его климатические параметры очень широки: температура от минус 20 до 50 ° С; относительная влажность от 0 до 95%; освещенность более 30 кЛк.

Основными источниками излучения в камерах, где выращиваются растения, являются люминесцентные лампы класса люкс с отражателями из полированного алюминия. На каждом каркасе (1,5 м<sup>2</sup>) установлены 16 ламп по 120 Вт каждая и 16 ламп накаливания мощностью 15 Вт. Таким образом, общая установленная мощность составляет 1730 Вт / м<sup>2</sup>. Соотношение мощностей коротковолнового (LL) и длинноволнового (LN) источников излучения составляет примерно 3: 1. Освещенность растений составляет 30 кЛк на расстоянии 50 см и 15 кЛк на расстоянии 100 см от источника излучения. В отдельных теплицах имеются ксеноновые лампы с водяным охлаждением, которые на расстоянии 2,5 м обеспечивают дополнительное освещение естественным светом около 12 кЛк.

Темы исследований очень разнообразны: фотопериодизм, ростовые вещества, минеральное питание, генетические и экологические исследования и т. Д.

Как и французский фитотрон, комбинированные облучатели (LL + LN = 3: 1) используются в фитотроне Университета Дьюка (США), Университета Канберры (Австралия) и экспериментальной сельскохозяйственной станции Министерства сельского и лесного хозяйства Японии на острове Хоккайдо и другие. В голландских фитотронах (Институт полевых и луговых культур, Центр физиологических исследований, Технологический институт садоводства и т. д.) лампы типа DRLF (HLRG-400) чаще используются вместе с маленькими лампами накаливания. Во избежание перегрева растений источники излучения отделены от рабочего объема камер стеклянными потолками.

Оригинальный фитотрон был построен в Калифорнийском университете (США). Он ставится на специальную платформу, которая с помощью мощного электропривода вращается по вертикальной оси, следуя движению солнца. Отсюда и его название - «роторный фитотрон», или солатрон. Фотоэлемент, расположенный на внешней стене, контролирует его движение. Солнечные лучи, падающие на фотоэлемент, содержат механизм поворота. С наступлением темноты с помощью другого фотоэлемента солатрон возвращается в исходное положение. Таким образом, передняя стенка фитотрона всегда обращена к солнцу. Так как этот университет расположен южнее 40 °С. ш., а годовая освещенность внутри фитотрона достигает 98% освещенности под открытым небом, при этом растения растут практически без искусственных источников излучения.

Помимо описанных фитотронов, в последние годы появились структуры близкого к ним типа, например, климатрон, созданный под руководством Ф. Вента в Сан-Луисе (США). Это монументальное куполообразное сооружение высотой около 30 м и диаметром более 50 м, выполненное из стали и плексигласа. В определенных областях и слоях климатрона, который не имеет внутренних перегородок, были созданы различные климатические условия земного шара, где растут соответствующие растения. Температура и влажность воздуха регулируются с помощью скрытых труб, подающих кондиционированный воздух.

Для изучения роста корней в ряде стран были созданы так называемые ризотроны. У них есть подземные туннели со специальными окнами, которые позволяют систематически контролировать корневую систему. Ризотрон регулирует температуру, влажность воздуха, газосодержание. Предусмотрено изменение почвы в зависимости от эксперимента.

Структуры с искусственным климатом (включая искусственное воздействие) в настоящее время используются в других отраслях естественных наук. В Японии есть акватрон, зоотрон и гомотрон. В США профессор Сенн

создал биотрон, в котором имитируются различные экологические комплексы с участием растений, животных и людей.

Из-за сложности конструкции больших фитотронов в последнее время иногда используются так называемые микрофитотроны. Микрофитотрон - это устройство, состоящее из небольшой (от 1 до 5 м<sup>2</sup>) рабочей камеры для выращивания растений и техники, которая создает желаемый климат. Микрофитотроны занимают относительно небольшую площадь и объем и могут поставляться в любое помещение, в котором есть вода, канализация и электричество. Их часто называют вегетационными кабинетами или камерами.

В нашей стране ведется много проектных работ, что позволяет надеяться, что в ближайшее время исследовательские организации получат достаточное количество шкафов и камер различного типа.

Так, в институтах Министерства сельского хозяйства и Академии сельскохозяйственных наук подготовлен к работе климатический кабинет для ускоренного выращивания растений (до получения семян) с воспроизводимыми и контролируемыми факторами окружающей среды. Это особенно важно для работ по селекции злаков (селекционные центры). Шкаф будет работать в закрытом помещении со следующими параметрами: диапазон температур от 15 до 35 ° С, относительная влажность не более 85%, запыленность не должна превышать санитарных норм. Здесь нет резких колебаний давления, температуры, влажности, вибрации, сильных магнитных, радиационных и электрических полей. Для его работы необходимы следующие системы: электричество (с напряжением 220/380 В и частотой 50 Гц), системы водоснабжения и канализации, а также система принудительной вентиляции [5].

## 2 Фитотронная установка

### 2.1 Хлорелла

Хлорелла является представителем зеленых водорослей - микроскопических водных растений. Хлорелла является уникальным биологическим природным продуктом. Ни одно другое водное или наземное растение не обладает таким количеством полезных свойств, как хлорелла. Для приготовления биодобавки используется планктонный штамм *Chlorella Vulgaris*, который отличается высокой степенью использования световой энергии (эффективность фотосинтетически активной радиации 3,6%) и химическим составом клетки в зависимости от содержания белки, незаменимые аминокислоты, витамины, микроэлементы и биологически активные вещества, с которыми можно сравнить не только водные, но и наземные растения. Из-за полезных свойств хлореллы, ее использование в различных областях человеческой деятельности очень широко:

- в сельском хозяйстве для кормления птиц, животных, в пчеловодстве и рыболовстве;
- в пищевой промышленности;
- в медицине, косметологии и парфюмерии;
- для очистки сточных вод и реабилитации водоемов;
- для производства кислорода;
- для производства биотоплива.

Хлорелла является активным продуцентом белков, углеводов, липидов и витаминов. Среди внеклеточных продуктов метаболизма хлореллы, витамин В1 (тиамин), В2 (рибофлавин), В3 (пантотеновая кислота), В5 (никотиновая кислота), В6 (пиридоксин), В12 (цианкобаламин), Вс (фолиевая кислота и ее производные), парааминобензойная кислота, Н (биотин), инозит.

Производство суспензии хлореллы основано на фотосинтезе микроводорослей, который осуществляется в аквариуме с использованием искусственного света и раствора углекислого газа.

Для создания благоприятных условий для выращивания хлореллы отлично подходит фитотронная установка. Это устройство, в зависимости от конструкции, способно работать в автоматическом или полуавтоматическом (при наличии оператора) режиме; позволяет выращивать значительные количества этих водорослей в промышленных масштабах [6].

## **2.2 Общие сведения об установке. Разновидности установок.**

Производство суспензии хлореллы основано на фотосинтезе микроводорослей, который осуществляется в емкости с использованием искусственного освещения и раствора углекислого газа. Производственный процесс непрерывен. Размножение хлореллы осуществляется в питательном растворе. Хлорелла выращивается круглый год. Продуктивность хлореллы не зависит от времени года. Таким образом, фитотрон или фотобиореактор обеспечивает гораздо более высокие темпы роста и уровни чистоты, чем где-либо в природе или в средах обитания, подобных природе. В наше время над разработкой наиболее удобных и эффективных фитотронов или фотобиореакторов работают ученые по всему миру. Сейчас существует несколько наиболее распространенных видов установок, которые производят суспензию из водорослей в промышленных масштабах. Рассмотрим несколько из них [38].

### **2.2.1 Переработанные лабораторные ферментеры**

Простейшим подходом является модернизация известных стеклянных ферментеров, которые являются современными во многих биотехнологических исследовательских и производственных объектах по всему миру. Например, реактор для мха представляет собой стандартный стеклянный сосуд, в который снаружи подается свет. Существующие насадки используются для установки датчиков и газообмена. Этот тип довольно распространен в лабораторном масштабе, но он никогда не был установлен в более широком масштабе из-за его ограниченного размера сосуда.

## 2.2.2 Трубчатые фотобиореакторы

Изготовленный из стеклянных или пластиковых труб, этот тип фотобиореактора успешно применяется в производственных масштабах. Трубки ориентированы горизонтально или вертикально и поставляются из центральной коммунальной установки с насосом, датчиками, питательными веществами и CO<sub>2</sub>. Трубчатые фотобиореакторы (рисунок 1) устанавливаются по всему миру от лабораторных до промышленных масштабов, например, для производства каротиноида астаксантина из зеленых водорослей *Haematococcus pluvialis* или для производства пищевой добавки из зеленых водорослей *Chlorella vulgaris*. Эти фотобиореакторы используют преимущества высокого уровня чистоты и их эффективной производительности. Производство биомассы может производиться на высоком уровне качества, а высокая концентрация биомассы в конце производства позволяет осуществлять энергоэффективную последующую обработку. Из-за недавних цен на фотобиореакторы экономически обоснованные концепции сегодня можно найти только на рынках с высокой стоимостью, например пищевая добавка или косметика.

Преимущества трубчатых фотобиореакторов в промышленном масштабе также передаются в лабораторном масштабе. Комбинация упомянутого стеклянного сосуда с тонкой трубчатой катушкой обеспечивает соответствующие показатели производства биомассы в масштабе лабораторных исследований. Под контролем сложной системы управления процессом регулирования условий окружающей среды достигает высокого уровня.



Рисунок 1 – Трубчатый фотобиореактор

### 2.2.3 Ёлочный фотобиореактор

Альтернативный подход представлен фотобиореактором, который имеет конусообразную геометрию и имеет спирально прикрепленную полупрозрачную систему с двойным шлангом (рисунок 2). В результате получается макет, похожий на елку. Трубчатая система состоит из модулей и теоретически может быть масштабирована на открытом воздухе до сельскохозяйственного масштаба. Выделенное местоположение не имеет решающего значения, подобно другим закрытым системам, и, следовательно, пригодна и для непахотных земель. Выбор материала должен предотвращать биообрастание и обеспечивать высокие конечные концентрации биомассы. Сочетание турбулентности и замкнутой концепции должно обеспечить чистую работу и высокую эксплуатационную готовность.

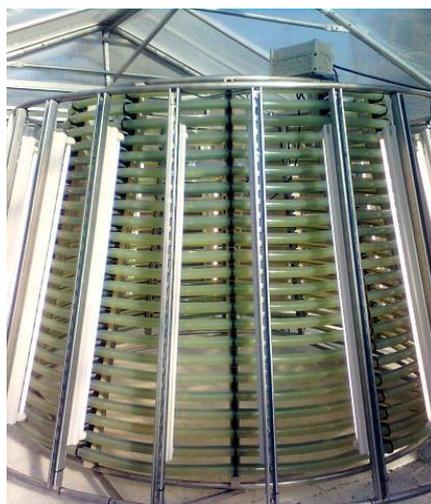


Рисунок 2 – Ёлочный фотобиореактор

### 2.2.4 Пластиковый пластинчатый фотобиореактор

Другой подход к разработке можно увидеть в конструкции на основе пластиковых или стеклянных пластин (рисунок 3). Планшеты с различным техническим дизайном монтируют для образования небольшого слоя суспензии для культивирования, что обеспечивает оптимизированный источник света. Кроме того, более простая конструкция по сравнению с трубчатыми реакторами позволяет использовать менее дорогие пластиковые материалы. Из совокупности различных концепций, например, были реализованы конструкции

с меандрирующим потоком или системы газификации снизу, которые показали хорошие результаты. Некоторые нерешенные вопросы - это стабильность материала в течение всей жизни или формирование биопленки. Приложения в промышленном масштабе ограничены масштабируемостью систем пластин.



Рисунок 3 – Пластиковый пластинчатый фотобиореактор

### **2.2.5 Горизонтальный фотобиореактор с зигзагообразной геометрией**

Этот тип фотобиореактора (рисунок 4) состоит из пластинчатой базовой геометрии с пиками и долинами, расположенными на регулярном расстоянии. Эта геометрия вызывает распределение падающего света по большей поверхности, что соответствует эффекту разбавления. Это также помогает решить основную проблему в фототрофном культивировании, потому что большинство видов микроводорослей чувствительно реагируют на высокую интенсивность света. Большинство микроводорослей испытывают насыщение светом уже при интенсивностях света, которые значительно ниже максимальной дневной интенсивности, составляющей приблизительно  $2000 \text{ В} / \text{м}^2$ . Одновременно можно использовать большее количество света для повышения эффективности фотопреобразования. Смешивание осуществляется с помощью роторного насоса, который вызывает цилиндрическое вращение культурального бульона. В отличие от вертикальных конструкций,

горизонтальные реакторы содержат только тонкие слои среды с соответственно низким гидродинамическим давлением. Это положительно влияет на необходимый расход энергии и в то же время снижает материальные затраты.

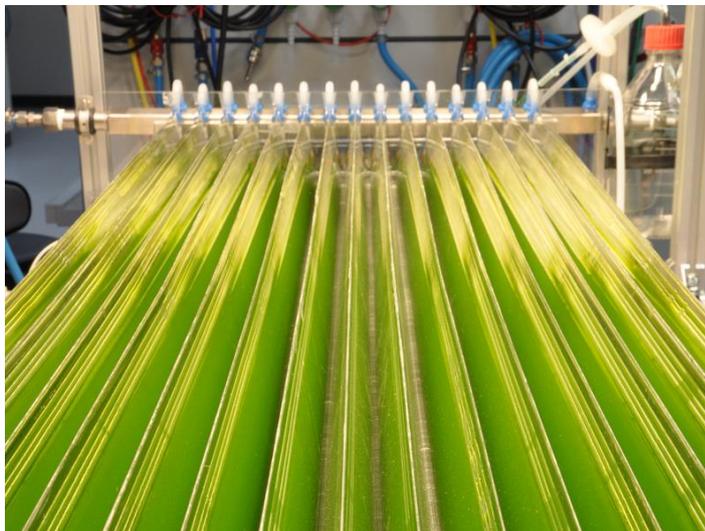


Рисунок 4 – Горизонтальный фотобиореактор

### **2.2.6 Фольговый фотобиореактор**

Давление рыночных цен привело к разработке типов фотобиореакторов на основе фольги. Недорогая пленка из ПВХ или ПЭ монтируется для формирования пакетов или сосудов, которые покрывают суспензии водорослей и подвергают их воздействию света. Ценовые диапазоны типов фотобиореакторов были расширены с помощью систем фольги. Следует иметь в виду, что эти системы имеют ограниченную устойчивость, так как фольга должна время от времени заменяться. Для полных остатков необходимо также рассчитать инвестиции в необходимые системы поддержки.

### **2.2.7 Пористый субстратный биореактор**

Биореактор пористых субстратов (PSBR), разработанный в Кельнском университете, также известный как двухслойная система, использует новый принцип отделения водорослей от питательного раствора посредством пористой поверхности реактора, на которой микроводоросли улавливаются в биопленках. Эта новая процедура уменьшает до 100 раз количество жидкости, необходимой для работы, по сравнению с существующей технологией, которая

выращивает водоросли в суспензиях. Таким образом, процедура PSBR значительно снижает необходимую энергию, увеличивая при этом портфолио водорослей, которые можно культивировать.

Данные способы выращивания водорослей хороши для промышленных масштабов, таких как экспорт за границу и др. Однако для менее крупных масштабов производства, например для снабжения продукцией одной конкретной точки, используются менее массивные сооружения, но ничем не уступающие своей эффективностью и качеством производства того или иного вида необходимого сырья [13].

### 2.3 Классификация фотобиореакторов

Все известные типы (рисунок 5) фотобиореакторов могут быть классифицированы по следующим критериям: форма резервуара, степень изоляции от внешней среды и тип освещения.



Рисунок 5 – Классификация фотобиореакторов

Для выращивания хлореллы используется несколько видов фитотронных установок [8]:

– установки серии культивирования маточной культуры (КМК) - КМК-150, с производительностью 50 л/с суспензии. Размеры данной установки 1,5\*0,5\*1,1 метра;

– установки серии фотобиореактора (ФБР) - ФБР-150 и ФБР-250, производительностью 150 и 250 л/с суспензии соответственно.

- размеры установки ФБР-150 1,5\*1,0\*1,1 метра и ФБР-250 2,2\*1,0\*1.1 метра;
- установка культиватор хлореллы (КХ) - КХ-60 с производительностью суспензии хлореллы 60 л/с;
- установки биореакторы (БР) - БР-1000, БР-4000, БР-10000, БР-12000 производительностью 800, 3200, 8000 и 9600 л/с суспензии соответственно [13].

## **2.4 Моделирование наиболее ресурсоэффективной формы**

Культиватор хлореллы представляет собой емкость для суспензии хлореллы с погруженными в нее источниками света оригинальной конструкции. Также он снабжен другими устройствами, обеспечивающими оптимальные условия для размножения хлореллы в специальной питательной среде. В комплект установки также входит набор реактивов для приготовления питательной среды, суспензия маточной культуры хлореллы и др.

Принцип работы установки основан на использовании светового фактора как необходимого условия фотосинтеза и роста микроводорослей. Выращивание хлореллы производится в специальной питательной среде при определенной температуре. Общий цикл работы культиватора состоит из трех этапов:

- запуск культиватора в работу;
- культивирование хлореллы;
- слив готовой суспензии хлореллы и подготовка культиватора к следующему запуску.

Правильное культивирование хлореллы позволяет поддерживать необходимую температуру суспензий в контейнерах культиватора до оптимального диапазона (в автоматическом режиме), регулярно перемешивая и наблюдая за скоростью увеличения плотности клеток и общим состоянием суспензии хлореллы.

В ходе работы были рассмотрены все возможные и наиболее популярные варианты (рисунок 6) фитотронных резервуаров для выращивания

водоросли хлорелла. Емкость должна удовлетворять необходимым условиям освещения, температуры, воздухообмена и концентрации. У каждого из них есть свои плюсы и минусы. Рассмотрим подробнее каждый из вариантов и обоснуем свой выбор в пользу цилиндрической емкости. Рассматривать будем исходя из необходимой дозы освещения.

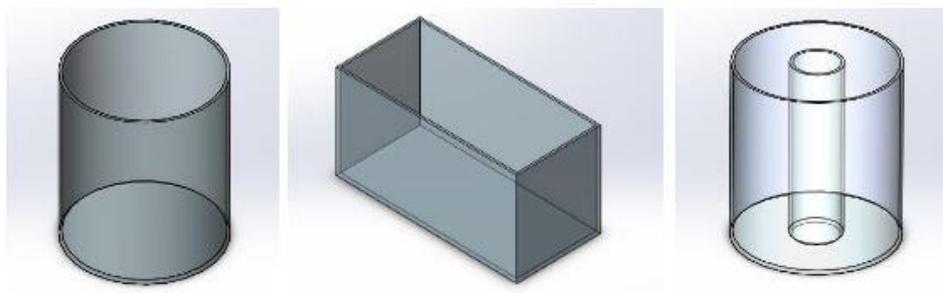


Рисунок 6 – Возможные формы резервуаров

Для каждого из типов резервуаров были подобраны различные облучательные установки и проведен ряд расчетов светотехнических характеристик параметров. В качестве источников были взяты светодиоды. Рассмотрев все возможные варианты, и исходя из расчетов, изображенных на рисунке, и проанализировав полученные результаты, сделан вывод, что наиболее равномерное распределение излучения можно наблюдать в емкостях цилиндрической формы. Светодиоды расположены равномерно по всей площади внутри самого резервуара и суспензия получает достаточное количество света в отличие от резервуаров прямоугольной формы, так как на местах стыков наблюдаются потери необходимого излучения.

Так же резервуар достаточно прост в изготовлении и стоимость материалов не так велика, что тоже играет немало важную роль.

### **3 Основные параметры работы фитотрона**

#### **3.1 Освещение**

По мере развития микробиологии на промышленном уровне было накоплено огромное количество данных, что позволило использовать дополнительное интенсивное освещение в интересах экспериментаторов и производственных рабочих. На начальных этапах работы с микроводорослями были проведены исследования влияния светового потока на хлореллу. Конечно, они обнаружили, что существует эффект дозы - при освещении, то есть, чем больше доза света получает объект, тем выше уровень культивирования. Вскоре появилось два логически обоснованных решения проблемы - следить за симметричным расположением объектов относительно источника света или увеличить освещенность. Проблемы усугублялись переходом на промышленный и промышленный уровни получения целевых продуктов в светозависимых технологических процессах. В этот момент появилась разработка устройства для культивирования фотосинтезирующих микроорганизмов, названного фотобиореакторами (ФБР).

В качестве источника света широко распространены лампы накаливания, традиционно используемые в качестве источника света в закрытых установках, включая кварцевые галогенные лампы с отражателями, зеркальные лампы, люминесцентные лампы, но в настоящее время светодиоды широко используются на рынке освещения, что имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными источниками света. Требуемый уровень освещенности микроводорослей хлореллы в среднем составляет 14 кЛк.

В качестве источников излучения при моделировании были использованы светодиоды марки CREE [40] модели XLamp XT-E White, спектр излучения которых представлен на рисунке 7, размеры светодиода приведены на рисунке 8, характеристики светодиода приведены в таблице 1.

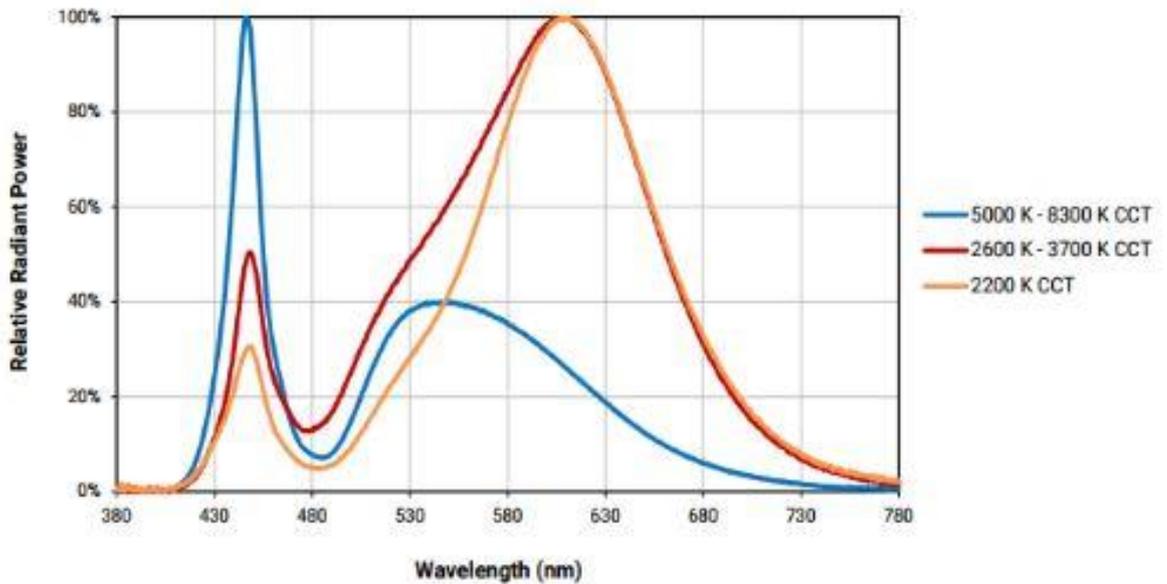


Рисунок 7 – Спектр излучения светодиодов

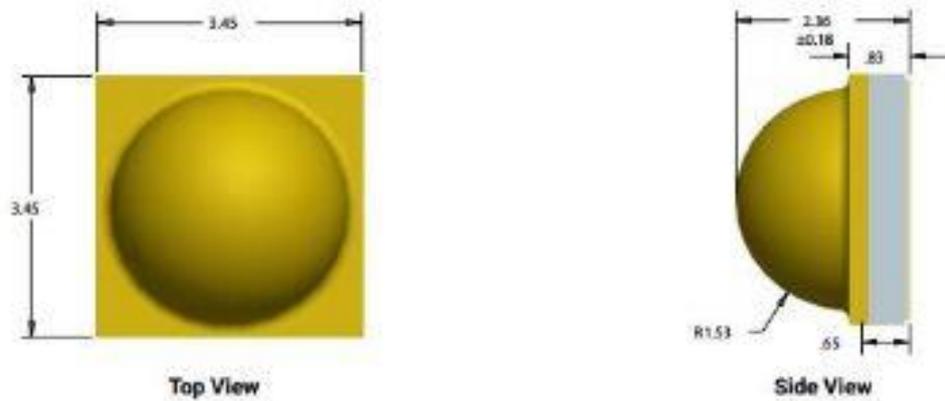


Рисунок 8 – Размеры светодиодов

Таблица 1 – Характеристики светодиода

Максимальная сила тока	1.5 A
Максимальная мощность	5 W
Максимальная светоотдача	456 lm @ 5 W (85 °C)
Напряжение в прямом направлении	2.85 V @ 350 mA (85 °C)
Угол обзора	115 °
Температура	85 °C
Тепловое сопротивление	5 °C/W

### 3.2 Температура

Для наиболее эффективной выработки суспензии хлореллы в нашей фитотронной установке помимо освещения необходимо так же поддерживать температурный режим внутри резервуара.

### 3.3 Аэрация

Для аэрации фитотронной установки выбран и используется диафрагменный компрессор-воздуходувка КИТ АЭРО Д 7,2 (рисунок 9) [7].

Таблица 2 – Сравнение нескольких аэраторов

	Pondtech AC0-016	КИТ АЭРО Д 7,2	Pontec PondoAir Set 3600
Мощность	45 Вт	90 Вт	35 Вт
Напряжение	220 В	220-240 В	230 В
Частота	50 Гц		
Производительность	450 л/ч	120 л/мин	3600 л/ч
Производитель	Китай	Россия	Германия
Стоимость	16300 р.	16300 р.	22800 р.

Мембранные компрессоры КИТ-Аеро-Д характеризуются безупречным качеством и надежностью, бесшумной работой и предназначены для обеспечения равномерного воздушного потока.

Область применения данных компрессоров достаточно велика:

- системы очистки сточных вод;
- для аэрации водоемов, бассейнов, аквариумов;
- для перевозки рыб и так далее.

Преимущества компрессоров КИТ АЭРО заключаются в:

- очень низкий уровень шума;
- высокая энергоэффективность. Механизм работы компрессоров основан на принципе электромагнитной вибрации, которая исключает наличие скользящих частей. В результате повышается эффективность эксплуатации и минимизируется энергопотребление;

– в конструкции отсутствует трение деталей, поэтому она не нуждается в смазке и частом обслуживании;

– все вместе: простой механизм, качество материалов и комплектующих компрессоров обеспечивает надежность и долговечность работы.

В таблице 3 представлены технические характеристики аппарата.

Таблица 3 – Технические характеристики аэратора

Модель КИТ АЭРО	Д 7,2
Мощность	90 Вт
Напряжение	220 – 240 В
Частота	50 Гц
Максимальное давление	0,038 Мпа
Производительность	120 л/мин
Уровень шума	45 дБ
Масса	9,5 кг
Габариты	265x215x198 мм



Рисунок 9 – Аэратор

#### **4 Устройство фитотронной установки**

Проанализировав доступную информацию о выявленных недостатках конкурентных установок, сделан определенный ряд выводов:

- небольшая степень автоматизации, которая требует от оператора мониторинга параметров окружающей среды на протяжении всего цикла выращивания, и это может привести к ошибке в процессе, так называемому «человеческому фактору»;

- другим недостатком существующих конструкций является использование неэффективных источников излучения: ламп накаливания и люминесцентных ламп;

- также форма источников излучения делает невозможным равномерное облучение хлореллы по всему объему культиватора;

- к недостаткам относится форма резервуаров для выращивания микроводоросли. Форма прямоугольного параллелепипеда создает большие потери излучения в углах резервуаров;

- невозможность контролировать спектральный состав излучателей для быстрого роста хлореллы. При выборе формы биореактора эффективность использования источника исходящего излучения возрастает, поскольку при правильном выборе формы потери сводятся к минимуму, что приводит к лучшему росту микроводорослей.

Создан фитотрон с постоянным контролем необходимых параметров для роста микроводорослей.

Установка имеет датчики фиксации данных, блок управления и устройства для поддержки необходимых параметров. Основными являются датчики температуры, освещенности, концентрации и кислотности.

Следующим обязательным элементом является блок управления (БУ), который состоит из нескольких блоков микросхем.

Последней составляющей являются исполнительные органы: насосы для подвода и отвода воды, терморегулятор, аэратор.

Конструктивно фотобиореактор представляет из себя цилиндр, выполненный из прозрачного материала (стекло или оргстекло). По всему объему на равном друг от друга расстоянии устанавливаются светодиодные источники с подобранным спектром излучения и направленные внутрь установки. Фитотрон имеет несколько датчиков, позволяющих контролировать основные параметры микроклимата, а именно: температуру, концентрацию микроводоросли, кислотность среды. Данные с датчиков поступают на микроконтроллер, который по полученным данным ведет управление. Система управления вынесена в отдельный блок с дисплеем, на котором отображаются все основные параметры микроклимата в реальном времени. Также система управления ведет запись параметров во внутреннюю память, что позволяет анализировать весь процесс культивации хлореллы и вносить изменения при необходимости. Реализация удаленного доступа к системе достигается путем применения GSM- и Ethernet- модулей для микроконтроллера для управления системой с помощью мобильного телефона или компьютера и интернет соответственно.

Создание автоматической модели даст возможность отладить каналы связи устройств и облегчить эксплуатацию фитотронной установки.

Основной упор в разработке автоматического фотобиореактора сделан на то, чтобы подобрать наилучший спектр излучения для наиболее продуктивного роста хлореллы, а также на создание автоматизированной (без присутствия оператора) и энергоэффективной установки. В настоящее время, в уже разработанных и используемых установках применяются в качестве источников света люминесцентные лампы. В разрабатываемой установке применяются светодиодные источники света, что позволяет подобрать наиболее благоприятный спектр излучения для роста хлореллы (прирост увеличивается в 2-4 раза по сравнению с бытовыми источниками: лампа накаливания, комнатная люминесцентная лампа, бытовая светодиодная лампа) и достичь лучших энергетических показателей, путем снижения потребления электричества.

Так же разрабатывается автоматическая система управления фотобиореактором, которая позволит исключить присутствие оператора, а также позволит управлять установкой удаленно. Данная система ведет контроль основных параметров и ведется постоянная запись параметров микроклимата в фитотроне, для дальнейшего анализа и совершенствования установки.

## 5 Выбор оборудования. Датчики контроля микроклимата

В ходе работы нами были использованы датчики компании-производителя ОВЕН. Компания ОВЕН выбрана по причине высоких показателей качества, работоспособности и дешевизны производимой продукции [9].

### 5.1 Датчик температуры

Для измерения температуры суспензии выбран датчик ДТС014 (рисунок 10) термосопротивления с кабельным выводом.



Рисунок 10 – Датчик температуры

Датчик предназначен для температурных измерений твердых, жидких и газообразных сред, неагрессивных к защитной арматуре и материалу чувствительного элемента (ЧЭ) датчика. Кабельный вывод обеспечивает удобство и быстроту монтажа, но ограничивает верхний предел измеряемых температур до 150 °С (ДТС с медным ЧЭ) и до 250 °С (ДТС с платиновым ЧЭ).

Номинальные статические характеристики датчика (НСХ) по ГОСТ 6651-2009:

- ТСМ 50М и 100М ( $W_{100} = 1,428$ ,  $\alpha = 0,00428$  °С-1)
- ТСП 50П и 100П ( $W_{100} = 1,391$ ,  $\alpha = 0,00391$  °С-1)
- ТСП Pt100, Pt500, Pt1000 ( $W_{100} = 1,385$ ,  $\alpha = 0,00385$  °С-1)

Варианты исполнения ДТС по типу подключения: 2-х-, 3-х- и 4-хпроводная схемы подключения.

Устойчивость к внешним механическим воздействиям по ГОСТ Р 52931-2008: термопреобразователи сопротивления без монтажных элементов ( в

металлической гладкой защитной арматуре) соответствуют группе V2, остальные группе N2.

Показатели надежности термосопротивлений ДТСхх4 при соблюдении условий эксплуатации (вероятность безотказной работы):

– ДТС с платиновым ЧЭ:

- в диапазоне температур от -50 до +250 °С – не менее 0,95 за 40 000 ч;
- в диапазоне температур от минус 196 (минус 60 °С – для РТ100, РТ500, РТ1000) до минус 50 °С – не менее 0,95 за 15 000 ч.

– ДТС с медным ЧЭ:

- в диапазоне температур от минус 50 до 150 °С – не менее 0,95 за 15000 ч.

Для монтажа датчиков ДТСхх4 со штуцером на объекты измерения температуры рекомендуется применять гильзы ГЗ.16 и ГЗ.25, бобышки Б.П.1 и Б.У.1.

Все термопреобразователи сопротивления ОВЕН имеют сертификат средств измерений и проходят первичную поверку на заводе-изготовителе.

В таблице 4 приведены технические характеристики датчика температуры ДТС014.

Таблица 4 – Технические характеристики датчика температуры

Номинальная статистическая характеристика (НСХ)	50М, 100М	50П, 100П	Pt100, Pt500, Pt1000
Диапазон измеряемых температур:			
- класс допуска А	- 50 – 100 °С	- 100 – 250 °С	- 60 – 250 °С
- класс допуска В и С	-50 – 150 °С	- 196 – 250 °С	
Температура окружающего воздуха	- 60 – 85 °С		
Условное давление	0,1 – 6,3 МПа (в зависимости от конструктивного исполнения)		
Показатель тепловой инерции	Не более 10 – 30 с		
Сопротивление изоляции	Не менее 100 МОм		

## Продолжение таблицы 4 – Технические характеристики температуры

Количество чувствительных элементов	1 или 2
Схема внутренних соединений проводников	2 – двухпроводная, 3 – трехпроводная, 4 – четырехпроводная
Исполнение сенсора относительно корпуса	Изолированный
Длина кабельного вывода	0,2 м – стандарт до 20 м – по заказу
Тип резьбового штуцера	Метрическая резьба, трубная резьба
Материал защитной арматуры	Сталь 12x18Н10Т, латунь
Степень защиты	IP54

### 5.2 Датчик измерения кислотности среды

В качестве датчика измерения кислотности выбран Модуль аналогового ввода MB110-pH (рисунок 11).

Таблица 6 – Сравнение нескольких датчиков

	Jual Paket Module Sensor PH DFROBOT	Модуль MB 110-pH
Напряжение питания	5 В	24 В
Диапазон измерений	0 – 14 pH	0 – 14 pH
Температура измеряемых растворов	0 – 60 °C	10 – 55 °C
Стоимость	3790 р.	7260 р.



Рисунок 11 – Модуль MB 110-pH

### **5.2.1 Назначение модуля аналогового ввода MB110-224.pH**

- измерение значения pH контролируемой среды (показателя активности ионов водорода), либо значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh);
- измерение температуры контролируемой среды;
- передача результатов измерений в сеть RS-485.

Приборы применяются для работы в составе измерительных систем контроля и управления технологическими процессами на промышленных предприятиях.

Прибор имеет следующие группы гальванически изолированных цепей:

- цепи питания прибора;
- цепи интерфейса RS-485;
- цепи измерительных входов.

Прибор не является Мастером сети, поэтому сеть RS-485 должна иметь Мастер сети, например, ПК с запущенной на нем SCADA-системой, контроллер или регулятор.

Прибор работает в сети RS-485 по протоколам OVEN, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON.

К прибору предоставляется бесплатный OPC-драйвер и библиотека стандарта WIN DLL, которые рекомендуется использовать при подключении прибора к SCADA-системам и контроллерам других производителей.

Конфигурирование прибора осуществляется на ПК через адаптер интерфейса RS-485/RS-232 или RS-485/USB (например, OVEN AC3-M или AC4) с помощью программы «Конфигуратор M110», входящей в комплект поставки.

Прибор отвечает требованиям по устойчивости к воздействию помех в соответствии с ГОСТ Р 51522 для оборудования класса А.

### **5.2.2 Основные особенности модуля MB110-224.pH**

- измерение pH от 0 до 14;

- измерение ОВП (Eh) от от минус 1000 до плюс 1000 (мВ);
- возможность коррекции по температуре;
- напряжение питания: ~220 В или =24 В (универсальный источник питания).

Модули Mx110 ориентированы в первую очередь на отечественного потребителя.

Mx110 является полностью российской разработкой крупнейшего отечественного производителя средств промышленной автоматизации – компании ОВЕН.

Все это означает:

- короткие сроки производства и поставки;
- удобство приобретения через широкую дилерскую сеть;
- гарантийное и постгарантийное обслуживание в сервисных центрах по всей России;
- подробную документацию полностью на русском языке;
- грамотную техническую поддержку и обучение;
- открытость вашим идеям при расширении линейки.

Совместимые электроды:

- электрод Etatron D.C. pH/RX (AEL0004901 СAEJEB) (погрешность  $\pm 0,4$ );
- электрод HI2910 (Hanna Instruments) (погрешность  $\pm 0,1$  %).

### **5.2.3 Условия эксплуатации прибора**

Прибор эксплуатируется при следующих условиях:

- закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров и газов;
- температура окружающего воздуха от минус 10 до 55 °С;
- верхний предел относительной влажности воздуха 80 % при 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

По устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации прибор соответствует группе исполнения В4 по ГОСТ Р 52931-2008.

По устойчивости к воздействию атмосферного давления прибор относится к группе Р1 по ГОСТ Р 52931-2008.

По устойчивости к механическим воздействиям при эксплуатации прибор соответствует группе исполнения N2 по ГОСТ Р 52931-2008.

В таблице 7 представлены технические характеристики модуля

Таблица 7– Технические характеристики модуля МВ 110-рН

Наименование	Значение
Напряжение питания прибора	От 90 до 264 В переменного тока (номинальное напряжение 220 В) частотой от 47 до 63 Гц или от 20 до 60 В постоянного тока (номинальное напряжение 24 В)
Потребляемая мощность, Вт, не более	5
Количество измерительных каналов:	
- рН (или Eh)	1
- Т	1
Входное сопротивление тракта рН (Eh) в нормальных климатических условиях, не менее, Ом	$1,4 \times 10^{12}$
Электрическое сопротивление измерительного электрода	От 0 до 1000 МОм
Электрическое сопротивление вспомогательного электрода (сравнения)	От 0 до 20 кОм
Предел допустимых значений дополнительных погрешностей при измерении входных параметров (рН, Eh, Т), вызванных изменением температуры окружающего воздуха от нормальной на каждые 10 °С изменения температуры, не более	0,5 предела допускаемых значений основной абсолютной погрешности соответствующих параметров
Время обновления данных измерений, с, не более	5
Режим температурной компенсации	Автоматический; ручной
Тип подключаемого термометра сопротивления для измерения температуры (Т) контролируемой среды Схема подключения Тип подключения	Pt100; Pt1000; двухпроводная; трехпроводная; на клеммные винтовые контакты
Тип разъемов электродной системы: - измерительного электрода (или комбинированного электрода) - вспомогательного электрода	Штекер BNC (или вилка CP-50-74П) Штырь типа Banan (диаметр 4 мм)
Интерфейс связи с Мастером сети	RS – 485
Протоколы связи, используемые для передачи информации	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Напряжение изоляции гальванической развязки при нормальных условиях, кВ, не менее: - между корпусом прибора и остальными цепями - между цепью входного напряжения питания (Сеть 220В) и измерительными цепями (рН, Eh, Т) - между цепью входного напряжения питания (Сеть 220В) и цепью интерфейса RS-485 - между цепью интерфейса RS-485 и измерительными цепями (рН, Eh, Т)	3,0 3,0 1,5 1,5
Габаритные размеры прибора, мм	63x110x74
Масса прибора, кг, не более	0,25
Средний срок службы, лет	8

В таблице 8 представлены метрологические характеристики прибора

Таблица 8 – Метрологические характеристики модуля МВ 110-рН

Измеряемая величина	Единицы измерения	Диапазон измерения	Дискретность (цена единиц младшего разряда)	Предел допустимых значений основной абсолютной погрешности
Показатель активности ионов водорода (рН)	рН	От 0 до 14	0,01	±0,02
Окислительно-восстановительный потенциал (Еh)	мВ	От минус 1000 до 1000	1,0	±2,0
Температура (Т)	°С	От минус 10 до 150	0,1	±0,5

### 5.3 Датчик концентрации

Датчиком для измерения параметров концентрации и освещенности (рисунок 12) микроводоросли в фитотроне был выбран Оптический датчик G18-2C5LA (фотоприемник и излучатель). Однако данный датчик не является производством компании ОВЕН, но так же является датчиком российского производства.



Рисунок 12 – Датчик концентрации

Оптические датчики предназначены для бесконтактного определения наличия/отсутствия объекта в контролируемом пространстве.

Используются для автоматизации любых промышленных процессов, в робототехнике, системах контроля, обработки и монтажа.

Оптический датчик может быть использован для обнаружения объектов на расстоянии от 0 до нескольких десятков (сотен) метров. Регистрация любых

объектов и большая дальность действия отличает фотодатчик от подобного типа устройств.

### **5.3.1 Конструкция и принцип действия оптических датчиков**

Оптический датчик состоит из источника (излучателя) и приемника оптического излучения, которые могут располагаться в одном корпусе (моноблочные датчики) или в разных корпусах (двухблочные датчики).

Источник датчика создает оптическое излучение в заданном пространстве, приемник реагирует на отраженный от объекта световой поток или на прерывание его.

Датчик оптические выпускаются следующими типами: барьерные, ретрорефлекторные, диффузионные.

Тип T — барьерный (разнесенная оптика)

Излучатель и приемник датчика оптического расположены в разных корпусах и должны быть размещены на одной оси. Световой поток излучателя направлен на приемник. Приемник срабатывает при прерывании оптического луча объектом контроля.

Назначение: обнаружение непрозрачных и зеркальных объектов.

Особенности:

- дальность действия достигает 150 метров;
- высокая надежность и помехозащищенность делают возможной эксплуатацию датчиков на открытых пространствах и в условиях загрязнения.

Излучатель и приемник датчика имеют разные обозначения и заказываются как отдельные изделия.

Датчики барьерного типа успешно применяются для контроля за производственными и упаковочными линиями, для измерения уровня заполнения прозрачных емкостей, в системах прохода и зонах повышенного риска.

Тип R - рефлекторный (с отражением от световозвращателя)

Излучатель и приемник датчика расположены в одном корпусе. Свет излучателя отражается от рефлектора (светоотражателя, катафота) и попадает в приемник. Датчик срабатывает при прерывании луча объектом контроля.

Назначение: обнаружение непрозрачных и полупрозрачных объектов.

Особенности: дальность действия достигает 8 метров.

Оптические датчики рефлекторного типа активно применяются на конвейере для подсчёта изделий.

Тип D - диффузионные (с отражением от объекта)

Излучатель и приемник датчика расположены в одном корпусе. Приемник воспринимает свет излучателя, диффузно отраженный от контролируемого объекта. Датчик срабатывает при наличии контролируемого предмета в зоне действия датчика.

Особенности: дальность действия зависит от отражательных свойств объекта. При использовании стандартной мишени дальность действия датчика достигает 2 метров. Дальность действия для объектов с иными отражательными способностями рассчитывается с использованием поправочных коэффициентов [16].

#### 5.4 Нагревательный элемент

В качестве водонагревателя был выбран ТЭН RF 64 2.0 кВт L 300 мм Термекс, Garanterm. Характеристики водонагревателя описаны в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики ТЭН

Тип	RF
назначение	Thermex, Garanterm, Electrolux
Крепление под анод	M4
Мощность	2,0 кВт
Фланец, мм	64
Материал	Медь
Артикул	10092
Анод в комплекте	-
длина	300 мм

## 5.5 Датчик уровня

В качестве датчика уровня был выбран поплавковый датчик уровня ПДУ – 1.1.К.100 компании ОВЕН.

Таблица 10 – Сравнение нескольких датчиков уровня

	САТ017	ПДУ – 1.1.К.
Макс. мощность	10 Вт	10 Вт
Макс. ток	0,5 А	0,5 А
Макс. напряжение	100 В	180 В
Стоимость	2492 р.	1463 р.
Производитель	Польша	Россия

Поплавковые датчики уровня ОВЕН ПДУ – устройства, предназначенные для сигнализации уровня жидкостей. ОВЕН ПДУ применяются в составе систем контроля и регулирования жидкости (воды, растворов, светлых нефтепродуктов и иных жидких сред, в том числе и агрессивных, за исключением коррозионно-активных к материалу датчика) в различных резервуарах. ОВЕН ПДУ (рисунок 13) применяются для измерения как текущего, так и предельного (максимального или минимального) уровня жидкости. Поплавковые датчики уровня имеют общепромышленные и взрывозащищенные исполнения.

Поплавковые датчики уровня ОВЕН устойчивы к пене и пузырькам и могут работать с вязкими жидкостями.

Для контроля уровня невязких жидкостей выпускаются датчики уровня с цилиндрическим поплавком ПДУ-1, ПДУ-2, для контроля уровня вязких жидкостей – с шарообразным поплавком ПДУ-3. По способу монтажа различают датчики с горизонтальным и вертикальным монтажом.

Компания ОВЕН производит одноуровневые, двухуровневые и трехуровневые поплавковые датчики, также возможно изготовление датчиков ОВЕН ПДУ с взрывозащитой типа «искробезопасная цепь» 0ЕхiaIICT4X.

Для подключения к АСУ ТП датчики ОВЕН ПДУ могут быть снабжены силиконовым кабелем АWG24 любой длины или проводом НВ 0,35.



Рисунок 13 – ПДУ – 1.1.К.100

### 5.5.1 Особенности конструкции и монтажа датчиков уровня

Датчик уровня имеет поплавков, передвигающийся по вертикальному штоку. Внутри поплавок находится постоянный магнит, а в штоке, представляющем собой полую трубку, находится геркон. Герконовый контакт срабатывает при приближении магнита.

## 6 Сбор данных с датчиков

Как уже было сказано ранее данные с представленных выше датчиков поступают на микроконтроллер, который по полученным данным ведет управление. В качестве микроконтроллера используется программируемое реле с дисплеем ПР200 (рисунок 14) [9].

Таблица 11 – Сравнение программируемых реле

	Siemens LOGO	Schneider Electric Zelio	ПР200
Порт програм.	-	-	USB
Кол-во входов	8	8	4
Темп. при эксп.	0...+55 °С	-10...+50 °С	-20...+55 °С
Стоимость	~10000	8500	5760 р.



Рисунок 14 – Программируемое реле ПР200

## 6.1 Программируемое реле ПР200

ОВЕН ПР200 – это свободно программируемое реле. Применяется для решения локальных задач автоматизации: водоподготовка, водоочистка, вентиляция, отопление и др.

Написание алгоритма осуществляется пользователем с помощью бесплатной среды программирования OWEN Logic. Подключение к ПК производится посредством стандартного MiniUSB-кабеля (USB – MiniUSB). Для интеграции в SCADA-системы и управления внешними устройствами в прибор может быть установлено до 2-х интерфейсов RS-485 с поддержкой протоколов Modbus RTU/ASCII.

Для увеличения количества дискретных входов/выходов программируемого реле ОВЕН ПР200 применяются модули расширения ОВЕН ПРМ.

### 6.1.1 Отличительные характеристики ПР200:

- напряжение питания:  $\sim 230$  В или  $= 24$  В;
- встроенный источник питания  $= 24$  В для питания датчиков с аналоговым выходом (в модификациях на 230 В и аналоговыми входами);
- 4 аналоговых входа (4 – 20) мА, (0 – 10) В, (0 – 4) кОм. Могут работать в режиме дискретного входа;
- встроенный шунтирующий резистор для входа (4 – 20) мА;

- аналоговые выходы (0 – 10) В или (4 – 20) мА;
- дискретные выходы: э/м реле или транзисторные ключи;
- до двух встроенных интерфейсов RS-485;
- USB-порт – для программирования (miniUSB);
- встроенные часы реального времени, срок службы 10 лет;
- гальваническая развязка входов до 2830 В;
- экспорт данных в OwenCloud.

### **6.1.2 Возможности символьного индикатора ПР200:**

- видимая область символьного индикатора: 2 строки по 16 символов;
- поддержка кириллицы и латиницы;
- возможность корректировки параметров программы пользователя;
- возможность корректировки параметров прибора (сменить тип датчика, масштабировать шкалу измерений, настроить яркость подсветки, изменить настройки портов и т.п.)

### **6.1.3 Конструктивные особенности:**

- автоматный корпус;
- ширина корпуса 7 «автоматов» (7din), что позволит разместить прибор как в большом шкафу, так и в малом с автоматическими выключателями;
- съемные клеммники – для удобства монтажа;
- «ключи» для предотвращения неправильного подключения.

## **6.2 Модули расширения и аксессуары для ПР200**

### **6.2.1 Интерфейсная плата ПР-ИП485**

Интерфейсная плата ОВЕН ПР-ИП485 (рисунок 15) применяется для добавления интерфейса RS-485 в программируемое реле ОВЕН ПР200 (необходимость оговаривается при заказе). Всего можно установить два

интерфейса RS-485. Интерфейсная плата может устанавливаться пользователем самостоятельно.

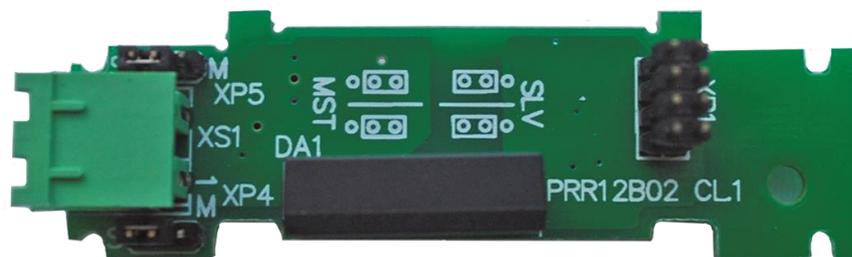


Рисунок 15 – Плата ПР-ИП485

### 6.2.2 ПМ210 сетевой шлюз для доступа к сервису OwenCloud RS-485

#### <-> GPRS

Сетевой шлюз ОВЕН ПМ210 (рисунок 16) предназначен для подключения приборов ОВЕН, имеющих интерфейс RS-485, к облачному сервису OwenCloud по GPRS-каналу. Шлюз не требует дополнительной настройки и готов к использованию с облачным сервисом OwenCloud «из коробки».

OwenCloud – это облачный сервис ОВЕН, позволяющий удаленно работать с оборудованием ОВЕН: контроль, мониторинг, настройка, сбор и передача данных, уведомление об авариях и др. Сервис предоставляется бесплатно.



Рисунок 16 – Сетевой шлюз ПМ210

В таблице 12 представлены технические характеристики шлюза

Таблица 12 – Технические характеристики сетевого шлюза

Наименование	Значение
<b>Питание</b>	
Номинальное напряжение питания (частота)	230 В (50 Гц)
Диапазон напряжения питания переменного тока (частота)	85 – 264 В (45 – 65Гц)
Потребляемая мощность:	
- в режиме установки GSM-соединения;	Не более 10 ВА
- в режиме передачи данных	Не более 3 ВА
Гальваническая изоляция	2300 В по ГОСТ 61131-1
<b>Интерфейсы</b>	
Интерфейс обмена	RS-485
Скорость	От 1200 до 115200 бис/с
<b>GSM</b>	
Диапазон рабочих частот	EGSM900 и DCS1800
Класс выходной мощности передатчика	4 (EGSM900), 1 (DCS1800)
Режим передачи данных	GPRS (class B), SMS (для конфигурации)
Поддерживаемые протоколы	TCP, DNS
Тип идентификационного модуля абонента (количество)	Mini SIM
Тип антенны	Внешняя, разъем SMA
Максимальная длина кабеля антенны	3 м
<b>Условия эксплуатации</b>	
Температура окружающего воздуха	От минус 40 до 55 °С
Относительная влажность воздуха	Не более 80% (при 25 °С без конденсации влаги)
<b>Общие сведения</b>	
Габаритные размеры	90х62х53,6 мм (без антенны)
Степень защиты корпуса	IP20
Средний срок службы	10 лет

### 6.2.3 GSM антенна АНТ-1

Компактная штыревая антенна АНТ-01 SMA (рисунок 17).



Рисунок 17 – GSM антенна АНТ - 1

В таблице 13 представлены основные характеристики антенны.

Таблица 13 – Основные характеристики антенны

Тип разъема	SMA – М
Частотный диапазон	900/1800 МГц
Входное сопротивление	50 Ом

Продолжение таблицы 13 – Основные характеристики антенны

VSWR	1:1,5
Усиление	1.0 дБ
Направленность	Вертикальная
Максимальная мощность	20 Вт
Габариты	
Высота	103 +/- 1 мм
Максимальный диаметр	10.0 мм
Минимальный диаметр	8.0 мм

### 7 Получение математической модели

Для получения математической модели нагревательного элемента возьмём исходные данные:

- объём жидкости: 30 л;
- температура окружающей среды: 20°С;
- мощность нагревательного элемента: 2000Вт.

Стенки резервуара не изолированы и отдают часть тепла в окружающую среду.

Общий температурный баланс фитотрона:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{с}}, \quad (1)$$

где:  $Q_{\text{в}}$  – количество переданного тепла,

$Q_{\text{н}}$  – количество тепла, выделенного нагревателем,

$Q_{\text{с}}$  – количество тепла, переданного в окружающую среду.

Рассчитаем количество переданной теплоты при изменении температуры на величину  $dT$ :

$$dQ_{\text{в}} = mc \cdot dT, \quad (2)$$

От куда:

$$Q_{\text{в}} dt = mc \cdot dT, \quad (3)$$

где:  $Q_{\text{в}}$  – количество переданной за единицу времени теплоты,

$dt$  – время, за которое было передано тепло,

$m$  – масса воды в резервуаре,

$c$  – удельная теплоёмкость жидкости,

$dT$  – температура, на которую изменилась температура жидкости.

Из формулы (3) выражаем изменение температуры:

$$dT = \frac{Q_B \cdot dt}{mc}, \quad (4)$$

где:  $dT$  – температура, на которую изменилась температура жидкости,

$Q_B$  – количество переданной за единицу времени теплоты,

$dt$  – время, за которое было передано тепло,

$m$  – масса жидкости в резервуаре,

$c$  – удельная теплоёмкость жидкости.

Мгновенная температура рассчитывается по формуле:

$$T_B = T_0 + \frac{1}{mc} \int_0^t Q_B \cdot dt, \quad (5)$$

где:  $T_0$  – начальная температура жидкости в резервуаре,

$m$  – масса жидкости в резервуаре,

$c$  – удельная теплоёмкость жидкости,

$Q_B$  – количество переданной за единицу времени теплоты,

$t$  – время, за которое было передано тепло.

На основании (1) и (5) можно построить математическую модель (рисунок 18):

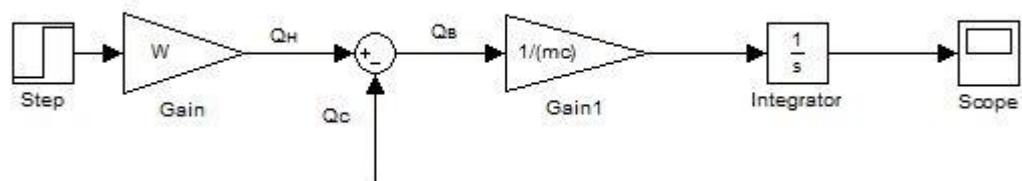


Рисунок 18 – Математическая модель исходя из формул 1 и 5

При помощи формулы Ньютона определим зависимость между теплом, отдаваемым в окружающую среду водой и разностью температур воды и окружающей среды.

$$Q_c = k(T_B - T_c), \quad (6)$$

где:  $Q_c$  – количество тепла переданного окружающей среде,

$k$  – коэффициент теплопередачи стенок резервуара,

$T_g$  – температура жидкости,

$T_c$  – температура окружающей среды.

Коэффициент Ньютона равен  $k = 1,1$ .

На основании (1), (5) и (8) была получена математическая модель (рисунок 19):

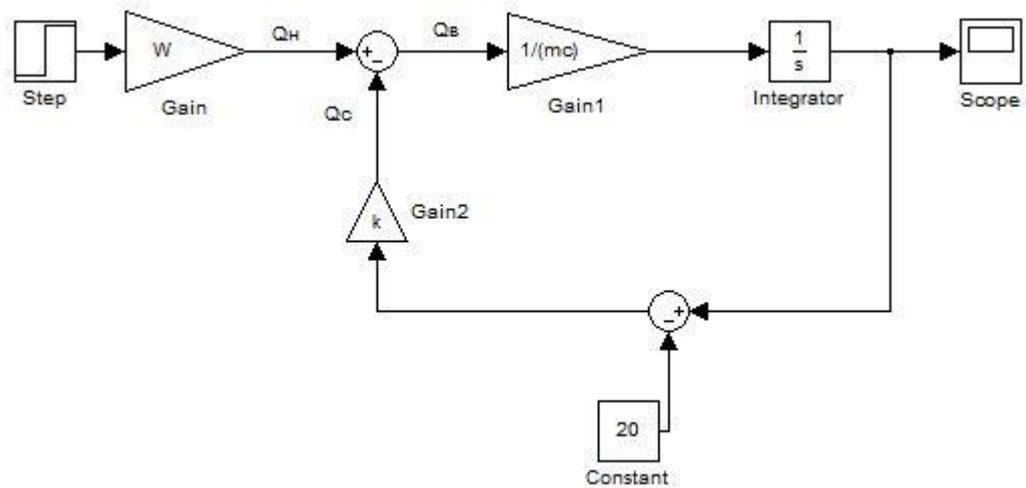


Рисунок 19 – Математическая модель исходя из формул 1, 5, 8

Также не следует забывать, что нагревательный элемент – это инерционный объект, за счёт внутренних частей, имеющих теплоёмкость. Нагреватель можно представить, как инерционное звено, передаточная функция которого:

$$W(s) = \frac{k}{(Ts+1)}, \quad (7)$$

где:  $k$  – мощность нагревателя,

$T$  – постоянная времени.

Постоянная времени равна  $T = 14,3$  с.

С учётом (7) математическая модель примет вид (рисунок 20):

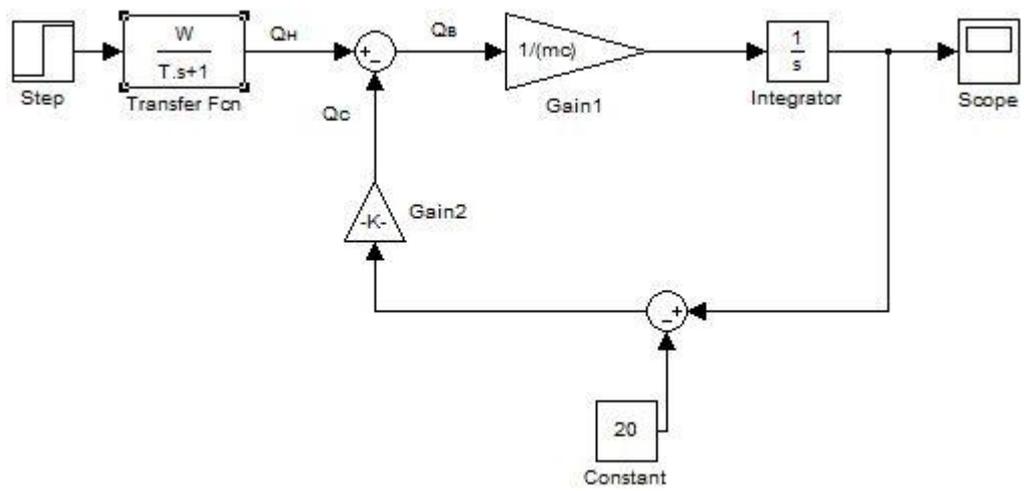


Рисунок 20 – Математическая модель с учетом формулы 7

Полученная реакция на ступенчатое воздействие (рисунок 21):

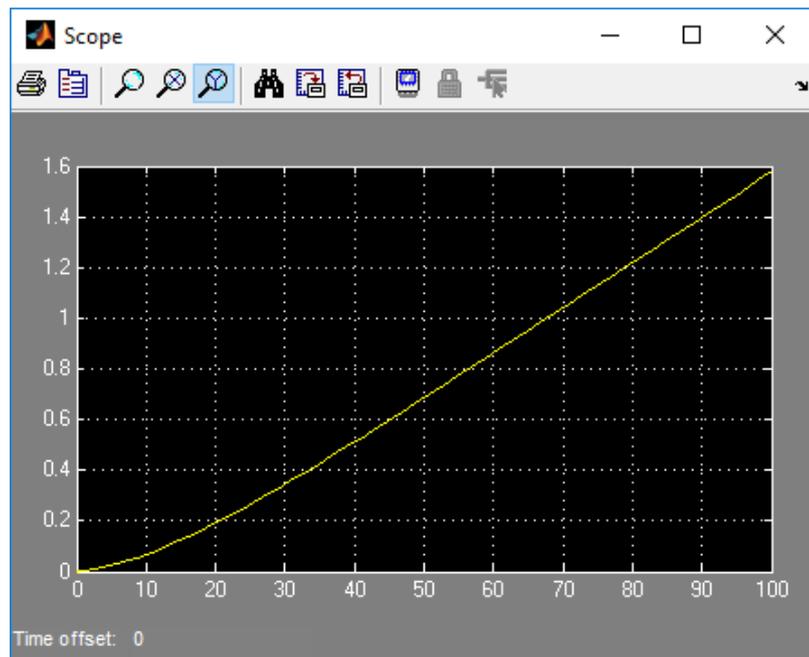


Рисунок 21 – Реакция на ступенчатое воздействие

## 8 Расчёт регулятора

На рисунке 22 представлена замкнутая система с регулятором

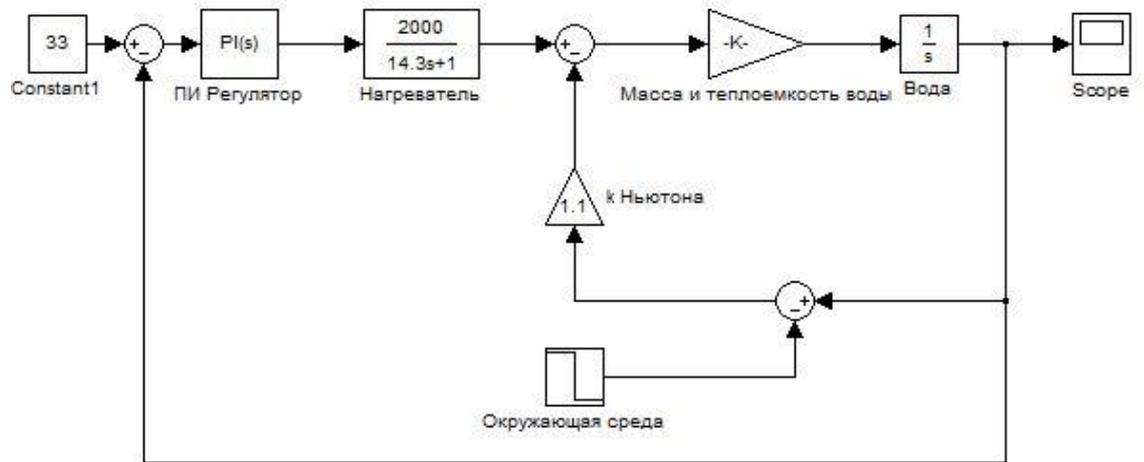


Рисунок 22 – Замкнутая система с ПИ регулятором

На рисунке 23 и рисунке 24 представлены графики переходного процесса.

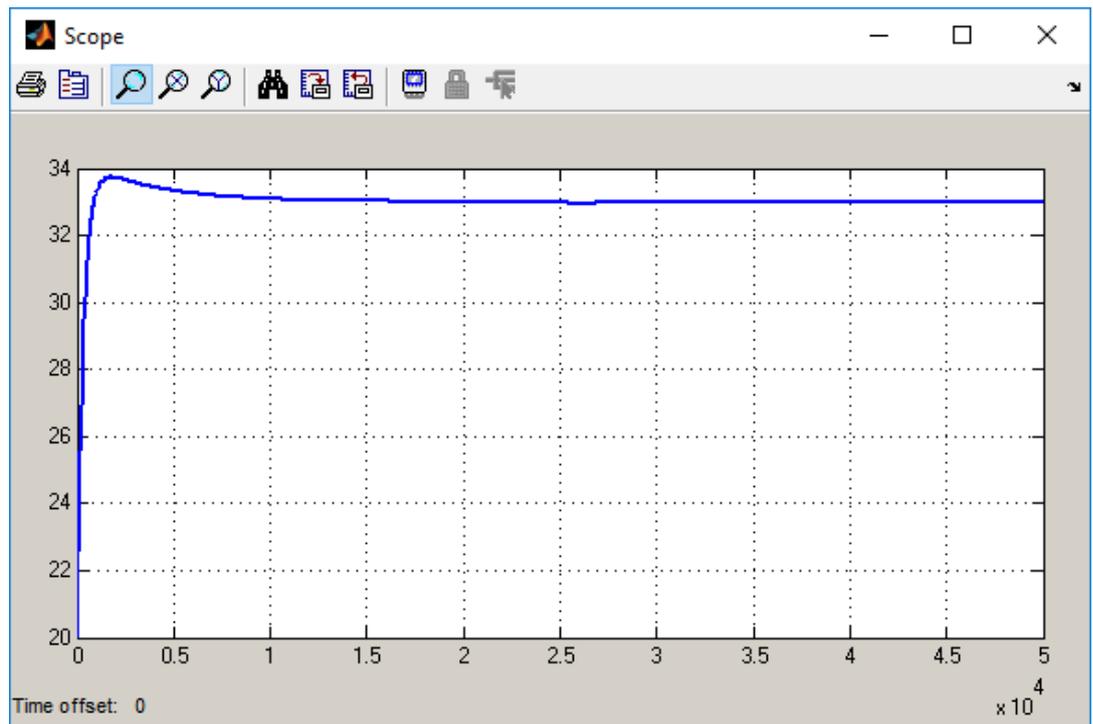


Рисунок 23 – График переходного процесса

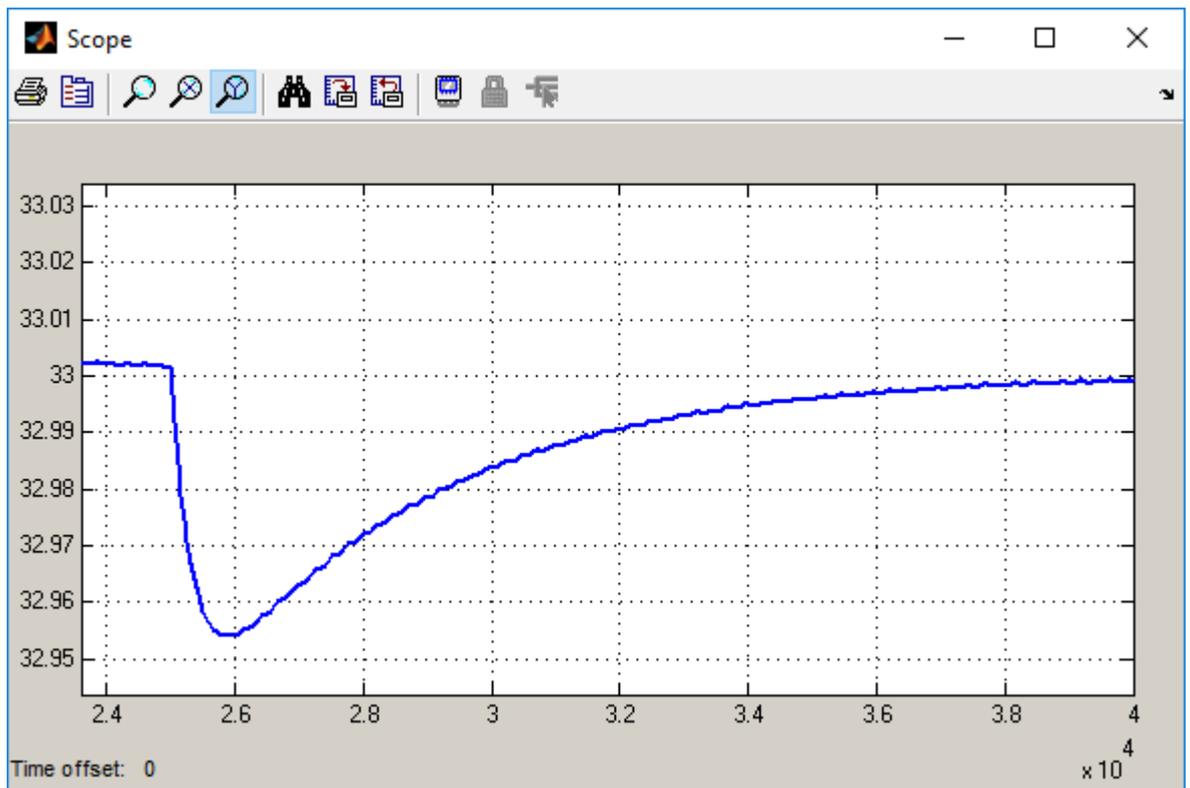


Рисунок 24 – Возмущающее воздействие

По задающему воздействию:

Время переходного процесса составляет:  $0.175 \cdot 10^4$  с

Перерегулирование: 5.6%

По возмущающему воздействию:

Время переходного процесса составляет:  $2,51 \cdot 10^4$  с

Перерегулирование: 0 %

## **9 Социальная ответственность**

Социальная ответственность – это ряд правил, в соответствии с которыми организации учитывают интересы общества, принимая на себя ответственность за обеспечение комфортных и безопасных условий работы.

Данная выпускная квалификационная работы выполнялась в лаборатории, оснащенной современной компьютерной техникой. Целью выпускной квалификационной работы является автоматизация фитотронной установки для использования на фермах или малых предприятиях, для выращивания биодобавки из микроводоросли хлорелла. В данном помещении проходила разработка модели, подбор датчиков, установка датчиков и подключение фитотрона, отслеживание работы установки.

Рабочее место, в котором проходила разработка, и написание ВКР находится по левую сторону от 10 корпуса Томского Политехнического Университета в отдельном помещении (теплице). Имеет следующие параметры: Ширина – 6 м., Длина – 15м., Высота потолков 3 м. Освещение в помещении имеется, как естественное, так и искусственное. Естественное освещение: полупрозрачный материал, из которого построена теплица.

### **9.1 Производственная безопасность**

При изучении опасных факторов был проведен анализ рабочей среды, в которой выполнялась данная ВКР. Перечень факторов основан на стандарте ГОСТ 12.0.003-2015(с Изменением N 1) и СТ СЭВ 790-77 и представлен в таблице 14.

#### **9.1.1 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Воздействие электромагнитного излучения на человека зависит от его особенностей и характеристик.

К основным особенностям относится:

- частота
- длина волны

- количество единиц
- продолжительность воздействия и т.д.

Прежде всего, электромагнитное излучение пагубно влияет на ЦНС и сердечнососудистую систему. Появляются такие симптомы как: головокружение, слабость, нарушение сна и т.д.

Данная работа выполнялась на компьютере последних моделей, в которых снижено электромагнитное излучение и соответствуют требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 из таблицы 15 [26].

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные факторы при выполнении выпускной квалификационной работы.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа, выполняемая в кабинете: 1) Проектирование фитотронной установки	-повышенный уровень электромагнитных излучений; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - отклонение показателей микроклимата;	пожароопасность; - повышенное значение напряжения в электрических цепях.	ГОСТ 12.0.003-15 ГОСТ 12.1.029-80 [29] ГОСТ 12.2.003-91 [30] ГОСТ 12.1.005-88 [28] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [31]

Таблица 15 – Допустимое излучение электромагнитов.

Наименование параметров	Допустимые значения
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см. вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц в диапазоне частот 2 – 400 кГц	25 В/м 2.5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц в диапазоне частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал	500 В

Способы защиты от электромагнитного излучения:

- источник ЭМИ должен располагаться на расстоянии не менее 50 см, оптимальное расстояние (60 – 70) см
- установление регламентированных перерывов

### 9.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Уровень шума так же следует учесть при работе, так как он относится к опасным факторам. Основными источниками шума в учебном кабинете являются:

- система вентиляции и охлаждения процессоров;
- шум работы ПК;
- внешние носители;
- уличный шум.

Повышенный уровень шума так же пагубно влияет на здоровье человека. Высокий уровень шума (более 120дБ) может привести к акустической травме или потери слуха. Самое распространенное последствие, приводит к постепенному снижению слуха

Уровень шума при выполнении различной работы не должен превышать 50 дБА. Допустимый уровень шума приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала.

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Регулярная техническая поддержка оборудования (ПК) такая как: очистка системных блоков от пыли, замена системы охлаждения и вентиляции может сократить уровень шума. Так же следует размещать системный блок на высоте от пола не менее 5 см, подкладывать шумозащитную прокладку, так же можно приобрести специальный стол, где изолируется системный блок.

### 9.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Так же вредным производственным фактором, согласно ГОСТ 12.0.003-2015 является недостаточная освещенность рабочей поверхности, вследствие чего человек может ощущать усталость и снижение работоспособности, снижение внимательности, раздражение.

Разряд зрительных работ относится к разряду III подразряду Г (высокой точности).

Параметры искусственного освещения указаны в таблице 17. СП 52.13330.2016 .

Таблица 17 – Нормативные значения освещённости

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						всего	В том числе общего	
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	Г	Средний большой <<	Светлый << средний	400	200	200

Освещение в рабочих помещениях регламентируется нормами СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение». КЕО при верхнем или

комбинированном естественном освещении–2%, Кп–20%, при боковом освещении КЕО–0,5 %, Кп–20 %.

### 9.1.4 Отклонения показателей микроклимата

Микроклимат является неотъемлемой характеристикой производственного помещения. Характеристикой микроклиматических условий является температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения потока воздуха, интенсивность теплового облучения

Нарушение микроклимата ведет к повышенной или пониженной температуре, что несет за собой последствия, усталости, или же переохлаждению.

Оптимальные значения зависят от: климатического пояса, времени года, и так же от категории выполняемых работ (разграничение работ по тяжести). Для инженера категорией выполнения работы является лёгкой (1а), так как работа проводится, в сидячем положении без систематических физических нагрузок.

Согласно требованиям, оптимальные и допустимые параметры микроклиматических условий в офисных помещениях приведены по регламенту СанПиН 2.2.4.548-96, в таблице 18 и таблице 19 [33].

Таблица 18 – Оптимальные значения характеристик микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
холодный	22-24	40-60	0,1
теплый	23-25	40-60	0,1

Таблица 19 – Допустимые значения характеристик микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Скорость движения воздуха, м/с	
	Ниже опт. значений	Выше опт. значений	Ниже опт. значений	Выше опт. значений

Продолжение таблицы 19 – Допустимые значения характеристик микроклимата

холодный	20-21,9	24-25	0,1	0,1
теплый	21-22,9	25,1-28	0,1	0,2

Для решения этого предусмотрены такие средства как: вентиляция, отопление и искусственное кондиционирование.

### **9.1.5 Опасность возникновения пожара**

В помещениях, где располагается техника, а в данном случае это ПК, возрастает риск возникновения пожара, к которому может привести неисправность оборудования. Задачи пожарной охраны включает в себя: проверки на работоспособность сигнализаций и средств пожаротушения, инструктажи по эвакуации и предотвращению пожара. Неотъемлемой частью каждого рабочего помещения должно быть: «План эвакуации», огнетушителя и т.д. СНиП 21 – 01 – 97 [34].

Помещения с компьютерной техникой относятся к классу Г - пожары, связанные с горением в электроустановках. Тем самым типы огнетушителей, которые могут быть использованы в таких помещениях, могут быть только углекислотные или порошковые. Расчет количества огнетушителей на помещение 200 кв.м. для помещений класса Г : ОУ-5 - 2 шт, ОУ-10 - 1 шт, ОПВ-5 - 2 шт. СНиП 21 – 01 – 97. Количество огнетушителей рассчитывается с условием наличия автоматического пожаротушения. Если таковые имеются, то огнетушители рассчитываются на 50 % меньше. Такие помещения должны быть обязательно оснащены пожарной сигнализацией (например ДИП-3СУ). Для системы автоматического пожаротушения подходит системой азотного пожаротушения «ТЕГАС».

### **9.1.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи**

При работе за компьютером существует вероятность получения травмы электрическим током. Для избегания таких ситуаций следует соблюдать положенные нормы по электробезопасности.

Компьютеры, на которых проходит разработка данного объекта, фитотрона, подключены к сети 220В и частотой 50Г, это напряжение является опасным для жизни человека. Для предотвращения поражения током следует принять во внимание следующие:

- нельзя проводить какие-либо ремонтные работы при включенном сетевом напряжении
- необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки.
- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал.
- для защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом необходимо наличие заземления.

### **9.2 Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды - это плановая система государственных, международных и общественных мероприятий по рациональному использованию, охране и восстановлению природных ресурсов, защите окружающей среды от загрязнения и разрушения для создания наиболее благоприятных условий существования человеческого общества, удовлетворения материальных и культурных потребностей живущих и грядущих поколений

Охрана окружающей среды - это совокупность мероприятий, влияющих на следующие природные зоны: атмосферу, литосферу, гидросферу.

В данном проекте главной экологической опасностью является утилизация пластика, так как пластик при сжигании выделяет большое количество углекислого газа в атмосферу, что вызывает загрязнение воздуха. Так же периодом разложения пластика в воде очень долгий процесс, около 1000

лет, за это время токсичные вещества попадают в гидросферу. Так же токсичные вещества могут попасть в литосферу, и тем самым нанести вред почве.

### **9.2.1 Утилизация фитотрона**

#### **Утилизация ABS пластика.**

Утилизация ABS пластика должна проходить в специальных помещениях с вытяжкой. Такие отходы после расплава формируются литьевым способом в новые детали, обладающие повышенным или пониженным блеском, а прочность может быть выше.

### **9.2.2 Отходы**

Твердые промышленные и бытовые отходы являются основными видами загрязнения литосферы.

Как было выявлено в главе выше, материалы, применяемые в проекте, легко утилизируются, и перерабатываются. Преимущество этих материалов то, что после переработки, возможно получить другую продукцию, без высоких затрат на получение вторичного сырья.

Сбор, сортировка, утилизация отходов или их организованное захоронение являются мероприятиями, направленными на защиту почвенного покрова и недр.

## **9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Помещение, в котором проводилось исследование, относится к пожарной опасности категории Г (умеренная пожароопасность).

Для тушения пожара в помещениях, где располагается техника, должны быть оснащены основными средствами пожаротушения: углекислотными или порошковыми огнетушителями. При возникновении пожара следует, прежде всего, эвакуировать людей из здания в соответствии с планом эвакуации.

## **9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Требования установлены к помещениям, в которых находятся рабочие места, к вентиляции и отоплению таких помещений. Определенным требованиям должна отвечать освещенность рабочих мест, а также их оснащенность оборудованием и инструментом.

Так, для рабочих мест, оборудованных персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) требования к освещению на рабочих местах установлены СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [32]:

- Рабочее место должно располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева,

- Искусственное освещение в помещениях для работы ПК должно обеспечиваться общей равномерной системой освещения,

- В качестве источников искусственного освещения следует использовать люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административных общественных помещениях разрешено использовать металлогалогенные лампы. В светильниках местного освещения должны использоваться лампы накаливания, в том числе галогенные.

Для того чтобы обеспечить нормируемые значения освещенности в помещении с ПЭВМ должны проводиться уборки с чисткой стеклянных окон и светильников не реже двух раз в год. Окна в комнатах, в которых работают с компьютерами, должны быть предпочтительно ориентированы на север и северо-восток.

Монитор, корпус компьютера и клавиатура должны находиться прямо перед оператором; высота рабочего стола с клавиатурой должна находиться в пределах от 680 до 800 мм надо уровнем пола, а высота нижней границы экрана от 900 до 1280 мм;

- Монитор следует расположить на расстоянии (60 – 70) см на 20 °С ниже уровня глаз оператора;

Пространство для ног должно отвечать следующим требованиям: высота - не менее 600 мм, ширина – не менее 500 мм, глубина – не менее 450 мм. Следует также предусмотреть подставку для ног работающего шириной не менее 300 мм с возможностью регулировки угла наклона. При работе ноги должны быть согнуты под прямым углом.

## **10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель данного раздела ВКР заключается в увеличении конкурентоспособности на рынке разрабатываемой системы фитотрона.

Данная система разрабатывалась исходя из критерия – экономичность и простота в использовании. На сегодняшний день рынок фитотронов предлагает некую коробку определенного размера, в котором не регулируется ряд параметров, что приводит к дополнительным затратам.

Целью данного проекта является сокращение себестоимости конструкции с помощью замещения материалов и сложной конструкции. Следует сократить трудоемкость изготовления объекта, с помощью выявления технологии изготовления. Для того чтобы решить задачи, связанные с финансовой оценкой продукта, его ресурсоэффективностью и ресурсосбережением, в экономическом разделе ВКР нужно:

- Провести анализ и исследования рынка покупателей;
- Рассмотреть и исследовать разработки конкурентных решений;
- Провести планирование НИР (научно исследовательской работы);
- Рассчитать материальные затраты на изготовление.

### **10.1 Оценка перспективности проведения исследований и коммерческого потенциала с позиции ресурсосбережения и ресурсоэффективности.**

Для того чтобы понять на сколько актуальна данная разработка, для определения экономического и ресурсного потенциала, следовало уделить особое внимание оценки перспективности и актуальности разработки, включая коммерческий потенциал. Следует определить сегмент рынка, на который ориентируется выпуск и продажа данного объекта.

### **10.1.2 Потенциальные потребители по результатам исследования**

На рынке фитотронов, на сегодняшний день существует не малое количество разных вариантов, как для домашнего использования так и для предприятий, которые различаются как по форме так и по габаритам. Так как не у каждого есть возможность проращивать растение в открытом грунте, а выращивать зелень в цветочных горшках не эстетично, выходом и является домашний фитотрон. Существует очень много разнообразных и необычных идей формы фитотрона, которые не только выполняют свое прямое предназначение - проращивания растений, но и выступают в качестве декоративных элементов интерьера, создавая особую уютную атмосферу и настроение.

При разработке фитотрона прежде всего было уделено внимание его прямому функционалу - проращиванию растений, конкретно микроводоросли хлорелла, а вторичной разработкой уже является разработка внешнего вида, для того чтобы он стал декоративным элементом интерьера.

Согласно статистике из проведенного социального анкетирования, было выявлено, что предполагаемые потребители фитотрона являются люди возрастной категории от 17 до 70 лет. Преимущественно это женщины (девушки).

### **10.1.3 Анализ конкурентных технических решений**

На данный момент имеется большое количество методов, позволяющих выяснить и предложить потенциальные альтернативы проведения проектирования и доработки результатов. К таким методам относится технология QuaD или ФСА-анализ, метод Кано или SWOT-анализ, оценка конкурентных инженерных решений или морфологический анализ. Прежде чем приступать к какой либо разработке следует проанализировать конкурентно-технической стороны. Данный анализ позволяет выяснить сравнительную оценку эффективности научной разработки и выявить направление, в котором следует вести доработки [24].

На данный момент «фитотрон» является развивающейся отраслью в промышленности.

Эксплуатационные характеристики являются основными показателями конкурентоспособности. В разработке особое внимание уделялось эргономике, и учитывалась мобильность устройства. После того как был проведен сравнительный анализ, следует сделать вывод, что разрабатываемый фитотрон не уступает по техническим характеристикам своим аналогам. При выпуске в производстве, фитотрон имеет шанс занять место на целевом рынке и стать конкурентоспособным товаром.

## 10.2. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников в проекте и их прямые обязанности, установление времени работ, составление графика проведения исследований.

Существует несколько этапов, работ и распределение участников проекта по разработке проекта модульной системы фитотрона (таблица 20).

Таблица 20 – Распределение обязанностей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения КР	Студент, научный руководитель
Выбор направления проектирования	3	Анализ аналогов, изучение материала	Студент
	4	Выбор концепции	Студент
Теоретические экспериментальные исследования	5	Эрго. анализ, функциональный анализ	Студент
	6	Подбор оборудования	Студент, консультант
Разработка тех. документации	7	Описание тех. характеристик оборудования	Студент, консультант
	8	Оформление схем. автоматизации	Студент
	9	Оформление SCADA системы	Студент
	10	Оформление графиков	Студент
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки	Студент

## Продолжение таблицы 20 – Распределение обязанностей

12	Фин. менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент, консультант
13	Социальная ответственность	Студент, консультант
14	Нормоконтроль	Студент, консультант

### 10.2.1 Разработка графика проведения научного исследования

Для выявления трудоемкости реализации проекта, было проведено исследование экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $i$  тож использована следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (9)$$

где:  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях  $T_p$ ), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 3 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (10)$$

где:  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{вн} = 1$ ;

$K_{д}$  - коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{д} = 1-1,2$ ; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (11)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (12)$$

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

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

$T_{ПД}$  – праздничные дни ( $T_{ПД} = 10$ )

### 10.2.1.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В данном разделе приведены расчеты затрат на материалы для подготовки макета разрабатываемого фитотрона по трем выбранным ранее вариантам вариант 1, вариант 2, вариант 3. Необходимыми материалами для создания макета являются: ABS пластик (толщина 5 мм), светодиоды. Расчеты представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Материальные затраты на подготовку макета

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед.,руб			Затраты на материалы, руб.		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
ABS пластик	2x1000x2000 мм	1	2	1	1017	1017	1017	1017	2034	1017
Фитолампа	Шт.	1	1	0	550	550	550	550	550	0
Труба полипропиленовая	160x1000 мм	1	1	1	21	21	21	21	21	21
Итого								1588	2605	1038

### 10.2.1.2 Основная заработная плата исполнителей

В данном разделе произведен расчет основной заработной платы основных исполнителей проекта: научного руководителя (Исп. 1), студента (Исп. 2), консультанта (Исп. 3) (таблица 22).

Для расчета заработной платы использована информация о должностных окладах сотрудников Томского политехнического университета.

Таблица – 22. Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_p$	$Z_{м, руб}$	$Z_{дн, руб}$	$T_{р, раб. дни}$	$Z_{осн, руб.}$
Исп. 1 (ППС, старший преподаватель)	23100	5200	28300	1348	3	4044
Исп. 2 (профессиональная группа специалистов)	7000	2100	9100	433	57	24681
Исп. 3 (ППС, преподаватель)	17000	4400	21400	1019	8	8152
Итого:						36877

При расчёте учитывалось, что в 2019 году, при пятидневной рабочей неделе, выходит 247 рабочих дней. Что составило 21 день в месяц.

Таблица 23 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{осн, руб.}$	Отчисления во внебюджетные фонды
Вар. 1	4044	1096
Вар. 2	24681	6689
Вар. 3	8152	2210
Итого:		9995

### 10.2.1.3 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

В таблице 24 представлен расчет нижней границы бюджета проекта, направленного на разработку системы фитотрона для домашнего использования (по трем рассматриваемым вариантам).

Таблица 24 – Бюджет проекта

Наименование работ	Стоимость работы		
	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Материальные затраты на подготовку макета	1588	2605	1038
Основная заработная плата	36877	36877	36877
Страховые отчисления	9995	9995	9995
Накладные расходы	7754	7916	7666
Итого:	56214	57393	55576

Накладные расходы 16%

### **10.3 Экономическая эффективность**

Основными факторами эффективности предложенного проекта являются:

- частичная замена импортного оборудования на отечественное;
- за счет сокращения затрат рабочего времени оператора;
- увеличение производительности.

Неполная готовность программного обеспечения, от которой зависит величина данного эффекта, следовательно и эффективности, не позволяет дать точную оценку.

## **Заключение**

В данном исследовании автоматизирована фитотронная установка. Следовало автоматизировать фитотронную установку для использования на фермах или малых предприятиях с учетом экономически выгодных ресурсов. При автоматизации были выявлены следующие требования: простота и удобство в использовании, автоматизированная система управления установкой, сбор и передача данных через программируемое реле на компьютер или мобильный телефон, отслеживание данных в режиме онлайн.

Первый этап проектирования заключался в изучении аналогов, так же было предложено три варианта внешней формы фитотрона. Следующим этапом был подбор датчиков исходя из экономических и конструктивных требований. Третьим этапом является сбор данных в программируемое реле и их передача на компьютер или мобильный телефон. Данный этап находится в разработке.

По заданию ВКР все задачи выполнены, от получения теоретических знаний, до их практического применения.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:**

1. Environment and the Experimental Control of Plant Growth. Авторы: R.J. Downs;
2. Proceedings of the Symposium on Climate & Rice. Авторы: International Rice Research Institute;
3. Micro Climate Control in Greenhouse. Авторы: D.T. Santosh\*, K.N. Tiwari, Vikas Kumar Singh and A. Raja Gopala Reddy;
4. Control system of a greenhouse microclimate [Электронный ресурс] // URL: <https://ru.all.biz/en/control-system-of-a-greenhouse-microclimate-g4902901> (Дата обращения 02.05.2019);
5. New phytotron for studying the effect of climate change on plant pathogens [Электронный ресурс] // URL: [https://www.researchgate.net/publication/266395111\\_New\\_phytotron\\_for\\_studying\\_the\\_effect\\_of\\_climate\\_change\\_on\\_plant\\_pathogens](https://www.researchgate.net/publication/266395111_New_phytotron_for_studying_the_effect_of_climate_change_on_plant_pathogens) (Дата обращения 02.05.2019);
6. Хлорелла представитель зеленых водорослей микроскопических водных растений. Использование суспензии хлореллы в кормовом рационе [Электронный ресурс] // URL: <https://docplayer.ru/34995727-Vvedenie-hlorella-predstavitel-zelenyh-vodorosley-mikroskopicheskikh-vodnyh-rasteniy-ispolzovanie-suspenzii-hlorelly-v-kormovom-racione.html> (Дата обращения 05.05.2019);
7. КИТ АЭРО Д 7,2 [Электронный ресурс] // URL: [http://air-pump.ru/catalog/products/kompressory\\_kit\\_aero/kit\\_aero\\_d7%2C2/](http://air-pump.ru/catalog/products/kompressory_kit_aero/kit_aero_d7%2C2/) (Дата обращения 07.05.2019);
8. Оборудование для культивирования хлореллы [Электронный ресурс] // URL: <http://www.хлорелла.рф/equipment-for-clorella.htm> (Дата обращения 07.05.2019);
9. Каталог продукции компании ОВЕН [Электронный ресурс] // URL: <https://www.owen.ru/> (Дата обращения 10.05.2019);
10. Urban Cultivator: Indoor Garden & Indoor Gardening System [Электронный ресурс] // URL: <http://www.urbancultivator.net/> (Дата обращения 07.05.2019);
11. Bula RJ, Morrow RC, Tibbitts TW, Barta DJ, Ignatius RW, Martin TS. 1 991 Light emitting diodes as a radiation source for plants. HortScience 26, 203–205;

12. Российская компания домашней фермы [Электронный ресурс] // URL: <http://fibonacci.farm/> (Дата обращения 10.05.2018);
13. Промышленные биореакторы (виды, схемы, принцип работы, достоинства, недостатки) [Электронный ресурс] // URL: <http://mirznanii.com/a/190153/promyshlennye-bioreaktory-vidy-skhemy-printsip-raboty-dostoinstva-nedostatki> (Дата обращения 15.05.2018);
14. Накопительное культивирование микроводоросли хлорелла в закрытом фотобиореакторе. Авторы: Мещерякова Ю.В., Нагорнов С.А., Ерохин И.В.;
15. Технология культивирования хлореллы [Электронный ресурс] // URL: <http://arktifiksh.com/index.php/vyrashchivanie-ryby/korma/766-korm01> (Дата обращения 15.05.2018);
16. Оптические датчики (фотодатчики) серии G18 [Электронный ресурс] // URL: [https://www.delexgroup.ru/catalog/datchiki/optic\\_datchiki/g18/](https://www.delexgroup.ru/catalog/datchiki/optic_datchiki/g18/) (Дата обращения 15.05.2018);
17. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения 01.01.1989);
18. ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения 01.01.2011);
19. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (дата введения 01.01.92);
20. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 6 июня 1983 г. № 2473);
21. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения 01.07.1981);
22. «ГОСТ 12.0.003-2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» (введен в действие Приказом Росстандарта от 09.06.2016 г. № 602-ст);

23. ГОСТ Р ИСО 1410-2010. Экологический менеджмент. Оценка Жизненно - го Цикла. Принципы и структура (дата введения 01.06.2010);
24. .Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 1 (21). – С. 151–157;
25. Эргономика: учеб, пособие / Л. В. Березкина, В. П. Кляуззе. - Минск : Выш. шк.. 2013. - с.: ил;
26. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;
27. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 6 июня 1983 г. № 2473);
28. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения 01.01.1989);
29. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения 01.07.1981);
30. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (дата введения 01.01.92);
31. ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения 01.01.2011);
32. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003;
33. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
34. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2);
35. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;

36. СанПиН 2.2.1 /2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов";
37. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.1.8.562-96;
38. Культивирование микроводорослей в колбах и фотобиореакторе лабораторного масштаба [Электронный ресурс] // URL: <https://docplayer.ru/31202262-Kultivirovanie-mikrovodorosley-v-kolbah-i-fotobiorektore-laboratornogo-masshtaba.html>;
39. Технология QuaD [Электронный ресурс] // URL: <https://studfiles.net/preview/4242828/page:3/> (Дата обращения 18.05.2019);
40. Все о светодиодах CREE [Электронный ресурс] // URL: <http://ledno.ru/svetodiody/led-cree.html>